

Bilageförteckning B

Vägverkets rapport till Klimat- och sårbarhets- utredningen – gruppen transporter

Vägverket **Bilaga B 1**

Klimat- och sårbarhetsutredningen – Påverkan på järnvägssystemet

Banverket **Bilaga B 2**

Underlag för Klimat- och sårbarhetsutredningen (M 2005:03) om sjöfartssektorn

Sjöfartsverket **Bilaga B 3**

Redovisning av sårbarhetsanalys inom flygsektorn

Luftfartsverket och Luftfartsstyrelsen **Bilaga B 4**

Elektronisk kommunikation – Tele- och datakommunikationssystem

**Möjlig påverkan av förändrade klimat- och väderbetingelser i ett
längre perspektiv**

Post- och telestyrelsen **Bilaga B 5**

Rapport för Klimat- och sårbarhetsutredningen från Teracom AB – Radio- och TV-distribution

Teracom AB **Bilaga B 6**

Konsekvenser för Svenska Kraftnäts anläggningar p.g.a. klimatförändringar

Svenska Kraftnät **Bilaga B 7**

**Klimat- och sårbarhetsutredningen, elförsörjning
i Sverige**

Svensk Energi.....Bilaga B 8

Klimatet och dammsäkerheten i Sverige

Arbetsgruppen om dammsäkerhet Bilaga B 9

**Höga flöden i Umeälven i ett framtida förändrat
klimat – rapport till Elforsk och Klimat- och
sårbarhetsutredningen**

SMHI.....Bilaga B 10

**Analys av värme- och kylbehov för bygg- och
fastighetssektorn i Sverige**

IVL Svenska Miljöinstitutet Bilaga B 11

Fjärrvärme

Svensk Fjärrvärme AB.....Bilaga B 12

Dricksvattenförsörjning i förändrat klimat**– Sårbarheter för klimatförändringar och extremväder,
samt behov av anpassning och anpassningskostnader**

Arbetsgruppen för dricksvatten Bilaga B 13

**Översiktlig sårbarhetsanalys för översvämning, skred,
ras och erosion i bebyggd miljö i ett framtida klimat**Arbetsgruppen för översvämning, ras, skred och
kusterosion Bilaga B 14**Inventering av kommunernas hantering av över-
svämning, ras och skred****Inom den kommunala planeringsprocessen**

Inregia AB Bilaga B 15

Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avlopps-system – Problembeskrivning, kostnader och åtgärdsförslagArbetsgruppen för va-system **Bilaga B 16****Byggnader i förändrat klimat****Bebyggelsens sårbarhet för klimatförändringar och extrema väder exkluderat översämningar, ras och skred samt dagvatten**Boverket **Bilaga B 17****Svenskt skogsbruk möter klimatförändringar**Skogsstyrelsen **Bilaga B 18****Effekter av ett förändrat klimat på skogen och implikationer för skogsbruket**Institutionen för Sydsvensk skogsvetenskap, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp, Arbetsrapport 34 **Bilaga B 19****Klimatförändringarnas inverkan på drivning och logistik i skogsbruket**Skogforsk **Bilaga B 20****Vegetationsbrand 2020, 2050 och 2080**Räddningsverket med stöd av SMHI och SLU **Bilaga B 21****Omvärldsanalyser och skogsnäringens utveckling.****Skogsnäringens utveckling – strukturomvandling, rationalisering, internationell konkurrens, efterfrågan på olika skogsprodukter inklusive bio-bränslen (2020 med utblick mot 2050 och 2080)**Skogsindustrierna **Bilaga B 22****Modellering av vegetationsförskjutningar i Sverige under framtida klimatscenarier**Lunds universitet, Centrum för geobiosfärsvetenskap, Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys **Bilaga B 23**

**Bedömningar av klimatförändringars effekter på
växtproduktion inom jordbruket i Sverige**Sveriges Lantbruksuniversitet **Bilaga B 24****Klimatförändringarnas påverkan på markavvattning
och bevattning**Jordbruksverket..... **Bilaga B 25****Klimat effekter på svenskt fiske**Fiskeriverket..... **Bilaga B 26****Rennäringen**Klimat- och sårbarhetsutredningen **Bilaga B 27****Naturbaserad turism och klimatförändring**ETOUR **Bilaga B 28****Öland – Turism, algblomning och klimatförändring****En fallstudie av 3 klimatscenariers ekonomiska
effekter på turismen till Öland på 2020-talet**Resurs AB..... **Bilaga B 29****Biologisk mångfald och klimatförändringar****Vad vet vi? Vad behöver vi veta? Vad kan vi göra?**Centrum för Biologisk Mångfald **Bilaga B 30****Klimatförändringar och resiliens****– Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen**Environmental Change Institute, Oxford University Centre
for the Environment

Beijerinstitutet för ekologisk ekonomi, Kungliga

Vetenskapsakademien

centrum för tvärvetenskaplig miljöforskning (CTHM),

Stockholms universitet

Institutionen för Systemekologi, Stockholms universitet

Stockholm Resilience Centre, Stockholms universitet **Bilaga B 31**

Klimatförändringars påverkan på ytvattenkvalitetenSveriges Lantbruksuniversitet..... **Bilaga B 32****Klimat effekter på Östersjön – resultat från ett seminarium**Naturvårdsverket och Klimat- och sårbarhets-
utredningen **Bilaga B 33****Hälsoeffekter av en klimatförändring i Sverige****En nationell utvärdering av hälsokonsekvenser hos
människa och djur. Risker, anpassningsbehov och
kostnader**Arbetsgruppen för hälsa..... **Bilaga B 34****Anpassningsåtgärder i andra länder**Klimat- och sårbarhetsutredningen..... **Bilaga B 35**

Modellering av vegetationsförskjutningar i Sverige under framtida klimatscenarier

Lunds universitet
Docent Benjamin Smith, FD
Thomas Hickler & Paul Miller, Phd
Centrum för geobiosfärsvetenskap
Institutionen för naturgeografi och ekosystemanalys

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredning

Innehåll

Inledning	5
Metod.....	7
Resultat	10
Diskussion	17
Referenser	18

Inledning

Utbredningen av arter och vegetationstyper är under naturliga förhållanden starkt kopplad till rumslig variation i olika klimatparametrar. I nordliga breddgrader är det framförallt temperatur som är avgörande. Isolinjer för minimitemperaturer utgör fysiologiska gränser för många växtarter och -funktionella typer (t.ex. borealt barrträd, tempererat lövfällande lövträd, C3 gräs): faller temperaturen under ett visst gränsvärde bildas is i levande celler, med celldöd som följd. I princip är det 'absolut minimitemperatur', d.v.s. de kallaste temperaturer som överhuvudtaget förekommer på en viss plats, som är avgörande för förmågan hos individer av en viss art att överleva tillräckligt många vintrar för att mogna, fortplanta sig, och på så sätt bilda en population i området (Woodward 1987). Absolutminimitemperatur är dock i princip omöjligt att mäta, varför de flesta modeller använder minimitemperatur (i vissa fall medeltemperatur) för årets kallaste månad eller annat liknande index som analog. Även värmesummor, t.ex. växtgraddagar (growing degree days, GDD) över en viss bastemperatur, uppträder som gränser mellan vegetationszoner, särskilt i alpina och arktiska miljöer. Som exempel stämmer den alpina trädgränsen i Skandynaviens fjällvärld väl överens med 500 (för tall) eller 300 (för fjällbjörk) växtgraddagar över bastemperaturen 5°C (Prentice & Helmsari 1991). Värmesumman är kopplad både till växtperiodens längd och 'intensitet' och står förmodligen för den mängd värme som krävs för att celldelning och tillväxt under årets aktiva period skall hålla takt med omsättningen av barr, löv, finrötter, splintved, skador m.m. (Grace et al. 2002).

Klimatförändringarna som projiceras av exempelvis Rossby Centres regionala klimatmodell RCA3 innefattar väsentliga temperaturhöjningar på alla platser i Sverige. Dessa förändringar medför att klimatologiskt betingade vegetationszoner förflyttas mot högre breddgrader och till högre altitud. Tidigare studier med så kallade nisch-modeller har projicerat förskjutningar på upp till flera 100-tals kilometer i nordlig till nordostlig riktning för olika trädslag i samband med ett förändrat framtida klimat i Sverige (Sykes et al. 1995, 1996; Bradshaw et al. 2000). Modeller av denna typ utgår från förhållandet mellan dagens utbredning av en viss art och de klimatparametrar som antas styra artens förmåga att etablera sig samt upprätthålla en population, dels i den fysiska miljön, dels i samspel (konkurrens, betning o.s.v.) med andra arter.

Det antas således att den moderna, observerade utbredningen har uppkommit till följd av variation i de klimatparametrar som tas med i modellen, samt att ett jämviktsläge i förhållande till klimatet föreligger. Detta är naturligtvis en förenkling av verkligheten, då andra icke-klimatologiska orsaker såsom människans markanvändning, fördröjd migration efter sista istiden eller andra historiska faktorer kan spela roll för utbredningen hos vissa trädslag. I projektioner från nischmodeller bör en förändrad artutbredning tolkas som den utbredning som arten *potentiellt* kan få efter en lång period (upp till flera århundraden) med stabila, med klimatscenariot förenliga, förhållanden.

På senare år har en ny typ av modell tillkommit och börjat användas flitigt i studier om klimatdrivna vegetationsförändringar. Dessa dynamiska vegetationsmodeller grundar sig på en mycket detaljerad beskrivning av ekosystemet och de grundläggande processer som styr dess ämnes- och energiutbyte samt strukturella dynamik (se t.ex. Cramer et al. 2001; Smith et al. 2001). Vegetationens sammansättning avseende olika funktionella typer av växter (s.k. plant functional types – PFTs) beskrivs för varje punkt eller ruta i ett rutnät och uppdateras kontinuerligt under en modellsimulation beroende av drivande processer såsom fotosyntes, växtrespiration, vattenupptag och biomassaallokering. Ytterst drivande för alla simulerade processer är klimatologiska data, exempelvis från ett framtida klimatscenario. I motsats till nischmodeller, som utgår från ett jämviktsläge mellan vegetationen och klimatet, syftar dynamiska vegetationsmodeller till att beskriva vegetationens *transienta* (tillfälliga, kontinuerligt förändrande) tillstånd i respons på pågående variation i de drivande klimatparametrarna.

Koca et al. (2006) har simulerat effekter av klimatförändringar på naturlig vegetation i Sverige med hjälp av den dynamiska vegetationsmodellen LPJ-GUESS (Smith et al. 2001). Studien omfattade de fyra regionala klimatscenarier för 2070-2100 från svenska klimatforskningsprogrammet SWECLIM (Räisänen et al. 2003). Samtliga scenarier leder till ökad tillväxt (netto primärproduktion, NPP) och en tendens till att trädsmåhållen förflyttar sig norrut. I fjällen förskjuts gränsen för skog till högre altitud. Graden av förändringar i vegetationen beror på graden av uppvärmning och av koldioxidhalter (CO_2) i atmosfären. De projicerade vegetationsförändringarna är generellt blygsammare jämfört med tidigare uppskattningar från nischmodeller, då

trädpopulationer och -samhällen i den dynamiska modellen reagerar med fördröjning på klimatförändringen.

I den aktuella studien tillämpar vi en ny version av samma modell som Koca et al. (2006) tidigare tillämpat. Drivdata kommer från de två transienta scenarierna A2 och B2 1961–2100 från regionala klimatmodellen RCA3 som tagits fram av Rossby Centre, SMHI. Med utgångspunkt i modellens resultat resonerar vi om eventuella effekter av kommande förändringar i klimat och atmosfärens CO₂-halter på utbredningarna av de vanligast förekommande trädslagen i svensk skog.

Metod

Vegetationsmodell

Studien är utförd med hjälp av LPJ-GUESS, en klimatdriven dynamisk vegetationsmodell optimerad för regionala studier (Smith et al. 2001). Modellen simulerar tillväxt hos enskilda träd och ett markvegetationsskikt på mindre vegetationsytor, s.k. 'patches'. Konkurrens mellan trädindivider och mellan träd- och markskiktet för ljus och markresurser tas i beräkning och påverkar såväl tillväxt som populationsdynamik (fekunditet och mortalitet). Simulerade processer på individnivå omfattar fotosyntes, växtrespiration, allokering och tillväxt, löv och finrotsfenologi, omsättning av löv/barr och finrötter samt omvandling av splintved till kärnved hos träd. Tidssteget är ett dygn för fysiologiska och biofysiska processer, eller ett år för allokering/tillväxt samt populationsprocesser. Varje simulerad växtindivid tillhör någon av ett antal funktionella växttyper (PFTs). I denna studie motsvarar varje PFT ett visst trädslag, förutom markskickts-PFT:n som definieras som en allmän gräs/ört-typ (se Tabell 1). Storskaliga störningar (bränder, stormar, insektsangrepp, avverkning m.m.) implementeras i modellen som en stokastisk process som med en viss årlig sannolikhet dödar all levande växtlighet på en viss patch. I denna studie satts det förväntade störningsintervallet till 100 år, vilket motsvarar en sannolikhet på 1 % årligen för att en störning ska ske på varje patch. Skogsbränder kan även simuleras prognostiskt i modellen, men denna funktion har hållits avstängd i den aktuella studien.

Tabell 1 Funktionella växttyper (plant functional type, PFT) som simulerats av LPJ-GUESS

Växttyp (PFT)	Art/er	Egenskaper
Gran	<i>Picea abies</i>	skuggtolerant barrträd
Tall	<i>Pinus sylvestris</i>	torktåligt, skuggkänsligt barrträd
Övrig barr	<i>Abies alba</i> (silvergran), <i>Pinus halapensis</i> (aleppotall)	sydliga barrträd
Bok	<i>Fagus sylvatica</i>	skuggtolerant lövträd
Alm	<i>Ulmus glabra</i>	lövträd
Ask	<i>Fraxinus excelsior</i>	lövträd
Ek	<i>Quercus</i> spp.	torktåligt lövträd
Al	<i>Alnus</i> spp.	lövträd
Björk	<i>Betula</i> spp.	skuggkänsligt lövträd
Övrigt löv	<i>Carpinus betulus</i> (avenbok), <i>Corylus avellana</i> (hassel), <i>Tilia cordata</i> (lind)	skuggtoleranta lövträd
Gräs/örter	diverse örter och gräs	lågväxt, saknar ved

LPJ-GUESS beskrevs i detalj av Smith et al. (2001). De fysiologiska, biogeokemiska och biofysiska komponenter i modellen är identiska med den globala modellen LPJ-DGVM, och beskrevs i detalj av Sitch et al. (2003). Den aktuella versionen innehåller uppdaterade formuleringar för ekosystemets hydrologi och vattenanvändning enligt beskrivningen i Gerten et al. (2004). Parametervärdena för de trädslag och den markvegetation som simulerats i den aktuella studien är framtagna av P. Miller och T. Hickler inom ramen för ett forskningsprojekt om vegetationsförändringar i Europa under Holocen. Parametervärdena har validerats i förhållande till observationer från urskogar ('pristine forests') runtom i Europa, med goda preliminära resultat. Denna nya parametrisering står dock fortfarande under utveckling, varför även resultaten från den aktuella studien bör betraktas som preliminära.

LPJ-GUESS och den nära besläktade LPJ-DGVM har tillämpats i ett gediget antal tidigare studier. Flera av dessa behandlar klimateffekter på svensk eller nordeuropeisk vegetation; se till

exempel Smith et al. (2001); Knorr et al. (2004); Koca et al. (2006) och Morales et al. (2007). Modellernas förmåga att reproducera observationer från verkliga ekosystem har utvärderats av bl.a. Lucht et al. (2002); Sitch et al. (2003); Gerten et al. (2004); Hickler et al. (2004) och Morales et al. (2005).

Drivdata

Modellen tar som indata månatliga medelvärden för lufttemperatur, nederbörd, kortvågig instrålning (tar hänsyn till molnighet), antalet regndagar samt årsmedelvärde för CO₂ koncentration i atmosfären. Månadsmedelvärdena interpoleras till ett unikt värde för varje dygn. Marktextur tas i beaktning vid beräkningar av marktemperatur och -hydrologi, men antas vara statisk under en simulering.

Varje simulering inleddes med en initieringsfas på 360 år för att etablera ett bestånd av potentiell naturlig vegetation i dynamisk jämvikt med klimatet i varje gridruta. Klimatdata till initieringsfasen togs från Climate Research Unit (CRU) global historical climate dataset (New et al. 2000), vilken täcker perioden 1901–1960 på ett rutnät med upplösningen 0.5 x 0.5 grader. CRU-datan består av interpolerade observationer från väderstationer (New et al. 2000). För perioden innan 1901 användes dataserierna för 1901–1930 upprepade gånger med eventuella trender borttagna endast för temperatur. CRU-värdena för de sista 30 åren av initieringsfasen omskalades linjärt för att ge en mjuk övergång till data från klimatmodellen (se nedan).

Initieringsfasen uppföljdes av en scenariofas med ett förändrande klimat, omfattande perioden 1961–2100. Till scenariofasen användes data från de transienta körningar med regionala klimatmodellen RCA3 med randvillkor från ECHAM4/OPYC3. Två scenariosimuleringar utfördes, dels A2 dels B2. Data från RCA3 transformerades från sitt ursprungliga 'roterade' rutnät till samma rutnät som CRU datan genom en standardmässig interpolationsmetod.

CO₂ data för initieringsfasen togs från ett tidsserie baserad på iskärnemätningar och atmosfäriska observationer (Sitch et al. 2003). Till scenariofasen användes projektioner för A2 respektive B2 utsläpp från ett globalt kolcykelmodell (Joos et al. 2001).

Resultat

Vegetationsförändringar

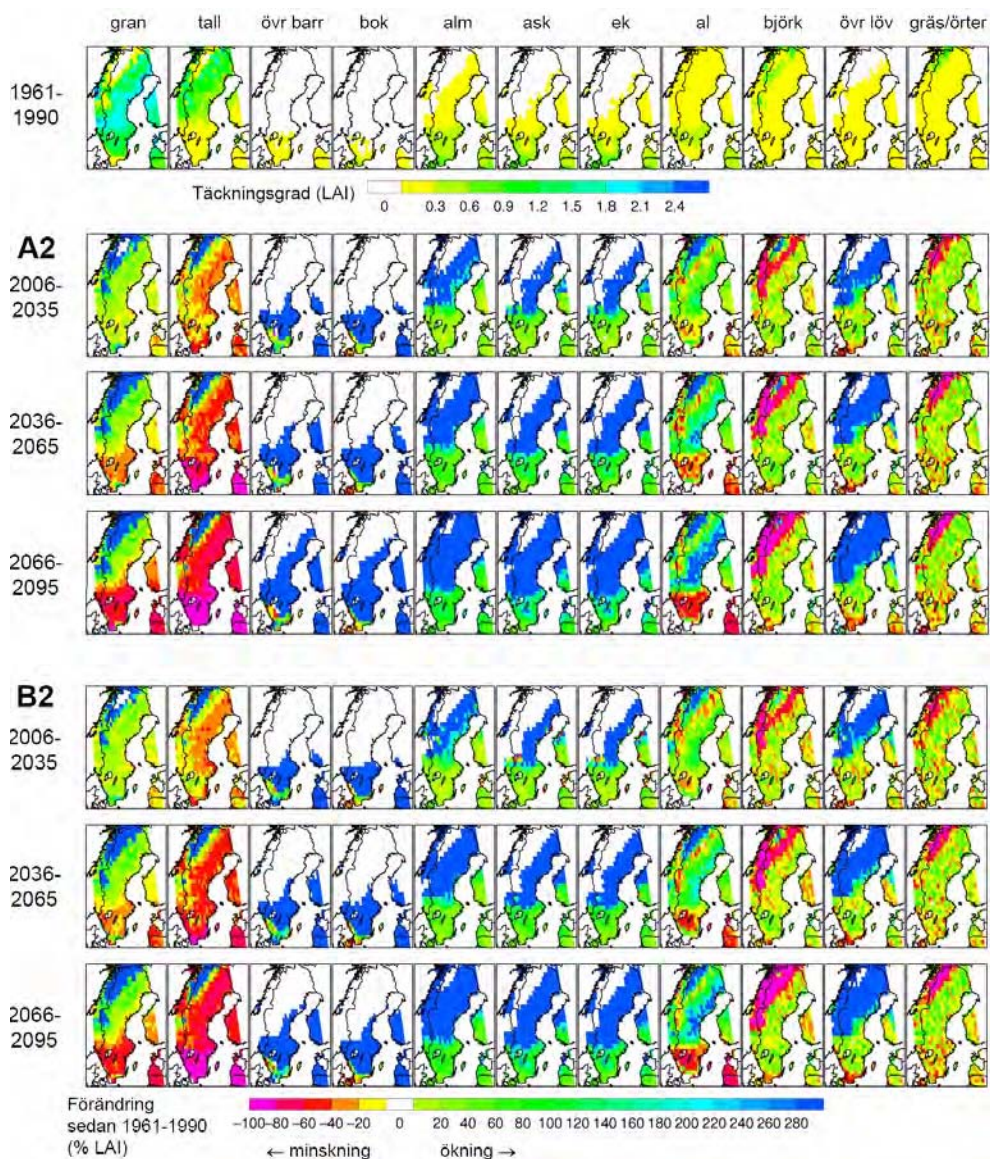
Resultaten av simuleringarna presenteras på geografisk basis i Figur 1. Betydelsen av de olika växttyper betecknas i figuren av lövarea-index (LAI) – ensidig löv- eller barryta delad men markyta på ekosystembasis (t.ex. tyder en LAI på 2 att det förekommer löv eller barr motsvarande i genomsnitt två horisontella skickt över varje punkt på marken). För dagens klimat prognosticerar modellen en potentiell vegetation som domineras av de boreala barrträden gran och tall, utom längst i söder där olika ädellövträd (bok, alm, ask, ek) dominerar. Björk finns representerad i hela landet, men dominerar vegetationen endast ovanför gran- och tallbälten i fjälltrakterna. Lågväxt vegetation, som i modellen representeras av gräs och örter, dominerar ovanför trädgränsen i de nordligaste fjällen.

Under klimatscenarierna sker en gradvis nordlig förskjutning av utbredningsgränsen för de arter (främst lövträd) som ej når ända upp till norra Skandinavien under dagens klimat. Samtidigt minskar betydelsen av barrträd i södra och mellersta Sverige till förmån för lövträd. Tall minskar över i princip hela landet utom i fjällen, medan gran bibehåller sin dominerande ställning i Norrland. Utvecklingen är kvalitativt och kvantitativt likadant i både A2 och B2 scenarierna. Scenerierna skiljer sig endast i detalj: förmodligen kompenseras den något kraftigare uppvärmningen i A2 scenariot av ökad molnighet (i norr) eller ökad avdunstning (i söder) i sin nettoeffekt på vegetationens primärproduktion (se nästa avsnitt).

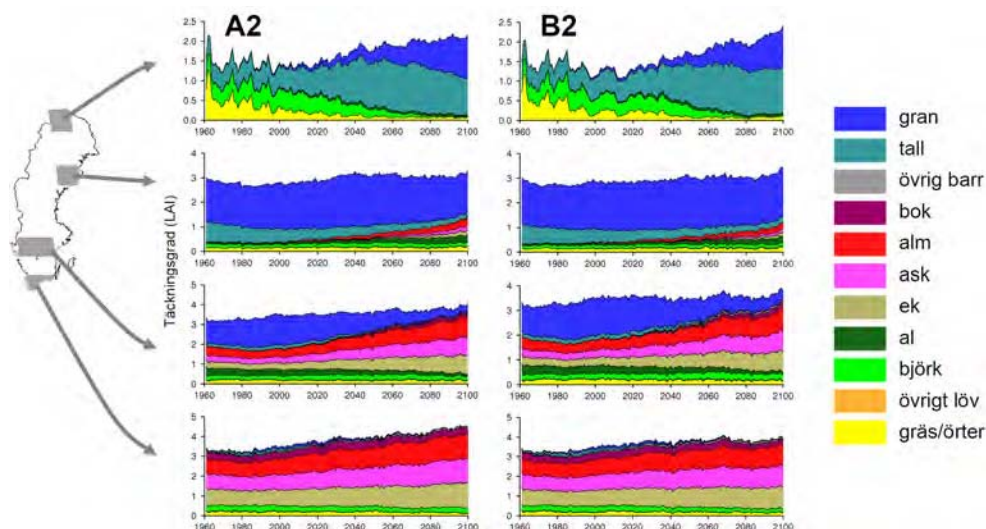
Den tidsmässiga utvecklingen i vegetationens sammansättning och täckning sammanfattas för fyra representativa geografiska fönster i Figur 2. I de högsta fjälltrakterna kring Kebnekaise ersätts större delen av kalfjällsvegetationen (som här representeras av växttypen gräs/örter) inledningsvis av fjällbjörk och sedan av tall och delvis av gran allteftersom vegetationsbälten förskjuts uppåt under den pågående uppvärmningen. Norrlands kusttrakter blir klimatmässigt tillgängliga för ädellövträden – främst alm, ask och ek – vid mitten av 2000-talet, där de börjar konkurrera ut främst tallen. I mellersta Sverige ökar lövträden sin konkurrenskraft på bekostnad av gran och tall. Boken börjar kolonisera skogen vid mitten av 2000-talet. Sydligaste sveriges potentiella vegetation visar

på endast mindre justeringar under klimatförändringarna enligt modellen.

Figur 1 Förändring i potentiell vegetation för Sverige simulerad av vegetationsmodellen LPJ-GUESS med drivdata från Rossby Centre A2 och B2 scenarier 1961–2100



Figur 2 Förändring i potentiell vegetation för fyra geografiska fönster (se karta) simulerad av vegetationsmodellen LPJ-GUESS med drivdata från Rossby Centre A2 och B2 scenarier 1961–2100

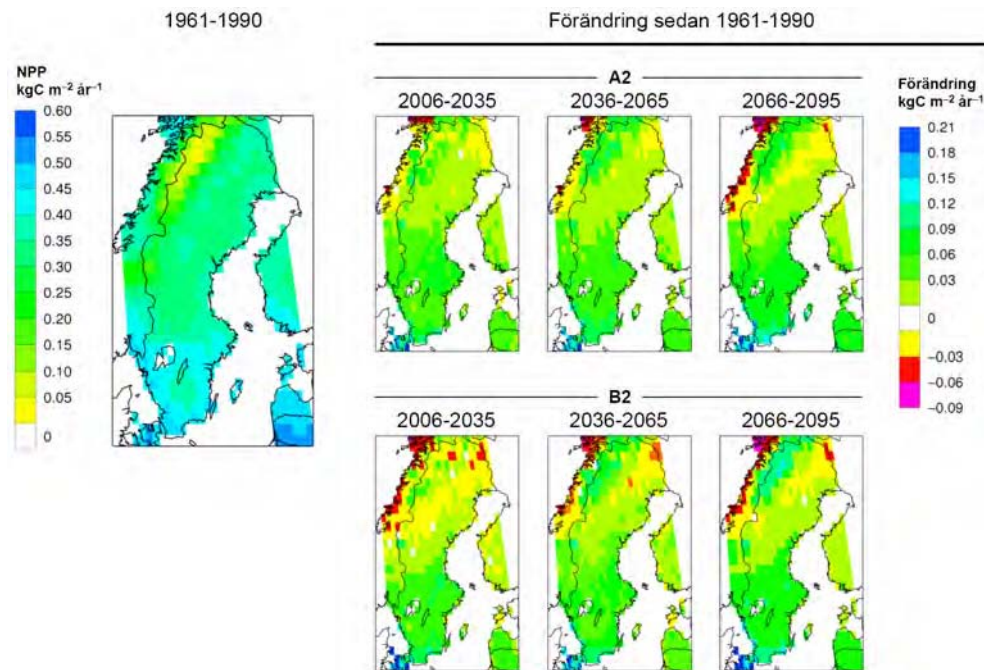


Förändringar i nettoprimärproduktion

Nettoprimärproduktion (NPP), den mängd kol som tas upp årligen i växternas fotosyntes men som ej förbrukas av cellernas energiomsättning, är 'valutan' för tillväxt och därmed vegetationsförändringar i modellen och i verkliga ekosystem. Förändringar i NPP till följd av ett förändrat klimat är potentiellt lika viktiga för vegetationens sammansättning och struktur som förändringar i arters eller växttypers utbredningar.

Resultaten för NPP presenteras i Figur 3 och Figur 4. Under dagens klimat prognosticerar modellen NPP-nivåer inom spannet 0.1–0.5 kgC m⁻² år⁻¹ för största delen av Sverige, utom i fjälltrakterna där värdena ligger under 0.1 kgC m⁻² år⁻¹. Högsta NPP uppnås i södra delen av landet, där vegetationsperioden är som längst. De prognosticerade NPP-värdena är förenliga med resultat från andra studier, t.ex. Zheng et al. (2004) som kom fram till ett medelvärde på c. 0.3 kgC m⁻² år⁻¹ för borealskog i Sverige och Finland baserad på en kombination av fjärranalys- och skogstaxeringsdata.

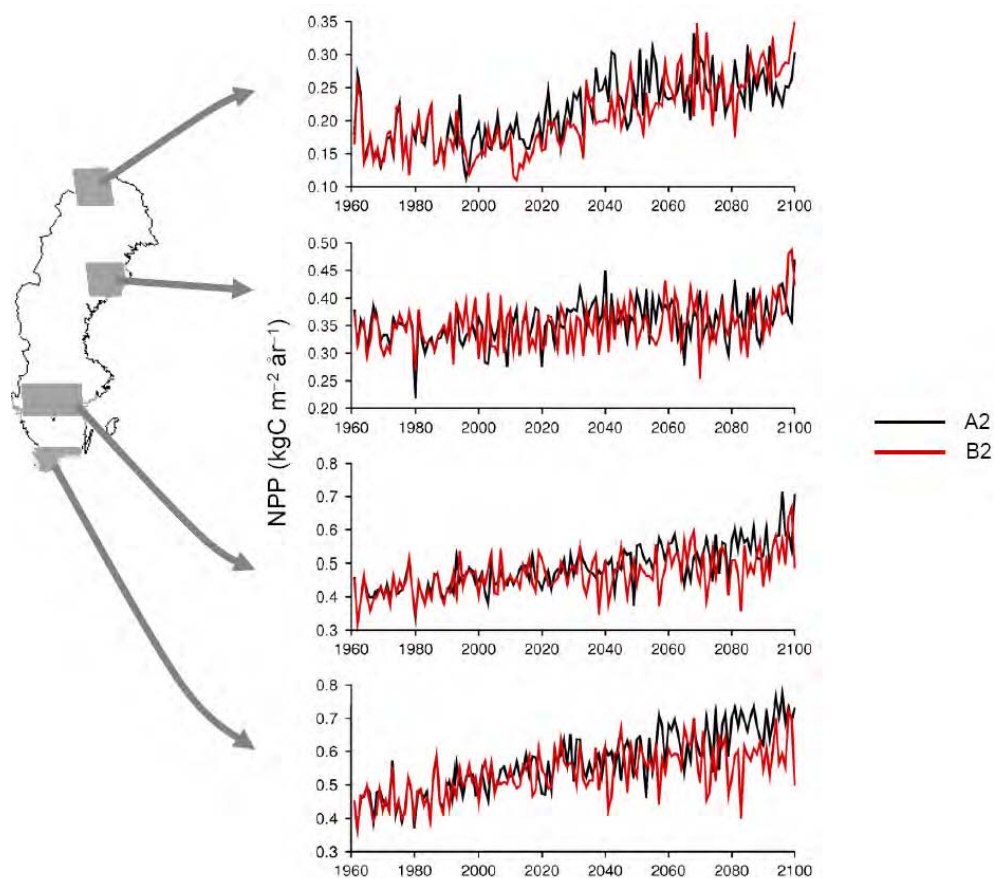
Figur 3 Förändring i netto primärproduktion (NPP, $\text{kgC m}^{-2} \text{år}^{-1}$) för potentiell naturlig vegetation i Sverige simulerad av vegetationsmodellen LPJ-GUESS med drivdata från Rossby Centre A2 och B2 scenarier 1961–2100



Under klimatscenarierna ökar NPP i södra och mellersta Sverige samt i fjällen. Däremot prognosticeras ingen ökning alternativt en liten minskning i NPP över ett bälte genom Norrlands inland. NPP-ökningen är som bäst i storleksordningen 20–30 % under hela scenariot, förutom i fjällen där den kan vara på över 100 %. Scenarierna A2 och B2 skiljer sig endast i detalj.

Figur 4

Förändring i netto primärproduktion (NPP, $\text{kgC m}^{-2} \text{år}^{-1}$) för potentiell naturlig vegetation inom fyra geografiska fönster (se karta) simulerad av vegetationsmodellen LPJ-GUESS med drivdata från Rossby Centre A2 och B2 scenarier 1961–2100

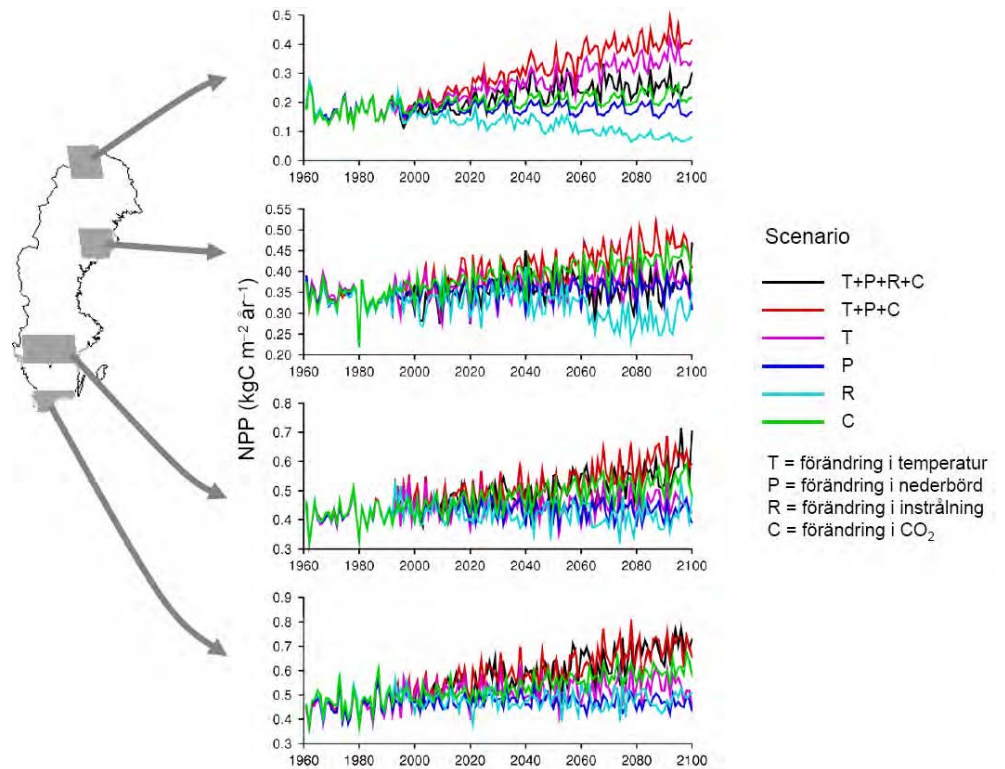


Betydelsen av olika drivkrafter i scenarierna för NPP-utvecklingen kan undersökas genom att driva modellen med förändringar i endast en eller en viss kombination av drivvariabler. Resulten från ett sådant experiment presenteras för scenario A2 i Figur 5. Resultaten indikerar att NPP-ökningen i huvudscenarierna främst beror på ökade CO_2 koncentrationer, vilka gynnar fotosyntesen, dels genom minskad s.k. fotorespiration, dels genom en förbättrad vattenhushållning (se t.ex. Drake et al. 1997). Ökade temperaturer, med en längre vegetationsperiod som följd, är av övervägande

betydelse endast i fjällen: i övriga delar av landet leder uppvärmningen i sig endast till en måttlig ökning av NPP enligt modellen. Anledningen är att de gynsamma effekterna av uppvärmningen – nämligen en förlängd vegetationsperiod och, under vissa förhållanden, något kraftigare fotosyntes – kompenseras mer eller mindre av negativa effekter: ökad transpiration och avdunstning (med sämre vattentillgång i marken som följd), och ökad växtrespiration. Separata undersökningar med modellen som gjorts men ej presenteras här visar att ökad respiration hos träden är den viktigaste förklaringen till den måttliga responsen av NPP som konstaterats för norra Sverige när endast förändringar i temperatur tillåts. Nederbördsförändringar har ingen tydlig nettoeffekt på NPP. Förändrad instrålning (molnighet) leder till minskad NPP i norra Sverige, särskilt under 2000-talets andra hälft. Kombinationen av ökad molnighet och ökad växtrespiration förklarar alltså den obetydliga nettoförändringen i NPP som projiceras av modellen för låglänta delar av norra Sverige.

Figur 5

Förändring i netto primärproduktion (NPP, $\text{kgC m}^{-2} \text{år}^{-1}$) för potentiell naturlig vegetation inom de fyra geografiska fönstrarna simulerad av vegetationsmodellen LPJ-GUESS med förändring i enskilda drivvariabler (temperatur, nederbörd, instrålning/molnighet, CO_2) eller kombinationer av drivvariabler. Drivdata kommer från Rossby Centre A2 och B2 scenarier 1961–2100



Diskussion

De simulerade förändringarna i vegetationsmönster för Sverige stämmer tämligen väl överens med tidigare studier med samma modell (Koca et al. 2006). Koca et al. tog inte hänsyn till förändringar i molnighet/instrålning i klimatscenarierna vilket bidrog till att en större NPP-ökningen simulerades för norra Sverige jämfört med den aktuella studien. I scenarierna från RCA3 minskar kortvågig instrålning med upp till c. 20 % sommartid i norra Sverige, vilket ger en motsvarande minskning i NPP om man bortse från effekterna av andra drivvariabler.

De simulerade vegetationsförändringarna är däremot betydligt mer nyanserade än i tidigare resultat från nischmodeller (Sykes et al. 1995; Bradshaw et al. 2000), åtminstone om dessa tolkas (naivt) som prognoser om den faktiska framtida utvecklingen i vegetationen. Dynamiska vegetationsmodeller som LPJ-GUESS ger en fullständigare och därmed förhoppningsvis mer realistisk bild av de olika klimatkänsliga processer som påverkar vegetation, i varje fall inom det tidsperspektiv som är aktuellt för den föreliggande utredningen.

De resultat som tagits fram i denna studie avser den potentiella vegetation som, enligt modellens teoretiska beskrivning, borde täcka regionen om endast variationer i klimatfaktorer och CO₂ koncentrationer styrde ekosystemet och dess processer. I verklighet finns naturligtvis även människan med i bilden, vilken styr genom valet av markanvändning, trädslag att plantera, tidpunkt för avverkning o.s.v. Människans avsiktliga och oavsiktliga skötsel av ekosystemen är emellertid svår, om inte omöjlig, att modellera på ett meningsfullt sätt (det finns dock vissa ansatser på detta, t.ex. för framtagning av framtida scenarier om storskalig markanvändning; Rounsevell et al. 2006). Resultaten bör tolkas som beskrivningar av de ramar inom vilka vegetationen och dess dynamik kan komma att reagera på klimatförändringarna, i den mån att inte skötselåtgärder, förändringar i störningsregimer och andra förändringar såsom nya artintroduktioner modifiera ramarna. Omvänt kan resultaten peka på vilka (exempelvis skötsel-) åtgärder som kan vara lämpliga för att förhindra en viss utveckling.

Några slutsatser kan dras som torde vara giltiga även för produktionsskog och annan anlagd vegetation. Simuleringarna visar att nemorala lövträd, bl.a. alm, ek, bok och ask, kan förväntas få en allt nordligare utbredning och kommer att konkurrera med gran

och tall i delar av mellersta Sverige och södra Norrland där nemorala träd knappast förekommer idag. En ökad tillväxt överlag leder till mer slutna skogar där skuggkänsliga pionjärträd såsom björk och tall får svårt att hävda sig utom i successionens allra första fas, omedelbart efter en störning eller avhuggning. Under-skicktsvegetation kan komma att få en lägre tillväxt och täckning. I fjälltrakterna krymper kalvfjället och på lång sikt riskerar även fjällbjörksbältet att krympa till förmån för främst tallskog.

Referenser

- Bradshaw, R.H.W., Holmqvist, B.H., Cowling, S.A. & Sykes, M.T. 2000. The effects of climate change on the distribution and management of *Picea abies* in southern Scandinavia. *Canadian Journal of Forest Research* 30: 1992–1998.
- Cramer, W., Bondeau, A., Woodward, F.I., Prentice, I.C., Betts, R.A., Brovkin, V., Cox, P.M., Fisher, V., Foley, J.A., Friend, A.D., Kucharik, C., Lomas, M.R., Ramankutty, N., Sitch, S., Smith, B., White, A. & Young-Molling, C. 2001. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global Change Biology* 7: 357–373.
- Drake, B.G., Gonzales-Meller, M.A., Long, S.P. 1997. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO₂? *Annual Review of Plant Physiology & Plant Molecular Biology* 48: 609–639.
- Gerten, D., Schaphoff, S., Haberlandt, W., Lucht, W. & Sitch, S. 2004. Terrestrial vegetation and water balance - hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology* 286: 249–270.
- Grace, J., Berninger, F. & Nagy, L. 2002. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany* 90: 537–544.
- Hickler, T., Smith, B., Sykes, M.T., Davis, M.B., Sugita, S. & Walker, K. 2004. Using a generalized vegetation model to simulate vegetation dynamics in the western Great Lakes region, USA, under alternative disturbance regimes. *Ecology* 85: 519–530.

- Joos, F., Prentice, I.C., Sitch, S., Meyer, R., Hooss, G., Plattner, G.-K., Gerber, S. & Hasselmann, K. 2001. Global warming feedbacks on terrestrial carbon uptake under the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) emission scenarios. *Global Biogeochemical Cycles* 15: 891–907.
- Knorr, W., Smith, B., Widlowski, J.L., Pinty, B. & Gobron, N. 2004. Combining remote sensing techniques with productivity models: a case study for monitoring carbon stocks in northern European forests. In Stamatiadis, S., Lynch, J.M. & Schepers, J.S. (eds) *Remote Sensing for Agriculture and the Environment*. OECD Publications, ella, Larissa, Greece, pp. 52–64.
- Koca, D., Smith, B. & Sykes, M.T. 2006. Modelling regional climate change effects on Swedish ecosystems. *Climatic Change* 78: 381–406.
- Lucht, W., Prentice, I.C., Myneni, R.B., Sitch, S., Friedlingstein, P., Cramer, W., Bousquet, P., Buermann, W. & Smith, B. 2002. Climatic control of the high-latitude vegetation greening trend and Pinatubo effect. *Science* 296: 1687–1689.
- Morales, P., Hickler, T., Rowell, D.P., Smith, B. & Sykes, M.T. 2007. Changes in European ecosystem productivity and carbon balance driven by Regional Climate Model output. *Global Change Biology* 13: 108–122.
- Morales, P., Sykes, M.T., Prentice, I.C., Smith, P., Smith, B., Bugmann, H., Zierl, B., Friedlingstein, P., Viovy, N., Sabate, S., Sanchez, A., Pla, E., Gracia, C.A., Sitch, S., Arneth, A. & Ogee, J. 2005. Comparing and evaluating process-based ecosystem model predictions of carbon and water fluxes in major European forest biomes. *Global Change Biology* 11: 2211–2233.
- New, M., Hulme, M. & Jones, P.D. 2000. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 2: development of 1901–1996 monthly grids of terrestrial surface climate *Journal of Climate* 13: 2217–2238.
- Prentice, I.C. & Helmisaari, H. 1991. Silvics of north European trees: Compilation, comparisons and implications for forest succession modelling. *Forest Ecology & Management* 42: 79–93.

- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, M., Samuelsson, P. & Willén, U. 2003. *GCM driven simulations of recent and future climate with the Rossby Centre coupled atmosphere - Baltic Sea regional climate model RCAO. Reports Meteorology and Climatology (RMK), No. 101*, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, Norrköping.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araújo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.L., Kankaanpää, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P. & Tuck, G. 2006. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 11: 57–68.
- Sitch, S., Smith, B., Prentice, I.C., Arneth, A., Bondeau, A., Cramer, W., Kaplan, J., Levis, S., Lucht, W., Sykes, M., Thonicke, K. & Venevsky, S. 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ Dynamic Global Vegetation Model. *Global Change Biology* 9: 161–185.
- Smith, B., Prentice, I.C. & Sykes, M.T. 2001. Representation of vegetation dynamics in modelling of terrestrial ecosystems: comparing two contrasting approaches within European climate space. *Global Ecology and Biogeography* 10: 621–637.
- Sykes, M.T. & Prentice, I.C. 1995. Boreal forest futures: modelling the controls on tree species range limits and transient responses to climate change. *Water, Air & Soil Pollution* 82: 415–428.
- Sykes, M.T., Prentice, I.C. & Cramer, W. 1996. A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates. *Journal of Biogeography* 23: 203–233.
- Woodward, F.I. 1987. *Climate and Plant Distribution*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
- Zheng, D., Prince, S. & Häme, T. 2004. Estimating net primary production of boreal forests in Finland and Sweden from field data and remote sensing. *Journal of Vegetation Science* 15: 161–170.

Bedömningar av klimatförändringars effekter på växtproduktion inom jordbruket i Sverige

Sveriges Lantbruksuniversitet, 750 07 UPPSALA, Sverige
Henrik Eckersten¹, Lars Andersson¹, Fredrik Holstein²,
Birgitta Mannerstedt Fogelfors¹, Elisabet Lewan³,
Roland Sigvald⁴, Bengt Torssell¹

¹Institutionen för Växtproduktionsekologi, Box 7043,
Fax: +46-18672909

²Institutionen för Ekonomi

³Institutionen för Markvetenskap

⁴Institutionen för Ekologi

Korrespondens E-mail: henrik.eckersten@vpe.slu.se

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen
2007-06-20

Innehåll

Förord.....	9
Allmän sammanfattning.....	11
Markanvändning	11
Odlingsperiod	13
Vattentillgång.....	14
Växtskadegörare.....	15
Ogräs	17
Kvalitet.....	17
Växtnäringsläckage	19
Anpassning	20
Forskningsbehov.....	24
General summary (in English)	27
Land use	27
Growing period	29
Water availability.....	30
Crop pests	31
Weeds	33
Quality	34
Nutrient leaching	36
Adaptation.....	37
Research requirements.....	41
Sammanfattningar av respektive avsnitt	43
Markanvändning	44
Vattentillgång.....	46
Växtskadegörare.....	49
Ogräs	52
Kvalitet.....	53
Växtnäringsläckage	56
Introduktion	60

1	Markanvändning	64
1.1	Bakgrund.....	64
	Faktorer som påverkar användningen av jordbruksmark	64
	Markegenskapernas effekter på markanvändning	65
	Markanvändningens historiska utveckling	66
1.2	Konsekvenser av klimatförändringar	69
	Produktionsområden vandrar norrut	69
1.3	Jordbrukets ekonomiska förutsättningar	73
	Globala socioekonomiska förutsättningar.....	75
	Priser på produkter och insatsvaror	79
1.4	Produktivitet.....	85
	Teknikutveckling.....	86
	Koldioxideffekter	88
	Klimatförändring.....	89
1.5	Markanvändning för Europa som en region	92
	ATEAM	92
1.6	Markanvändning i enskilda länder.....	96
	ATEAM	96
	ACCELERATES	99
1.7	Diskussion	102
	Jämförelse mellan ACCELERATES och ATEAM.....	102
	Bioenergiödling	106
1.8	Referenser	106
	Muntlig kommunikation.....	107
2	Vattentillgång.....	108
2.1	Introduktion och bakgrund.....	108
	Odlingen påverkas av vattenklimatet	108
	Resursutnyttjande	110
	Skillnader inom landet	110
2.2	Odlingsperiod för vårsådda grödor.....	111
	Tidpunkt för vårbruk	111
	Tidpunkt för skörd.....	114
	Odlingsperiod.....	116

2.3	Odlingsperiod för höstsådda grödor	117
	Tidpunkt för höstsådd.....	117
	Start av tillväxt på våren.....	119
	Tidpunkt för skörd	119
	Odlingsperiod	121
2.4	Vattenbalans	122
2.5	Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov	129
	Vattenbehov	133
	Kvävebehov	136
	Alternativa skördeintervall.....	139
2.6	Sammanfattande diskussion	140
	Referenser.....	144
	Muntlig kommunikation	145
3	Växtskadegörare	146
3.1	Inledning.....	146
3.2	Historik	146
3.3	Nuvarande växtskyddsproblem.....	148
	Potentiella skördeförluster av skadegörare	148
	Användning av kemiska medel.....	149
	Betydelsefulla skadegörare	150
3.4	Vädrets inverkan på skadegörare.....	154
	Vindens betydelse	156
3.5	Effekter på skadegörare och gröda vid förändrat klimat	157
	Insekter.....	157
	Insektsöverförda virussjukdomar	162
	Svampsjukdomar	164
	Ändrad synkronisering mellan grödors och skadegörares utveckling.....	166
3.6	Regionala skillnader vid ett förändrat klimat	169
	Insekter och virussjukdomar.....	170
	Svampsjukdomar	171
3.7	Effekter av förändrad odlingsstruktur och arealfördelning vid förändrat klimat	172

3.8	Konsekvenser och anpassningsmöjligheter	173
	Insekter	173
	Svampsjukdomar	174
3.9	Sammanfattning.....	176
	Skillnader i angrepp mellan olika delar av landet.....	177
	Effekter och sårbarhet i jordbruket.....	179
3.10	Referenser	181
4	Ogräs	186
4.1	Ogräsflorans artsammansättning	187
	Ogräsflorans förändring	188
	Direkt inverkan av klimatförändringar på ogräsflorans sammansättning.....	190
	Indirekt effekt av klimatförändringar på ogräsflorans sammansättning.....	192
	Sammanfattning – förändringar i ogräsfloran.....	193
4.2	Klimatförändringens effekt på bekämpningsbehovet	194
4.3	Sammanfattande diskussion.....	197
	Effekten av framtida klimatförändringar på bekämpningsbehovet av ogräs i Sverige.....	197
	Referenser	198
	Muntlig information	199
5	Kvalitet.....	200
5.1	Bakgrund.....	200
5.2	Kvalitetskrav för svenska växtprodukter i dagens jordbruk	200
	Kvalitetskrav för grödor i dag.....	202
5.3	Konsekvenser av klimatförändringar till ~2085 på olika grödor.....	206
	Vårvete	206
	Höstvete.....	207
	Korn	208
	Havre	208
	Våraps	209

Höstraps	210
Potatis	210
Sockerbeta	211
Ärtor och bönor	211
5.4 Sammanfattning	212
5.5 Referenser	214
6 Växtnäringsläckage	216
6.1 Bakgrund	216
6.2 Direkta klimateffekter på utlakning	218
Svealands slättbygder ~2085	219
Övriga regioner ~2085	223
~2025	223
HADAM3H	224
6.3 Indirekta klimateffekter på utlakning	224
6.4 Effekter av förändringar i markanvändning	225
6.5 Sammanfattning och jämförelse med tidigare studier	226
Kväveläckage	226
Fosforläckage	229
6.6 Möjliga åtgärder	230
6.7 Slutsatser	231
6.8 Referenser	232
Muntlig kommunikation	233
7 Appendix	234
7.1 Markanvändning	234
Bakgrund	234
Jordbrukets ekonomiska förutsättningar	235
Markanvändning för Europa som en region	236
Markanvändning i enskilda länder	237

7.2	Vattentillgång	237
	Bakgrund.....	237
	Vårsådda grödor	238
	Höstsådda grödor.....	239
	Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov	241
7.6	Näringsläckage	242
	Nederbörd minus avdunstning.....	249

Förord

Denna studie är ett utredningsuppdrag för Klimat- och såbarhetsutredningen och består av sex delstudier:

1. Markanvändningsscenarier,
med uppdraget att utreda utifrån publicerade studier hur klimatförändringarna kommer att påverka olika delar av Europa och hur detta påverkar svenskt jordbruks konkurrenskraft. Analysera antaganden och eventuella resultat om prisskillnader mellan olika grödor, och deras respektive arealfördelning. (Henrik Eckersten och Fredrik Holstein).
2. Vattentillgång,
med uppdraget att bedöma effekter av förändrade vattenförhållanden på olika grödors produktivitet, baserat främst på förändringar i nederbörd, men i viss uträkning också temperatur. En uppskattning av förändrad produktivitet per gröda och totalt i olika tidsperspektiv. (Henrik Eckersten och Bengt Torssell).
3. Växtskadegörare,
med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på risken för (både befintliga och potentiellt nya) virus-, svamp- och insektskador hos grödor, samt behovet av förändrade bekämpningsmetoder jämfört med dagsläget. (Roland Sigvald).
4. Ogräs,
med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på ogräsförekomst. (Lars Andersson)
5. Kvalitet,
med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på kvalitetsparametrar hos olika grödor och vall (Birgitta Mannerstedt Fogelfors, Bengt Torssell).
6. Växtnäringsläckage,
med uppdraget att bedöma effekter av förändrade klimatförhållanden på kväve- och fosforläckage från åkermarken. (Elisabet Lewan).

Studien har gjorts i samarbete med utredningsuppdraget "Framtidsanalys av svenskt jordbruk – odlingssystem och jordbrukslandskap i förändring" vid Fakulteten för Naturresurser och Lantbruksvetenskap vid SLU, Uppsala.

Studien avser att sia om en framtid som är okänd, och alla förutsägelser måste betraktas som mycket osäkra. Trots att alla beräkningar alltså i grunden är ytterst osäkra uttrycker vi oss oftast säkert, t.ex. det blir så här och så här. Skälet till detta är att det blir onödigt tyngande att ständigt upprepa osäkerheten. Därför ber vi läsaren att hålla i minnet att alla redovisade resultat är förutsägelser, som dessutom bygger på klimatscenarier som också är förutsägelser, och resultaten bör användas med detta i åtanke.

Alla klimatscenarier avser medelvärden över en 30-års period, men av praktiska skäl uttrycker vi dem med enbart ett årtal och beteckningen "~" som här alltså betyder att året representerar medelförhållanden för 30 år kring detta år. Klimatperioder som används är ~2025 = 2011–2040 och ~2085 = 2071–2100. Som referensklimate används normalt perioden 1961–90 som betecknas ~1975. SMHI:s klimatscenarier har använts för bedömningar i avsnitt 2–6. I avsnitt 1 analyseras resultaten från studier som använt andra klimatscenarier.

Studien är ett tidsbegränsat utredningsuppdrag som utförts av vetenskapligt utbildade forskare. Bedömningarna kan dock ej betraktas vara strikt vetenskapliga eftersom klimatkartorna avlästs visuellt och det givna tidsutrymmet begränsat möjligheterna att genomföra kvalificerade beräkningar. Inom många delområden saknas dessutom analysmetoder och det finns ett stort behov av systematisk forskning för att utveckla redskap som kan kvantifiera effekter av en klimatförändring. Vi ber läsaren beakta detta vid bedömningar av informationens vetenskapliga värde.

Allmän sammanfattning

Målet med rapporten är att bedöma effekter av klimatförändringar på specifika delar av växtproduktionen inom svenskt jordbruk, baserat på klimatförändringsscenarier från Rossby Centre, SMHI (daterade oktober 2006). Kriterierna för de valda delområdena är att de förväntas kunna påverkas negativt av en klimatförändring och därmed kräva anpassning av olika slag. Ambitionen är dock att analysen av respektive delområde ska vara neutral och även redovisa de positiva effekterna. Avsnittet om markanvändning är en analys av resultat från två stora vetenskapliga forskningsprojekt kring klimatförändring och användning av jordbruksmark, och avser effekter av andra klimatscenarier, dvs. inte specifikt dem från SMHI.

Markanvändning

Behovet av areal för att odla grödor till livsmedel och foder bedöms allmänt att minska för Europa som helhet för den typ av samhälle som vi lever i för tillfället, dvs. en värld med en starkt tillväxtorienterad ekonomi och en värld som sätter regionala (t.ex. EU respektive USA) intressen i förgrunden. Det stora skälet till det minskade behovet av åkermark för dessa syften är främst antagandet om en starkt ökad produktivitet per hektar vilket främst förklaras av en fortsatt teknologisk utveckling inom jordbruket i en takt baserat på den som rått sedan mitten av 1900-talet. För Europa som helhet förväntas klimatförändringarnas effekt på produktiviteten bli liten i jämförelse med teknologikutvecklingens. Klimatförändringarna till ~2050 orsakar i en bedömning en plus minus 5 till 10 %-ig förändring av Europas genomsnittliga hektarskördar, och i en annan bedömning ca 25 % ökning jämfört med i dagsläget. Detta kan jämföras med en 85–160 %-ig ökning pga teknologikutveckling. Bedömningarna av teknologikutvecklingen saknar en konkret förklaringsgrund utan bygger i huvudsak på empiriska erfarenheter av produktivitetsförändringar. Orsakerna till skillnader i teknologifaktorn mellan scenarierna är oklara. Av bland annat det skälet skiljer sig bedömningar åt så mycket att effekten av dessa osäkerheter på behovet av åkerareal är mycket betydande i jämförelse med själva förutsägelsen om arealbehovets minskning. På liknande sätt påverkas osäkerheterna i markanvändnings-

scenarierna lika mycket av utgångspunkten för vad som styr markanvändningen (produktionens anpassning till konsumtionen av en given kvantitet eller till givna produktpriser) och möjligheterna att bedöma konsekvenserna av dessa antaganden. Den tredje stora osäkerhetsfaktorn är samhälls- (socioekonomiska) utvecklingen. Alternativa samhällsutvecklingar med mindre stark teknologisk utveckling (teknologifaktorns effekt på produktiviteten är ca 10–25 % i scenario B2) och mer miljöinriktad politik påverkar också bedömningarna av arealbehovet till en betydande del. Även vilken klimatmodell som beräknat klimatscenarierna spelar roll. Sammantaget ger alla dessa osäkerheter en låg trovärdighet till markanvändningsscenarierna. Denna bedömning har dock möjliggjorts av att metoderna i stora delar är transparenta, vilket i sin tur ger möjligheter till att de kan utvecklas och att orsakerna till skillnaderna i resultaten kan identifieras. En allmän tendens bland scenarierna är dock att i ett samhälle som utvecklas i en riktning mot stark ekonomisk tillväxt kommer troligen en mindre andel av Europas åkerareal att användas till livsmedels- och foderproduktion, än om samhället utvecklas i riktning mot anpassning till miljön.

Markanvändningsscenarierna för Europa har använts för att få fram scenarier för enskilda länder. Modellen som tar sin utgångspunkt i vinstmaximerande jordbrukares anpassning till priser kan betraktas som relativt sett mer pålitlig vad avser fördelningen mellan länder. I gengäld kanske den är osäkrare på den totala Europeanivån pga fortplantning av fel vid omfattande beräkningar. Scenarierna visar att enbart klimatförändringar, dvs. vid antagande om att nuvarande socioekonomiska förutsättningar förblir oförändrade, skulle öka svensk åkermarks konkurrenskraft för mat- och foderproduktion. För alla scenarier utom det med minst klimatförändring (B1:s klimatscenario) skulle ge en ökad arealanvändning. Med beaktande också av förändringar i de socioekonomiska förutsättningarna (priser på insatsmedel mm) blir det bara i scenariot med den högsta klimatpåverkan (A1F1) som svensk växtodling ökar sin konkurrenskraft. För B2 minskar svensk jordbruksareal till i stort sett bara södra Götaland främst pga höga priser på insatsmedel och att de positiva klimatförändringseffekterna inte är tillräckligt stora för att kompensera för detta. Det bör påpekas att resultaten verkar vara mycket känsliga för variationer i indata. Test av förutsägelserna av markanvändning inom Sverige har gett ett mycket dåligt resultat. Även om

markanvändningen bara till en mindre del styrs av klimatet ger rådande regionala skillnader kanske en bättre bild av möjliga förändringar i markanvändning inom Sverige. Om Mälardalen, när den får Skånes klimat av idag, också skulle få Skånes arealanvändning av idag skulle främst höstvetete ersätta stora delar av havrearealen. För Västerbotten skulle motsvarande resonemang innebära att en stor andel av vallarealen skulle ersättas med stråsådesodling och främst höstvetete. I södra Sverige upp till Mälardalen skulle andelen nya grödor såsom majs och solrosor öka.

Odlingsperiod

Odlingsperioderna bedöms allmänt förlängas, och då främst på våren men också på hösten, medan perioden med barmark från skörd på sensommaren till sådd på hösten kan komma att förlängas. Dessa bedömningar har främst gjorts med agrar expertis men vissa empiriska data och modellkörningar har också utnyttjats. För vårsådda grödor bedöms vårbrukets start huvudsakligen bestämmas av upptorkningen av marken vilket sker betydligt senare än vegetationsperiodens start. Vårbruket ~2085 kan komma igång i början av mars i Götalands södra slättbygder och mellanbygder och i slutet av mars i de norra delarna liksom i Svealand. I Norrland blir vårbruket i början av april i söder och i andra delen av april i norr. Skörden av den vårsådda grödan bedöms bli ca tre veckor tidigare än idag och skillnaderna över landet kan bestå, för vårkorn skulle detta innebära andra halvan av juli i söder till andra halvan av augusti i övre Norrland. Det är lite oklart när höstsådden kan ske, men med tanke på att vegetationsperioden blir mer än en månad längre på hösten, torde höstsådden fördröjas i liknande utsträckning. Höstgrödan tillväxer fram till början av december i både Götaland och Svealand. I nedre Norrland slutar tillväxten i senare delen av november och i övre Norrland i början av november. Den ökade temperaturen gör att tillväxten på våren börjar i februari i Götaland och Svealand, en dryg vecka in i mars i nedre Norrland och i mitten av april i övre Norrland, dvs. ca en månad innan vårbruket (lite mindre i norr). För t.ex. höstvetete avspeglar sig detta i en tidigareläggning av utvecklingsstadierna med ca en månad i början av våren och en blomning och mognad ca 3 veckor tidigare än idag.

Vattentillgång

Ökad temperatur, förändrade nederbördsförhållanden och ökad CO₂-halt i atmosfären leder till förändrade vattenförhållanden för jordbruket. Ökad temperatur leder till ökad tillväxt och transpiration främst på våren vars tillväxt i dagsläget är starkt temperaturbegränsad. Nederbörden förväntas öka från oktober till mars, vara oförändrad i april och sedan lägre än i dagsläget från maj till september. Det torde ge sämre vattentillgång för växterna från april till september, men bedömningen försvåras av att den förhöjda CO₂-halten gör att växterna kan hushålla bättre med vatten, dvs. transpirationen kan minska utan att tillväxten gör det i samma utsträckning. Beräkningar för gödslad gräsvall för ~2085 som beaktar alla faktorerna samtidigt tyder på att markvattenhalterna överlag sjunker från juni till oktober, men att tillväxten inte nödvändigtvis hämmas mer än att den i juli-augusti i kan komma att förbli på dagens nivå. Beräkningarna stöds av en alternativ metod där förändringar i avdunstning avläses från klimatscenariokartorna. Den ackumulerade ökningen av avdunstningen var störst i Götalands mellanbygder (45 mm), något lägre i övriga Sverige och betydligt lägre i övre Norrland där avdunstningen bara ökade med 15 mm april–juni. Nedgången i augusti och september var störst i Svealand.

De fåtal simuleringar som utförts antyder att det uppstår ett vattenunderskott och en möjlighet att öka tillväxten genom bevattning. Detta bevattningsbehov skulle för vissa lokaler något år kunna vara i storleksordningen 15–80 mm/år varav den största behovsökningen skulle kunna bli i maj. Bedömningarna ger ingen uppfattning om hur stor vattenstressen kan bli för enskilda extrema år på enskilda platser och ännu mindre i medeltal. För detta skulle behövas många fler simuleringar. Men det ser ut att allmänt bli torrare förhållanden från slutet av juli till och med september och en ökad intensitet i nederbörden antyder att det lokalt kan bli torrare förhållanden än simuleringarna visar. Höstgrödan kan allmänt antas ha skördats i början av denna torrperiod, medan en större andel av kärnfyllnaden kan komma att ske under torrare förhållanden för motsvarande vårgröda. Detta skulle kunna påverka kärnskoroden främst genom minskad skördemängd och förändrade proteinhalter, och troligen ge ytterliggare en fördel till höstsådden jämfört med vårsådden. Dessa förhållanden talar också till majsens fördel eftersom den trivs i värme och kan motstå torka

förhållandevis bra. För samodlings- och fånggrödesystem är det angeläget att den insådda grödan har ett väletablerat rotsystem innan skörden av huvudgrödan. Vallen kan få minskad tillväxt under denna period jämfört med idag, vilket skulle orsaka behov av stödutfodring. För grönsaksodlingar innebär denna torrperiod ett ökat bevattningsbehov. Den allra största andelen av grönsaksodlingar har redan i dag bevattningssystem och frågan blir snarare om det finns tillräckligt med vatten för att öka bevattningen under dessa torra perioder, än att anlägga nya bevattningssystem. Där- emot kan bevattningssystemen behöva modifieras så att de förmo- dade nederbördsökningarna under andra delar av året blir tillgängligt för dessa torrperioder. Hur mycket mer bevattning som kommer att behövas återstår att utreda. De enstaka beräkningarna för en gödslad gräsvall ovan antyder att det skulle kunna behöva tillföras ytterliggare ungefär samma mängd vatten som den av klimatförändringen orsakade minskningen av nederbörden på sommaren för att utnyttja den ökade tillväxtpotentialen.

Växtskadegörare

Insekt-, virus- och svampangrepp på grödor orsakar omfattande bekämpningsbehov och svarar idag för ungefär halva kostnaden för bekämpningsinsatser inom svenskt jordbruk. Andra halvan svarar bekämpningen av ogräs för. Beräkningar av skadeeffekter på grödor som funktion av klimatet är komplicerat och forskning inom detta område utvecklar metoder både för att förstå och förutse klimatets effekter på insekters och sjukdomars (svampar, virus, bakterier) dynamik och effekter på grödan. Vi har dock här inte använt några kvantitativa metoder utan försökt göra kvalitativa bedömningar av klimatförändringars möjliga effekter.

Insekt- och virusangrepp på grödorna kan nog allmänt antas öka. Främsta skälet till detta är troligen att insekterna gynnas av ett varmare klimat under vintern och därför blir talrikare på våren. Insekternas inverkan på grödan är direkt genom att de livnär sig på grödan, men stor betydelse har de indirekta skadorna genom insekternas förmåga att sprida olika virussjukdomar. Alla regioner i Sverige får troligen ökade problem med skadeeffekter från insekter och virussjukdomar, men ökningen torde bli större i södra Sverige och i torrare områden. Insekterna kommer att bli aktiva betydligt tidigare på våren än idag eftersom vegetationsperioden tidigare-

läggs, vilket torde orsaka ökade angrepp på vårsådda grödor. I dagsläget sammanfaller vårbruket ganska väl med vegetationsperiodens start, men till ~2085 blir troligen vårbruket fördröjt med upptill en månad jämfört med vegetationsperioden. Större mängd insekter vid vårsådden och att vårgrödan utsetts för virusjukdomar i ett tidigare utvecklingsstadium kommer att öka behovet av bekämpning, om ej andra metoder kommer att öka så som användning av motståndskraftiga sorter. Denna effekt bedöms bli ungefär lika stor i Götaland och Svealand, men mindre i Norrland.

Insekterna gynnas också av höga temperaturer på sommaren och bekämpningsbehov kan tänkas öka även här, vilket torde gälla flertalet grödor.

Insekt- och virusangrepp i höstsådda grödor på hösten är i dagsläget begränsat av att mängden insekter är relativt lågt på hösten och att det inte finns en brygga mellan smittade vårsådda grödor och nysådda känsliga grödor på hösten. I ett framtida varmare klimat torde det finnas fler insekter på hösten och dessutom skulle nyintroducerade vårsådda grödor som växer långt in på hösten, såsom majs, kunna fungera som en brygga för virus från vårsådd till höstsådd, och virusangreppen i höstsådden torde öka. Nya insektsarter kommer att etableras i Sverige, bl.a. beroende på vilka grödor som odlas, men det är svårbedömt vilka arter och det behövs monitoring system för att följa utvecklingen.

Svampsjukdomar gynnas av både temperatur och fukt. Fuktighetssituationen kommer att ändras betydligt mer olika, för olika delar av Sverige, än temperaturen. Detta gör att vi kan förvänta oss stora skillnader mellan regioner. Dessutom finns det svampsjukdomar som gynnas av hög temperatur men inte specifikt av hög luftfuktighet. Speciellt utsatt är höstsådden som har en lång infektionsperiod på hösten. För vårsådden kan effekten bli mindre än i dagsläget i områden med förväntade relativt torr försommar såsom i södra delarna av landet. I norra Sverige torde dessa svampar dock få en ökad betydelse pga ett allmänt fuktigare och varmare klimat. I potatis torde potatisbladmögel öka något.

I en framtida klimatförändring löper utsädesodlingar, av kanske speciellt potatis, större risk att drabbas av insekt- och virusangrepp än i dagsläget. Det kan då uppstå behov att inrätta någon form av utsädesreservat inom vilka vanliga bruksodlingar med stor andel virusmittade plantor begränsas. Behovet kan uppstå för hela Sverige. Ökad förekomst av skadegörare vid en klimatförändring kan motverkas med ökad användning av kemiska medel, men detta

är ej önskvärt ur många aspekter. Förbättrad odlingsteknik, ökad användning av resistent sorter och en god växtföljd för att minska spridningen av sjukdomar torde därför få ökad betydelse.

Ogräs

Allmänt kan behovet av ogräskontroll antas öka vid en klimatförändring. Ett tungt skäl till denna slutledning är att i länder med varmare klimat än Sverige är användningen av bekämpningsmedel betydligt större än i Sverige. Det finns en hel del naturliga förklaringar till detta. Ett varmare klimat ger troligen en artrikare ogräsflora bl.a. därför att fler arter hinner nå sin reproduktiva utvecklingsfas i den förlängda vegetationsperioden. Dessutom kommer grödor med konkurrenssvaga bestånd (t.ex. majs med stort planteringsavstånd) troligen att öka i omfattning. Ökad andel höstsådda grödor, på bekostnad av vårsådda grödor, riskerar att leda till en uppförökning av de vinterannuella ogräsen vilket i sin tur ökar bekämpningsbehovet. En mer ensidig växtföljd och därmed större bekämpningsintensitet med färre preparat ökar risken för herbicidresistens, ett problem som bedöms öka vid en klimatförändring. Anpassningsåtgärder inrymmer till stor del utveckling av metoder för ogräskontroll och planering av odlings-system. Det finns givetvis ett motsatsförhållande mellan bekämpning av ogräs och önskan om låga insatsmedel, men också önskan om låg näringsutlakning. Plöjningsfri odling begränsar utlakningen men samtidigt missar odlaren ett tillfälle att kontrollera ogräsen på icke-kemisk väg.

Kvalitet

Avsikten med växtodlingen är att få fram en produkt med en viss kvalitet, där varje produkt definieras av flera olika kvalitetsparametrar. Detta leder till många tänkbara effekter av en klimatförändring och därför är det mycket svårt att ge en allmän bild. Problemet att ge denna bild blir inte mindre av att det dessutom, med några få undantag, saknas metoder att förutse effekter av givna förändringar i klimatet. Vi kan förvänta oss allmänt större problem med den hygieniska kvaliteten i och med att växtskadeangreppen bedöms att allmänt öka. Dessa svårigheter torde bli större i

vårsådda grödor, än i höstsådda grödor, och större i södra Sverige än i norra, i och med att risken för angrepp bedöms störst där. Andra faktorer som kan orsaka förändrad kvalitet är förändrade utvintrings- och snötäcksförhållanden, men det är oklart om detta kommer att leda till sämre eller bättre kvalitet.

Den näringsmässiga kvaliteten i grödor byggs upp av ämnen som tas upp från mark och luft och syntetiseras i växten. Proteinhalter i växten är proportionell mot kvävehalten som bestäms av kolupptag från atmosfären (tillväxt) och kväueupptag från marken. I en stråsådesgröda tas huvudsakliga mängden kväve upp under försommaren fram till början av juni, och huvudsakliga mängden kol tas upp därefter. Våra fåtaliga beräkningar för gödslad gräsvall tyder på att växtens kvävebehov ökar betydligt, och att ökningen i mineraliseringen kan täcka detta behov endast t o m mars, men i april och maj blir underskottet stort. Om gödslingen inte ökar skulle detta antyda sänkta proteinhalter. Den minskande markvattenhalten i juli skulle kunna begränsa kolupptaget och ge en ökning av proteinhalten, men troligen är grödan så nära mognad då att effekten kan vara liten. För t.ex. malkorn, där proteinhalten vare sig får vara för låg eller för hög, förstärker detta ett i dag existerande odlingsproblem. En för stor kvävegödsling på våren kan orsaka för höga proteinhalter om sommaren blir torr. En stor kvävegödsling är dock önskvärd om tillväxten på sommaren blir stor. Denna typ av problem gäller många grödor och ska dessutom förstås i olika växtodlingssystem med olika förfrukter och i samodling, vilket kräver ett omfattande analys- och syntesarbete. Till detta kommer att höga temperaturer under kärnfyllnaden kan påverka inlagringen av protein och proteinsammansättningen, och allmänt kan man anta att problemen ökar. Proteininlagring i grödor visar alltså också en tendens till förmån för höstsådda grödor framför vårsådda grödor vid en klimatförändring. Andra kvalitetsparametrar påverkas också av klimatet men det saknas i de flesta fall metoder att bedöma nettot av positiva och negativa effekter. Allmänt torde dock högre temperaturer under kärnfyllnaden orsaka ökade problem att erhålla planerad kvalitetsetablering.

Anpassningsmöjligheterna kommer troligen främst bestå i växtförädling av nya sorter, både traditionell och genmodifierande för lokala odlingsförhållanden, men också, och snabbare genomförbart, förändring av odlingsmetoder och odlingssystem (när dessa väl är kända). T.ex. kommer skördetillfällena för slåttervallen att tidigareläggas och bli fler för att skörda vallen med rätt foder-

kvalitet. Behovet av kvävegödsling kommer troligen att öka för att nå samma proteinhalter som i dagens klimat.

Växtnäringsläckage

De förväntade förändringarna i klimatet kommer med stor sannolikhet att medföra en ökning av både kväveläckage och fosforläckage från jordbruksmark. Kvantifieringar av kväveläckaget i ett framtida klimat har endast genomförts för några få enskilda lokaler/områden i Sverige, men har indikerat en ökning av läckaget med 10–70 % (beroende på lokal och klimatscenario). Denna tendens ska jämföras med det nationella miljömålet att minska kväveutlakningen från åkermark till omgivande vattendrag med 30 % fram till år 2015. Möjligheterna att reducera utlakningen i rådande klimatsituation (1980–2000), med nuvarande odlingsmetoder har uppskattats till maximalt 20–25 %. Nuvarande livsmedels- och foderproduktion på åkermark orsakar alltså en utlakning av kväve som tangerar eller överskrider gränsen för de aktuella miljömålen. Detta problem kommer troligen att accentueras vid en klimatförändring. För att tillgodose ovan nämnda miljömål i framtiden krävs därför med stor sannolikhet en förändring av både odlingsmetoder och markanvändning. Flera markanvändningsscenarier (se ovan) visar på ett minskat behov av åkerareal för livsmedel- och foderproduktion. Miljömålen skulle alltså till viss del kunna uppfyllas genom alternativ markanvändning som syftar till sänkning av utlakningen.

Tabell **Sammanfattning 1: Grovt uppskattade effekter av klimatförändringar på delar av svensk växtproduktion**

Markanvändning:

Minskat behov av åkermarksareal för mat- och foderproduktion
 Beräkningar är osäkra bl a pga bedömningar av teknologiutvecklingens effekter på hektarskördar
 Svensk växtproduktions konkurrenskraft i Europa gynnas av klimatförändring men missgynnas av samhällsutveckling
 Höstsådd gynnas på bekostnad av vårsådd
 Allmänt ökande hektarskördar

Odlingsperiod:

Vegetationsperioden förlängs främst på våren men också på hösten
 Vårbruket tidigareläggs mindre än vegetationsperiodens start
 Skörd tidigareläggs
 Höstsådd senareläggs
 Förändringarna större i söder än i norr

Vattentillgång:

Tillväxten på våren gynnas av temperaturhöjning
 Tillväxten i juli – september kan hämmas av ökande vattenunderskott
 Ökat bevattningsbehov i trädgårdsodling och potatis
 Vattenunderskottet blir större lokalt än regionalt och större i Götaland och Svealand än i Norrland
 Höstsådd gröda gynnas jämfört med vårsådd

Växtskadegörare:

Insektsorsakade angrepp ökar allmänt och främst i södra och östra Sverige
 Vårsådd gröda mer utsatt än höstsådd
 Nya insektsarter, grödor och växtföljder ger nya och möjligen större angrepp
 Svampinfektioner både ökar och minskar bl a beroende på regional skillnader i nederbördsmonster

Bekämpningsbehovet ökar

Ogräs:

Fler ogräsarter etablerar sig i Sverige
 Ogräsförekomsten ökar allmänt
 Vinterannuella ogräs ökar i förekomst
 Bekämpningsbehovet ökar

Kvalitet:

Tillväxt, näringsbehov och –upptag ökar speciellt på våren
 Proteinsammansättningen i stråsäd påverkas negativt av höga temperaturer
 Vallskördar tidigareläggs för att erhålla god kvalitet
 Allmänt mer svårstyrd kvalitetsetablering i grödor
 Gödslingsbehovet ökar

Näringsläckage:

Risken för kväveläckage ökar generellt, främst pga: ökad nederbörd/avrinning och kväveminalisering
 Den ökade kväveutlakningsrisken kan dämpas av ökat växtupptag och bortförsel via skörd
 Fosforförlusterna förväntas öka generellt pga ökad avrinning och högre frekvens av intensiv nederbörd, men kan i vissa områden minska pga minskad ytavrinning vid snösmältning
 Ändrad markanvändning till följd av klimatförändring kan öka risken för näringsläckage

Anpassning

En stor del av anpassningen inom jordbruket till klimatförändringarna kommer att ske genom att jordbrukaren anpassar tidpunkter för sådd och odlingsåtgärder till start av vegetationsperioden och upptorkning, liksom skördetidpunkt till grödornas tidigare mognad. Det kan bli svårare att bedöma när höstsådden bör ske eftersom jordbrukaren inte vet hur vädret kommer att bli under kommande höst och vinter. Erfarenheterna från tidigare år blir då central. Eftersom klimatet varierar kraftigt mellan år är risken stor att det som fungerade förra året kanske inte fungerar kommande år, speciellt när jordbrukaren försöker anpassa sin odling till ett allt varmare klimat genom att introducera t.ex. nya grödor, sorter och bruksmetoder. Forskningen skulle här kunna hjälpa jordbrukaren med den strategiska växtodlingsplaneringen genom att utveckla modeller för klimatets inverkan på växtodlingen och metoder för att beräkna den statistiska sannolikheten för skördenivåer för olika grödor, baserat på klimatförändringsscenarier och klimatstatistik. Detta skulle ge jordbrukaren underlag för att bedöma risken med nya grödor och möjlighet att introducera dessa på ett sätt där risktagandet anpassas till hela gårdens ekonomi. Dessutom orsakar det ökade behovet av bekämpningsinsatser och bevattning samt ökande variabilitet i väder troligen ett ökat behov av behovsanpassade odlingsåtgärder. Forskningen skulle kunna hjälpa jordbrukaren genom att utveckla tillämpbara modeller som kan simulera t.ex. utvecklingen av grödor, växtskadegörare och ogräs baserat på väderprognoser.

Alternativ användning av åkermarken (alternativ till ettåriga grödor) kan bli nödvändig för att minska kväveutlakningen från åkermarken till en nivå som uppfyller de uppställda miljömålen. Den mest extrema och sannolikt också mest effektiva metoden är att plantera en del av marken med skog. De flesta markanvändningsscenarierna förutser en betydande andel överskottsmark, som skulle kunna användas för annat än jordbruksproduktion, utom i ett starkt tillväxtorienterat samhälle med stor global handel där svensk åkermark skulle vara mer konkurrenskraftig på livsmedel- och foderproduktionsmarknaden än idag. Vi måste emellertid beakta att markanvändningsscenarierna uppvisade stora osäkerheter för antaganden om både samhällsutveckling och klimat, och inte minst för antaganden om produktivitetsökningar per hektar orsakat av teknologisk utveckling. Om inte den teknologiska utveck-

lingen blir lika stark som förutspått, är det oklart om svensk livsmedel- och foderproduktion vid en framtida klimatförändring inte bara blir mer konkurrenskraftig utan också nödvändig för livsmedelsförsörjningen. I perspektivet av dessa osäkerheter bör därför en alternativ användning av åkermarken för att minska kväveläckaget även beakta eventuella behov av att åter kunna ta marken i bruk för livsmedelförsörjning. Detta innebär att alternativ markanvändningen för att minska näringsläckage bör inriktas på grödor med stor förmåga att ta upp kväve året runt och som inte påverkar markbördigheten negativt, samt är förhållandevis enkla att bryta upp och ersätta med mat- och fodergrödor. I detta perspektiv är skog mindre lämpligt. Alternativt, eller som komplement till ändrad markanvändning kan våtmarker och kantzoner i odlingslandskapet etableras för att begränsa fosfor och kväveläckage från jordbruksmark. Behovet av dessa åtgärder kommer att öka i en förändrad klimatsituation. Tekniska framsteg i syfte att förbättra grödornas kväveutnyttjande genom såväl växtförädling som odlingsteknik kan också bidra till minskat kväveläckage i framtiden.

För att begränsa den förmodade ökade användningen av bekämpningsmedel mot växtskadegörare behövs förbättrad odlingsteknik, ökad användning av resistent sorter och förbättrade växtföljder. För detta krävs forskning och utveckling av bl.a. metoder för behovsanpassad bekämpning, framtagande av nya sorter, alternativa bekämpningsmetoder och utveckling av odlings-system där spridningen av sjukdomar begränsas. Anpassningen för att begränsa den troliga ökade användningen av bekämpningsmedel mot ogräs inrymmer i princip samma moment. Som exempel på ett ofta återkommande problem inom växtodlingen, att en åtgärd för att nå ett miljömål motverkar ett annat miljömål, kan vi nämna att minskad bearbetning av jorden för att minska näringsläckaget medför minskat utrymme för icke-kemisk bekämpning av ogräs. Ökade svårigheter att nå flera miljömål och produktionsmål samtidigt behöver mötas med ökad kunskap om hur växtodlings-systemen kan optimeras. Att utnyttja rådande systemanalytisk kunskap och teknik för att optimera planeringen av växtodlings-system mot uppställda mål blir en nödvändig åtgärd vilket dessutom ger verktyg för att värdera den potentiella nyttan med nya möjliga anpassningsåtgärder.

Den första anpassningen till den förmodade minskade vattentillgången under sommaren är att acceptera en måttlig växtproduktionsökning inom jordbruket och kanske ökad variabilitet mellan

år. Vill man utnyttja klimatförändringens produktionsmöjligheter fullt ut krävs troligen bevattning. För trädgårdsväxter och potatis måste den minskade vattentillgången täckas med en motsvarande ökning av bevattning. Storleken på detta behov skulle kunna vara ungefär lika stort som minskningen i nederbörd pga klimatförändringen. Denna siffra är dock oerhört grov och kommer från några enstaka fall. För att få en uppfattning om hur stort vattenunderskottet kan bli för enskilda platser och år, liksom i medeltal över år och regioner, måste modellsimuleringar utföras. Dessa kräver organiserade indata för respektive odlingsplats. Dessa verktyg finns tillgängliga för enskilda lokaler och utnyttjas inom forskningen, men har inte tillämpats i praktisk växtodling i Sverige. Innan bevattningsåtgärder planeras måste behovet kartläggas, och den första anpassningsåtgärden är att beräkna vilket vattenunderskott klimatförändringsscenarierna orsakar för olika grödor på olika marktyper för olika delar av Sverige.

Det förmodade ökade kvävebehovet hos grödorna för att nå de önskade proteinhalterna kan täckas med ökad gödsling och mer kvävefixerande grödor i växtföljden. Dessa anpassningsåtgärder kommer att leda till ökade svårigheter att nå miljömålet att minska kväveutlakningen från åkermark, och alternativ användning av delar av åkermarken kan bli en nödvändig följdåtgärd. Kvantifiering av hur mycket mer gödsling det kan bli frågan om kräver omfattande beräkningar av samma typ som de som behövs för att beräkna den minskade vattentillgången. Allmänt kan kväveberäkningarna betraktas som mer komplicerade. Inom jordbrukets miljöarbete har denna typ av beräkningsverktyg använts i relativt stor skala i Sverige för att bedöma utlakningsrisker, men har ej kopplats till modellering av grödornas dynamik i relation till klimatet. Motsvarande beräkningar för växters tillväxtdynamik och kvävebehov saknas, men modellredskap för sådana beräkningar finns att tillgå inom forskningen. Dessa beräkningar kopplar starkt till beräkningarna av vattenbehovet.

Det kommer troligen att uppstå ökade problem med hygienisk kvalitet hos grödor. Detta kommer troligen att åtgärdas med alternativa odlingssystem, nya sorter och ökade bekämpningsinsatser. För flertalet övriga kvalitetsparametrar hos grödor saknas dock metoder att värdera effekten av en klimatförändring, även inom forskningen och det är inte möjligt att värdera nettot av positiva och negativa effekter. Första anpassningsåtgärd inom forskningen är därför att finna metoder (dvs. väderdrivna modeller) för att

värdera effekter av klimat på kvalitetsparametrar. Därefter kan man föreslå vetenskapligt baserade åtgärder. I praktisk odling får man utnyttja agrar erfarenhet och kunskap för att bedöma eventuella mönster för hur kvalitetsetableringen verkar förhålla sig till vädret, vilket troligen i hög grad beror på gårdens specifika odlingsförhållanden.

Tabell **Sammanfattning 2: Anpassningsbehov inom delar av svensk växtproduktion p.g.a. klimatiförändringar**

<i>Åtgärd</i>	<i>Syfte</i>
Väderstyrd behovsanpassad gödsling	Effektiv gödsling, styrning av proteinhalter och minimerad utlakning
Väderstyrd behovsanpassad bekämpning	Minskad användning av bekämpningsmedel
Klimatstyrd dimensionering av bevattningssystem	Säkra bevattningsbehov för främst trädgårdsodling och potatis
Klimatdrivna kvalitetsmodeller	Beräkna effekter av klimatiförändring på gröders kvalitet
Klimatstyrd växtodlingsplanering	Underlag för att bedöma risk och möjlighet med att odla nya grödor i ett föränderligt klimat
Nya sorter	Minskat bekämpningsbehov, anpassning av så- och skördetidpunkt, förbättrad kvalitet och hektarskördar, förbättrat resursutnyttjande, minskat näringsläckage
Alternativa bekämpningsmetoder	Minskad användning av kemiska bekämpningsmedel
Alternativ jordbearbetning	Minskad näringsutlakning, minskad användning av bekämpningsmedel
Alternativa odlingssystem	Minskad användning av bekämpningsmedel, förbättrat resursutnyttjande, förbättrad kvalitet och hektarskördar, minskat näringsläckage
Optimerad växtodlingsplanering	Kombinera miljö- och produktionsmål
Alternativ markanvändning	Minskad näringsutlakning

Forskningsbehov

Den kanske mest självklara anpassningsåtgärden är att upprätthålla och förstärka kompetensen att värdera effekter av klimatiförändringar på växtproduktionen inom jordbruket, att kunna föreslå anpassningsåtgärder och att kunna utföra dem. Denna rapport

behandlar främst den förstnämnda, men också förslag till anpassningsåtgärder, och visar på stora brister i metoder att kunna utvärdera effekterna av en klimatförändring. T.ex. kan bedömningarna i denna rapport ej betraktas vara strikt vetenskapliga eftersom vi ej haft tidsutrymme för kvalificerade beräkningar och att lämpliga analysmetoder ännu saknas inom flera delområden. Inom vissa områden är forskningen långt kommen i utvecklandet av analysmetoder och det saknas främst system för tillämpning och kalibrering till svenska förhållanden (t.ex. vatten), medan det på andra områden fortfarande saknas konceptuella modeller (t.ex. kvalitet). Förslagen på praktiska och strategiska anpassningsåtgärder för växtproduktionen inom svenskt jordbruk står alltså i dagsläget på en svag vetenskaplig grund. För att stärka forskningen inom detta område krävs ökad satsning på utveckling och tillämpning av väder- och klimatdrivna modeller för växtodlingssystem. Det är centralt för dessa modellers tillämpbarhet för framtidsstudier att de kan förklara observerade variationer. Därför måste modellutvecklingen ske med en stark koppling till observerbara data. Modellerna kan ha mycket olika karaktärer beroende på frågeställning. T.ex. i markanvändningsmodeller måste troligen växtproduktionen representeras kraftigt förenklad, medan modeller för en bedömning av lokal vattentillgång och bevattningsbehov kräver detaljerad beskrivning av växt- och markegenskaper mm. Modellansatsen avgör vilka experimentella data som ska samlas in. Det kan vara svårt och rent av omöjligt att identifiera klimateffekter från normal skördestatistik, men väldokumenterade långliggande försök och andra försöksserier kan ge betydande information. I övrigt måste nya experimentella mätningar planeras för modellutvecklingen. Ur detta perspektiv har vår studie identifierat ett antal områden med betydande forskningsbehov (Tabell 0.3).

Tabell

Sammanfattning 3: Forskningsbehov för anpassning av delar av svensk växtproduktion till klimatförändringar*Allmänt:*

Identifiera redan inträffade effekter av klimatförändring på markanvändning, grödors vattentillgång, skadegörare och ogräs förekomst och effekter på gröda, kvalitetstablering i gröda och näringsläckage. Våldokumenterade långsiktiga monitoring-system är betydelsefulla för detta

Markanvändning:

Analyser av alternativa modellansatser för markanvändningskriterier, markproduktivitet och klimat. Tillämpning för svenska förhållanden med en dynamisk länk till europeiska och globala förhållanden
 Analysera och utveckla odlingssystem för optimering av produktions- och miljömål som funktion av klimatförhållanden med beaktande av socioekonomiska förutsättningar
 Analysera klimatets effekt på kopplingen mellan markanvändning till mat- och foderproduktion å ena sidan och biobränslen å den andra

Vattentillgång:

Tillämpning av simuleringsmodeller för att utvärdera effekter av klimatförändringsscenarier på grödors vattenförhållanden och produktion på lokal och regional skala i Sverige. Kalibrering av dessa modeller till experimentella data för extrema vattenförhållanden, nya grödor och sorter
 Simulering av bevattningsbehov i främst trädgårdsodling och potatis

Växtskadegörare:

Utveckla metoder för väder och behovsanpassade bekämpningsinsatser
 Analysera och utveckla odlingsmetoder och odlingssystem för minskade angreppsrisker
 Analysera effekter av ökad användning av kemiska bekämpningsmedel på odlingssystem och miljö

Ogräs:

Utveckla metoder för väder och behovsanpassade bekämpningsinsatser
 Analysera och utveckla odlingsmetoder och odlingssystem för minskad konkurrens från ogräs
 Analysera effekter av ökad användning av kemiska bekämpningsmedel på odlingssystem och miljö

Kvalitet:

Utveckling av väderdrivna grödmodeller för fältförhållanden som testas mot experimentella data
 Utveckla metoder för väder och behovsanpassade gödslingsinsatser med olika grödor och sortmaterial
 Utvärdera effekter av förlängd vegetationsperiod på näringsupptag och tillväxt för olika grödor.

Näringsläckage:

Utveckling av dynamisk simulering av grödors utveckling och tillväxt samt vatten- och näringsupptag som funktion av klimatet kopplad till befintliga beräkningssystem för simulering av näringsläckage från åkermark på regional nivå
 Beräkning och analys av effekten av ökad variabilitet i klimatet och ökad frekvens av extrema vädersituationer för kväve- och fosforläckage från jordbruksmark
 Analys av potentiella effekter av ändringar i produktionsnivå, produktionsinriktning och markanvändning och analys av nya odlingssystem inkl förändringar i skötselåtgärder med avseende på växtnäringsläckage

General summary (in English)

The aim of this report was to assess the effects of climate change on specific areas of crop production within Swedish agriculture, based on climate change scenarios from the Rossby Centre, SMHI (dated October 2006). The criterion for the selected sub-areas was that they could be expected to be negatively affected by climate change and thus require some form of adaptation. However, the overall ambition was to keep the analysis of various sub-areas neutral and to also report any positive effects. The section on land use is an analysis of the results from two major scientific research projects on climate change and use of agricultural land, and concerns the effects of other climate scenarios, i.e. not specifically those from SMHI.

Land use

The need for land to grow crops for food and feed is generally considered to be decreasing in Europe as a whole for the type of society in which we live at present, i.e. a world with a strong growth-orientated economy and a world that sets regional (e.g. EU versus USA) interests in the foreground. The major reason for the decreased requirement for arable land for these purposes is primarily the assumption of strongly increasing productivity per hectare, which is mainly explained by continued technological developments within agriculture at a pace based on that since the middle of the 1900s. For Europe as a whole, the effects of climate change on productivity are expected to be small in comparison with those of improved technology. In one estimate, climate change up to ~2050 will cause a +5-10 % change in the average yield per hectare in Europe, and in another estimate an approx. 25 % increase compared with the current position. This can be compared with a 85–160 % increase due to technological developments. The evaluations of technological developments lack a concrete explanatory foundation and are mainly based on empirical experiences of changes in productivity. The reasons for the differences in the technology factor between scenarios is unclear, but the evaluations differ so much that the effect of these uncertainties on the requirement for arable land is very significant in comparison with the actual predicted decrease in the land

requirement. In a similar way, the uncertainties in the land use scenarios are affected as much by the assumptions regarding the factors that control land use (adaptation of production to consumption of a given quantity or to given product prices) as by the potential to evaluate the consequences of these assumptions. The third great uncertainty factor is societal (socio-economic) development. Alternative societal developments with less strong technological developments and more environment-orientated policy (the B2 scenario, the effect of the technology factor on productivity approx 10–25%) also affect the evaluation of the areal requirement to a considerable extent. In addition, the climate model used to calculate the climate scenarios has an effect. Together, all these uncertainties give a low credibility to the land use scenarios. However the evaluations presented in this report were made possible by the fact that large areas of the models are transparent, which in turn provides the potential for them to be refined and for the reasons for differences in the results to be identified. However, a general trend among the scenarios is that in a society that is developing in the direction of strong economic growth, a smaller proportion of Europe's arable area will probably be used for food and feed production than if society were to develop in the direction of increasing environmental protection.

The land use scenarios for Europe were used to produce scenarios for individual countries. The model, which adopts as its starting point the adaptation of profit-maximising farmers to prices, can be regarded as relatively more reliable as regards the relative distribution between countries. On the other hand it is perhaps less reliable on the total European level due to propagation of errors in comprehensive calculations. The scenarios show that climate change alone, i.e. on the assumption that the current socio-economic conditions remain unchanged, would increase the competitive power of Swedish land for food and feed production. All scenarios except that with the least climate change (the B1 scenario) would give an increased use of land area. When changes in socio-economic conditions (cost of inputs, etc.) are also considered, it is only in the scenario with the highest climate impact (A1F1) that Swedish crop production would increase its competitive power. For scenario B2, the Swedish agricultural area decreases strongly and becomes limited mainly to southern Götaland, primarily due to the high costs of inputs and to the fact that the positive effects of climate change are not sufficiently great

to compensate for this. It should be pointed out that the results appear to be very sensitive to variations in indata. Tests of the predictions of land use within Sweden have produced very poor results. Even if land use is only controlled to a minor extent by climate, the prevailing regional differences perhaps provide a better picture of the potential changes in land use in Sweden. If Mälardalen were to also acquire the land use of Skåne when it acquires the climate Skåne has today, then winter wheat would generally replace large parts of the oats area. For Västerbotten the corresponding reasoning would mean a large proportion of the cultivated grassland area being replaced by cereal growing, mainly winter wheat. In southern Sweden up to Mälardalen, the proportion of new crops such as maize and sunflower would increase.

Growing period

The growing period is generally predicted to be extended, primarily in the spring but also in the autumn, when the period of bare soil from harvest in late summer to autumn sowing may be extended. These evaluations were mainly made with agrarian expertise, but certain empirical data and model runs were also used. For spring-sown crops the start of spring tillage is mainly considered to be determined by drying of the soil, which occurs considerably later than the start of the growing period. Spring tillage in 2085 may start at the beginning of March in the southern and central plains areas of Götaland and at the end of March in the northern plains area and in Svealand. In Norrland, spring tillage will start at the beginning of April in the south and in the latter half of April in the north. Harvest of spring-sown crops is estimated to be approx. three weeks earlier than at present and the differences throughout the country may persist. For spring barley this would mean the latter half of July in the south of Sweden to the latter half of August in northern Norrland. It is somewhat uncertain when autumn tillage can occur but in view of the fact that the growing period will be more than a month longer in the autumn, autumn sowing should be delayed to a similar extent. Winter crops will grow until the end of December in both Götaland and Svealand. In southern Norrland, growth will stop in the latter part of November and in northern Norrland in the beginning of November. The increasing temperature will mean that growth in the spring will

start in February in Götaland and Svealand, just over a week later in southern Norrland and in the middle of April in northern Norrland, i.e. approx. a month before spring tillage (somewhat less in the north). In the case of e.g. winter wheat, this will be reflected in stages of plant development being brought forward by approx. one month in the beginning of the spring and maturation occurring approx. 3 weeks earlier than at present.

Water availability

Increased temperature, changed precipitation conditions and increased CO₂-content in the atmosphere will lead to changes in water availability for agriculture. Increased temperature will lead to increased growth and transpiration, mainly in the spring when growth is currently strongly temperature-limited. Precipitation is expected to increase from October to March, remain unchanged in April and be lower than the present level from April to September, but this evaluation is complicated by the fact that the increased CO₂-content will mean that plants will be able to manage water better, i.e. that transpiration can decrease without growth being affected to the same extent. Calculations for fertilised grassland for ~2085 that consider all these factors together indicate that overall, soil water content will decrease from June to October, but that growth will not necessarily become lower than the current level. The calculations are supported by an alternative method where changes in evaporation are taken from climate scenario maps in which the cumulative increase in evaporation will be greatest in the central plains of Götaland (45 mm), somewhat lower in the rest of Sweden and considerably lower in northern Norrland, where evaporation will only increase by 15 mm in April–June. The decrease in August and September will be greatest in Svealand.

The few simulations that have been carried out indicate that there will be a water deficit and a potential to increase growth through irrigation. For certain locations, this irrigation requirement could be in the order of 15–80 mm/year, of which the greatest increase in requirement will be in May. The evaluations give no indication of how great the water stress can become for individual extreme years on individual sites or on average. This would require many more simulations. However, it appears that there will generally be drier conditions from the end of July through September,

while an increased intensity of rainfall indicates that there may be drier conditions locally than shown by the simulations. Winter crops can generally be assumed to have been harvested by the beginning of this dry period, while a larger proportion of grain filling could occur in drier conditions for the corresponding spring crops. This could affect grain yields, mainly through lower harvests and altered protein concentrations, and probably provide a further advantage for winter crops compared with spring-sown crops. These conditions would also act to the advantage of maize, since it thrives in heat and can withstand drought relatively well. For co-crop and catch crop systems, it is vital that the insown crop has a well-established root system before harvest of the main crop. Grassland may have reduced growth during this period compared with at present, which would create a need for complementary feeding of livestock. For vegetable crops, this dry period would mean an increased irrigation requirement. The majority of vegetable growers already have irrigation systems and the main issue will be whether sufficient water will be available to increase irrigation during these dry periods rather than whether to install new irrigation systems. However, irrigation systems might need to be modified so that the expected increases in precipitation during other periods of the year can be made available during these dry periods. The extra amount of irrigation that will be required remains to be determined. The individual calculations for fertilised grassland referred to above indicate that an additional quantity of water approximately corresponding to the decrease in summer rainfall caused by climate change may have to be applied in order to utilise the increased growth potential.

Crop pests

Insect, virus and fungus attacks on crops give rise to considerable crop protection costs, currently amounting to around half the total cost of crop protection chemical inputs within Swedish agriculture. The other half is represented by weed control. Calculations of the damage to crops as a function of climate are complicated and research within this area is working to develop methods for both understanding and predicting the effects of climate on the dynamics of insects and diseases (fungal, viral, bacterial) and on the damage they cause to crops. However, we did not use any

quantitative methods but instead attempted to make qualitative evaluations of the potential effects of climate change.

Insect and virus attacks on crops can probably be expected to generally increase. The main reason for this is that insects will presumably be favoured by a warmer climate during the winter and will therefore be more numerous in the spring. The effects of insects on crops are direct since they feed on crops, but indirect damage through the ability of insects to spread various virus diseases is also of great importance. Every region in Sweden will probably experience increased problems with damage caused by insects and virus diseases, but the increase will be greatest in southern Sweden and in drier areas. Insects will be active considerably earlier in the spring than at the present time since the growing period will be extended, which will probably cause increased attacks on spring-sown crops. At present, spring tillage coincides rather well with the start of the growing period, but by ~2085 spring tillage will probably be delayed by up to a month compared with the growing period. The greater numbers of insects at spring sowing and the fact that spring crops will be exposed to virus diseases at an earlier stage of development will increase the need for pesticides unless there is an increase in other methods such as the use of resistant varieties. The assessment is that this effect will be of equal magnitude in Götaland and Svealand, but less in Norrland.

Insects are also favoured by high temperatures in the summer and pesticide requirements can be predicted to increase here too for most crops.

Insect and virus attacks in autumn in winter crops are currently limited by the fact that the number of insects is relatively low in the autumn and that there is no bridge between infected spring-sown crops and vulnerable newly-sown winter crops. In a future warmer climate, there will probably be more insects in the autumn, while newly introduced spring-sown crops such as maize that grow long into the autumn could act as a bridge for viruses from spring- to autumn-sown crops and thus virus attacks in winter crops could increase. New species of insects will become established in Sweden, e.g. depending on the types of crops grown, but it is difficult to predict the species involved and a monitoring system is needed to follow developments in this area.

Fungal diseases are favoured by both temperature and moisture. The moisture situation will be altered more irregularly in different

parts of Sweden than the temperature. This means that we can expect large differences between regions. In addition, there are fungal diseases that are favoured by high temperature but not specifically by high air humidity. Winter cereals will be particularly vulnerable since they will have a long infection period in the autumn. For spring crops, the effect can be less than at present in areas with a predicted relatively dry early summer period, such as southern areas of the country. In northern Sweden, however, these fungi will probably be of increased importance due to the generally wetter and warmer climate. In potatoes, leaf blight will probably increase somewhat.

In a future changed climate, seed crops, perhaps particularly seed potatoes, will run a greater risk of being subjected to insect and virus attack than at present. The need may then arise to establish some form of seed reservation area in which ordinary commercial crops with a high proportion of virus-infected plants are restricted. This need may arise for the whole of Sweden. An increased incidence of pests after climate change can be counteracted with an increased use of pesticides, but this is not desirable from a number of perspectives. Improved cropping technology, increased use of resistant varieties and a good crop rotation to decrease the spread of diseases will therefore be of increasing importance.

Weeds

In general, the need for weed control can be expected to increase with climate change. A strong reason for this conclusion is that in countries with a warmer climate than Sweden, the use of herbicides is considerably greater than in Sweden. There are a number of natural explanations for this. A warmer climate will probably give rise to a more species-rich weed flora, e.g. because more species will have time for their reproductive phase in the extended growing period. In addition, crops with poorly competitive stands (e.g. maize with its wide row spacing) will probably increase in scope. An increased proportion of autumn-sown crops, at the expense of spring-sown crops, will risk leading to propagation of winter annual weeds, which will in turn increase the herbicide requirement. More monotonous crop rotations and thus greater weed control intensity with increased use of herbicides will increase the

risk of herbicide resistance, a problem that is predicted to increase with climate change. Strategies for adaptation to climate change mainly involve the development of methods of weed control and planning of cropping systems. There is of course a conflict relationship between weed control and the desire to decrease the use of herbicides, but also the desire to decrease nutrient leaching. Ploughless tillage limits this leaching but at the same time the grower loses an opportunity to control weeds by non-chemical methods.

Quality

The intention in crop production is to produce a product of a certain quality, where each product is defined by a number of different quality parameters. This leads to many conceivable effects of climate change and thus it is very difficult to present a general picture. The problems in presenting this picture are exacerbated by that fact that, with few exceptions, there is a lack of methods to predict the effects of given changes in climate. Greater problems can generally be expected with the hygiene quality, since pest attack is generally expected to increase. These difficulties will probably be greater in spring-sown crops than in autumn-sown, and greater in southern Sweden than in northern, since the risk of pest attack is predicted to be greatest in the former. Other factors that can cause changes in quality include changes in overwintering and snow cover conditions, but it is unclear whether this will lead to worse or better quality.

The nutritional quality of crops consists of elements taken up from the soil and air and synthesised in the plant. The protein content in the plant is proportional to the nitrogen content, which is determined by carbon uptake from the atmosphere (growth) and nitrogen uptake from the soil. In a cereal crop, the main amount of nitrogen is taken up during early summer up to the beginning of June and the main proportion of carbon is taken up thereafter. Our few calculations for fertilised grassland indicate that plant nitrogen requirements will increase considerably and that the increase in mineralisation will only be able to meet this requirement until the end of March, while there will be a large deficit in April and May. If fertilisation rates are not increased, this will mean lower protein concentrations. The decreasing soil water content in July could

limit carbon uptake and give an increase in protein concentration, but the crop will probably be so near maturation at this time that the effect might be small. In the example of malting barley, where the protein content must not be too low or too high, this will exacerbate existing growing problems. Too large a nitrogen dose in the spring can give rise to excessively high protein content in the event of a dry summer. However, a high nitrogen dose is desirable if summer growth is to proceed at a high rate. This type of problem applies to many crops and must also be understood in various cropping systems with different pre-crops and co-crops, which will require comprehensive analysis and synthesis work. In addition, high temperatures during grain filling can affect protein storage and protein composition, and these problems can generally be expected to increase. With climate change, protein storage in crops will also display a tendency to favour autumn-sown crops over spring-sown. Other quality parameters will also be affected by the climate but in most cases there is a lack of methods to evaluate whether the net effect will be positive or negative. However, higher temperatures during grain filling will generally cause increased problems in achieving planned quality standards.

The possibilities for adjustment will probably consist of breeding new crop varieties, both traditional and genetically modified, for local growing conditions but also the more quickly available option of changes in cropping methods and systems (when these are known). For example, harvest times for silage cutting can be brought forward and cuts can be made more frequently to obtain forage with the correct quality. The need for nitrogen fertilisers will probably increase to produce the same protein concentrations as in the present climate.

Table S1: Rough estimates of the effects of climate change on areas of Swedish crop production

<i>Land use:</i>
Reduced requirement for arable land for food and feed production
Uncertainty in calculations, e.g. due to uncertainty in evaluating the effects of technological developments on yields per hectare
Competitive ability of Swedish crop production in Europe is favoured by climate change but hampered by societal development
Winter sowing favoured at the expense of spring sowing
General increase in yields per hectare
<i>Growing period:</i>
Growing period extended mainly in spring but also in autumn
Spring tillage brought forward less than start of growing period
Harvest brought forward
Autumn sowing delayed
Changes greater in south than north
<i>Water availability:</i>
Spring growth favoured by temperature increase
Growth in July - September possibly restricted by increasing water deficit
Increased irrigation requirement for horticultural crops and potatoes in particular
Water deficit greater locally than regionally, and greater in Götaland and Svealand than in Norrland
Autumn-sown crops favoured compared with spring-sown
<i>Crop pests:</i>
Insect attack generally increased, particularly in southern and eastern Sweden
Spring-sown crops more vulnerable than autumn-sown
New insect species, crops and crop sequences causing new and possibly greater attacks
Fungal infection increased/decreased depending on regional differences in precipitation
Pesticide requirements increased
<i>Weeds:</i>
More weed species establishing in Sweden
Weed incidence generally increased
Increased incidence of winter annual weeds
Herbicide requirements increased
<i>Quality:</i>
Growth, nutrient requirements and nutrient uptake increased, especially in spring
Protein composition of cereal negatively affected by high temperature
Forage cuts brought forward to maintain good quality
Generally more difficult to control quality parameters in crops
Increased fertiliser requirement
<i>Nutrient leaching:</i>
- Risk of nutrient leaching generally increased, mainly due to increased precipitation/runoff and nitrogen mineralisation
- Increased leaching risks possibly dampened by increased plant uptake and removal with crops
- Phosphorus losses expected to generally increase due to increased runoff and higher frequency of intensive rainfall, but can decrease in certain areas due to decreased surface runoff at snowmelt
- Altered land use as a result of climate change can increase the risks of nutrient leaching

Nutrient leaching

The expected changes in climate will very probably bring about an increase in the leaching of both nitrogen and phosphorus from agricultural land. Quantifications of nitrogen leaching in a future climate have only been carried out for a few individual sites/areas in Sweden, but indicate an increase in leaching of 10–70 % (depending on site and climate scenario). This tendency should be compared with the National Environmental Objective of decreasing nitrogen leaching from agricultural land to neighbouring water courses by 30 % by the year 2015. The potential to decrease leaching in the current climate situation (1980–2000) with current cropping methods has been estimated to be a maximum of 20–25 %. Current food and feed production on agricultural land is thus causing a leaching of nitrogen that is at or above the limit for the relevant Environmental Objective. This problem will probably be accentuated by climate change. To achieve the above-mentioned Environmental Objective in the future, there will most probably need to be a change in both cropping methods and land use. Several land use scenarios (see above) indicate a decreased requirement for agricultural land for food and feed production. The Environmental Objective could thus to a certain extent be achieved through alternative land uses that are aimed at decreasing leaching.

Adaptation

A large proportion of the adaptation to climate change within agriculture will occur through farmers adjusting the timing of sowing and cultivation measures to the start of the growing period and soil drying and adjusting the time of harvest to earlier crop ripening. It can be more difficult to predict when autumn sowing should occur, since farmers will not know what the weather will be like in the following autumn and winter. Experiences from previous years will then be central. Since the climate varies widely between years, there is a high risk that what worked in the previous year will perhaps not work in the coming year, especially when farmers attempt to adapt their cropping to a progressively warmer climate through introducing new crops, varieties and cultivation methods. Here, research should be able to assist farmers with strategic crop planning by developing models concerning the effects of

climate on crop production and methods for calculating the statistical probability of yield levels of different crops based on climate change scenarios and climate statistics. This would provide farmers with support in evaluating the risks associated with new crops and the potential for introducing these in such a way that risk-taking is adjusted to the finances of the entire farm. In addition, the increased requirement for crop protection chemicals and irrigation and the increasing variability in the weather will probably create an increasing need for requirement-based cropping measures. Research should be able to help farmers by developing applicable models that can simulate e.g. the developments in crops, crop pests and weeds based on weather forecasts.

Alternative uses of arable land (alternatives to annual crops) may be necessary to decrease nitrogen leaching from arable land to a level that meets the specified Environmental Objectives. The most extreme and probably most effective method would be to plant a part of that area with forest. Most land use scenarios predict a considerable proportion of excess land, which could be used for purposes other than agricultural production, except in a strongly growth-orientated society with a high degree of global trade, where Swedish arable land would probably be more competitive for food and feed production than it is at present. However, we must bear in mind that the land use scenarios showed great uncertainty in the assumptions of both societal development and climate, not least the assumption of productivity increases per hectare caused by technological developments. If technological developments do not prove to be as strong as predicted, it is unclear whether Swedish food and feed production in the event of future climate change would not only be more competitive but also essential for food supply. Therefore in the perspective of these uncertainties, an alternative use of arable land to reduce nitrogen leaching should also consider the possible need for returning this land for use in supplying food. This means that alternative land uses for decreasing nutrient leaching should concentrate on crops that have a high capacity to take up nitrogen throughout the year, that do not have a negative effect on soil fertility and that are relatively simple to remove and replace with food and feed crops. In this perspective, forest is less suitable. Alternatively, or as a complement to altered land use, wetlands and barrier zones could be established to limit phosphorus and nitrogen leaching from agricultural soil. The need for such measures will increase in a climate change situation.

Technical advances with the aim of improving crop nitrogen use efficiency through both plant breeding and cropping techniques can also contribute to decreased nitrogen leaching in the future.

Improved cropping techniques, increased use of resistant varieties and improved crop sequences will be required to limit the expected increased use of crop pesticides. This will require research and development of e.g. methods of crop protection tailored to need, development of new varieties, alternative pest control methods and development of new systems that limit the spread of diseases. Adaptation to limit the expected increased use of herbicides to control weeds will principally involve the same components. A frequently recurring problem in crop production is that a measure to achieve one Environmental Objective often counteracts another Environmental Objective. For example, reduced tillage of the soil to reduce nutrient leaching provides less scope for non-chemical control of weeds. Increased difficulties in simultaneously achieving the Environmental Objectives and production objectives should be counteracted with increased knowledge of how crop production systems can be optimised. Use of existing systems analysis knowledge and technology to optimise planning of crop production systems against certain predetermined objectives will be an essential process that will also provide tools for evaluating the potential benefits of the new potential adaptation measures.

The first adaptation to the expected decrease in water availability during the summer is to accept a moderate level of crop production increases in agriculture and perhaps increased variability between years. To utilise the production potential of climate change to the full, irrigation will probably be required. For horticultural crops and potatoes, the decrease in water availability must be covered by a corresponding increase in irrigation. The magnitude of this requirement could be approximately the same as the decrease in precipitation due to climate change. However, this figure is very rough and derives from individual cases. Model simulations must be performed to provide a measure of the magnitude of the water deficit for individual sites and years and its average value over years and regions. Such simulations will require organised indata for the various growing sites. These tools are available for individual locations and are used within research, but have not been applied in practical crop production in Sweden. Before irrigation measures are planned, the requirement must be mapped and the first adaptation measure must be to calculate the

water deficit caused by climate change scenarios for different crops on different soil types in different parts of Sweden.

The predicted increase in crop nitrogen requirements to achieve the desired protein concentrations can be met by increased fertilisation and by including more nitrogen-fixing crops in the crop sequence. These adaptation measures will lead to increasing difficulties in fulfilling the Environmental Objective of decreasing nitrogen leaching from arable land, and alternative uses of areas of arable land may be a necessary consequence. Quantification of the additional fertiliser requirement will require extensive calculations of the same type as those required to calculate the decrease in water availability. In general, the nitrogen calculations can be regarded as more complicated. In environmental protection work within agriculture, this type of calculation tool has been used on a relatively large scale in Sweden to assess leaching risks, but has not been linked to modelling of crop dynamics in relation to climate. Corresponding calculations for crop growth dynamics and nitrogen requirement are lacking, but modelling tools for such calculations are available within research. These calculations are strongly linked to the calculations of water requirements.

Increasing problems will probably arise with the hygiene quality of crops. These will probably be counteracted by using alternative cropping systems, new varieties and increased inputs of crop protection chemicals. However, as regards a number of other quality parameters there is a lack of methods to evaluate the effects of climate change, even within research, and it is not possible to determine the net positive/negative effect. The first adaptation measure within research must therefore be to find methods (i.e. weather-driven models) for evaluating the effects of climate on quality parameters. Scientifically-based measures can then be proposed. In practical cropping, farmers' experience and knowledge will have to be used to evaluate any patterns in how quality determination appears to react to weather, which will probably depend to a high degree on the specific growing conditions on the farm.

Table S2: Adaptation requirements within areas of Swedish crop production due to climate change

<i>Measure</i>	<i>Aim</i>
Weather-controlled, precision fertilisation	Efficient fertilisation, control of protein content and minimisation of leaching
Weather-controlled, precision crop protection	Decreased use of crop protection chemicals
Climate-controlled design of irrigation systems	Assured irrigation requirements for horticultural crops and potatoes in particular
Climate-driven quality model	Calculation of the effects of climate change on crop quality
Climate-controlled crop production planning	Basis for evaluating the risks and potential of growing new crops in a changing climate assessment
New varieties	Decreased crop chemical requirements, adaptation of sowing and harvest times, improved quality and yields per hectare, improved resource utilisation, decreased nutrient leaching
Alternative crop protection methods	Decreased use of crop protection chemicals
Alternative soil tillage	Decreased nutrient leaching, decreased use of crop protection chemicals
Alternative cropping systems	Decreased use of crop protection chemicals, improved resource utilisation, improved quality and yields per hectare, decreased nutrient leaching
Optimised crop production planning	Combined environmental and production objectives
Alternative land use	Decreased nutrient leaching

Research requirements

Perhaps the most obvious adaptation measure is to establish and enhance expertise in evaluating the effects of climate change on crop production within agriculture and to propose adaptation strategies and implement these. This report deals primarily with the former, but also provides some suggestions for adaptation measures and reveals great deficiencies in methods for evaluating the effects of climate change. For example, the evaluations in this report cannot be regarded as strictly scientific since we did not have the time for qualified calculations and since appropriate analytical methods are still lacking in a number of sub-areas. Within certain areas, research has made great progress in

developing analytical methods and there is mainly a lack of systems for application and calibration to Swedish conditions (e.g. water), while in other areas there is still a lack of conceptual models (e.g. quality). Proposals for practical and strategic adaptation measures for crop production within Swedish agriculture thus currently rest on a weak scientific foundation. To strengthen research within this area, there is a need for increased concentration on the development and application of weather-driven and climate-driven models for crop production systems. A central precondition for the applicability of these models for future studies is that they can explain observed variations. Therefore model development must have strong links to observable data. The models can be of very different character depending on the issue. For example, in land use models crop production will probably have to be represented in a greatly simplified form, while models for evaluation of local water availability and irrigation requirements will require a detailed description of plant and soil characteristics etc. The modelling approach will determine the experimental data that have to be collected. It can be difficult or even impossible to identify climate effects from normal crop yield statistics, but well-documented long-term trials and other experimental series can provide valuable information. Otherwise, new experimental measurements must be planned for the purposes of model development. From this perspective, our study identified a number of areas with considerable research requirements (Table S3).

Table S3: Research requirements for adaptation of areas of Swedish crop production to climate change

<i>General:</i>
Identify existing effects of climate change on land use, crop access to water, incidence of pests and weeds and their effects on the crop, quality determination in crops and nutrient leaching. Well-documented long-term monitoring systems are important for this
<i>Land use:</i>
Analyses of alternative modelling approaches for land use criteria, soil productivity and climate. Application to Swedish conditions with a dynamic link to European and global conditions Analyses and development of cropping systems for optimisation of production and environmental objectives as a function of climatic conditions
<i>Water availability:</i>
Application of simulation models to evaluate the effects of climate change scenarios on crop water status and production at local and regional scale in Sweden. Calibration of these models to experimental data for extreme water conditions, new crops and varieties Simulation of irrigation requirements, particularly in horticultural crops and potatoes
<i>Crop pests:</i>
Development of models for tailoring pesticide inputs to weather and need Analysis and development of cropping methods and cropping systems for decreasing the risk of attack Analysis of the effects of increased use of pesticides on cropping systems and the environment
<i>Weeds:</i>
Development of methods for tailoring herbicide inputs to weather and need Analysis and development of cropping methods and cropping systems for decreasing competition from weeds Analysis of the effects of increased use of herbicides on cropping systems and the environment
<i>Quality:</i>
Development of weather-driven crop models for field conditions that are tested against experimental data Development of methods for tailoring fertiliser inputs to weather and need for different crops and varieties Evaluation of the effects of an extended growing period on nutrient uptake and growth of different crops
<i>Nutrient leaching:</i>
Development of dynamic simulations of crop development and growth and of water and nutrient uptake as a function of climate, linked to existing calculation systems for simulation of nutrient leaching from arable land at regional level Calculation and analysis of the effects of increased variability in climate and increased frequency of extreme weather situations for nitrogen and phosphorus leaching from agricultural soil Analysis of the potential effects of changes in production level, production specialisation and land use, and analysis of new cropping systems including changes in management practices with regard to plant nutrient leaching

Sammanfattningar av respektive avsnitt

Markanvändning

Många effekter påverkar den framtida användningen av svensk jordbruksmark för mat- och foderproduktion. I två projekt, med olika modeller (ATEAM respektive ACCELERATES) har framtida europeisk markanvändning bedömts. Båda studierna har gjort bedömningarna utifrån fyra olika framtidsscenarier (SRES-scenarierna A1FI, A2, B1 och B2) som beskriver fyra möjliga utvecklingsvägar för världen i dimensionerna "tillväxtinriktad" (A) eller "miljöinriktad" (B) och "globaliserad" (1) eller "regionaliserad" (2).

De övergripande globala utvecklingsstrenderna som beskrivs av respektive scenario har tolkats för att generera värden på de parametrar som legat till grund för respektiv modell. I ATEAM har man utgått ifrån en modell där man antar att produktionen i Europa anpassar sig till den kvantitet som konsumeras (inklusive eventuell export) och det överskott som eventuellt uppstår till följd av politiska regleringar. Den framtida konsumtionsmängden, som ges från en annan modell, antas generellt bero av befolkningsutveckling, konsumentpreferenser samt av eventuell marknadsliberalisering och EU-utvidgning. Produktionen antas sedan tillgodose denna efterfrågan och arealåtgången bestäms av den framtida markproduktiviteten (kg/ha). Den senare påverkas av förändringar i teknologi, klimat och atmosfärens koldioxidkoncentration. Klimatförändringarnas effekt på produktiviteten uppskattas genom att först dela in Europa i vegetationzoner m h a en statistik modell där klimatet bidrar med flera av de bestämmande faktorerna. Sedan förändras klimatet i denna modell enligt klimatscenarierna och nya vegetationszoner skapas. Grödors produktivitet antas korrelerade till vegetationszonerna. Resultatet pekar på att användningen av åkermark fram till ~2080 minskar till mellan cirka 50 % (I A1-scenariet) och 75 % (I B2-scenariet) av dagens areal. För gräsmarker minskar den areal som används till mat- och foderproduktion till under 50 % för samtliga scenarier.

I ACCELERATES har man utgått från en modell där man antagit att den markanvändning som maximerar vinsten för jordbrukarna är den som kommer att väljas. Det betyder att modellresultatet bestäms av antaganden om priser på produkter och insatsvaror, av lokala produktionsförutsättningar (markpro-

duktivitet) samt av restriktioner exempelvis vad det gäller användning av bekämpningsmedel. Ingångsvärdena till modellen har genererats med hjälp av expertbedömningar för år ~2020 varefter linjära extrapoleringar till ~2050 och ~2080 har gjorts. Klimatförändrings effekter på markproduktiviteten har simulerats med tillväxmodeller som främst beaktar förändringar i vattenförhållanden. Modellresultaten för ~2050 pekar på från en minskning av den intensiva jordbruksarealen till drygt 75 % av dagens nivå (i A1-scenariet) till en liten ökning med 5 % (i B2-scenariet).

Effekterna på markanvändningen i Sverige har bedömts på helt olika sätt i modellerna. I ATEAM har man modellerat användningen på europainivå och sedan gjort en spatial fördelning av arealen utifrån enkla lokaliseringsregler relaterade till respektive scenario. Det är för oss oklart hur framtida förändringar i skillnader i markproduktivitet mellan länder påverkar fördelningen mellan länder. Sveriges åkerareal bedöms, till ~2080, minska till mellan knappt 50 % (A1) och knappt 70 % (B2) av dagens nivå. Gräsmarkerna bedöms minska till mellan drygt 40 % (A1) och ingen minskning alls (B1), det senare till följd av ett antagande om bioenergiödling, vilket vi upplever lite förbryllande eftersom det per definition var areal för mat- och foderproduktion som skulle studeras. Samtliga förändringar i Sverige är i samma storleksordning som de genomsnittliga europeiska förändringarna.

ACCELERATES-modellen generar direkt markanvändning i respektive region. För Sverige som helhet varierar resultaten mellan en ökning till cirka 120 % för A1 (HadCM3) och A2 (PCM) och en minskning till knappt 30% av dagens areal för B2 scenariet fram till ~2050. En känslighetsanalys med modellen gav ett mått på hur mycket mer konkurrenskraftig Sveriges mat- och foderproduktion kan komma att bli till följd av klimatförändringarna. Vid antagandet om att dagens socioekonomiska förutsättningar består, men klimatet förändras skulle markanvändningen öka till ca 150, 130 respektive 120 % av dagens nivå i A1, A2 respektive B2. I B1 är klimatförändringen minst och inte tillräckligt hög för att bryta Sveriges nuvarande minskande trend i arealanvändningen för mat- och foderproduktion. Denna rena klimateffekt verkar vara betydligt starkare för Sverige och Finland än för andra länder i Europa.

Sammanfattningsvis finner vi stora skillnader i markanvändningsscenarier orsakat av modellernas strukturer. En test med ATEAM modellen visade att skillnader i produktivetsberäkningar är av stor betydelse för resultatet, och en test med

ACCELERATES visade liknande känslighet för skillnader i klimat-scenarier. Modellerna förutsäger i storleksordning en 30 %-ig förändring av markanvändningen. Valet av såväl klimatmodell, markanvändningsmodell som produktivitetsmodell orsakade förändringar i samma storleksordning. I den mån säkrare bedömningar om långsiktig markanvändning bedöms viktig pekar detta på behovet av mer forskning kring modellering av markanvändning, produktivitet och klimat. Effekter av socioekonomiska antaganden har troligen också stor betydelse, men inga oberoende bedömningar finns att jämföra. Simuleringarna av hur jordbruksmark kommer att fördelas inom Sverige verkar inte tillräckligt pålitliga för vidare analysering.

Det bästa sättet att belysa möjliga förändringar i markanvändning inom Sverige är kanske istället att se till rådande regionala skillnader inom Sverige, även om markanvändningen bara till en mindre del styrs av klimatet. Om Mälardalen, när den får Skånes klimat av idag, också skulle få Skånes arealanvändning av idag skulle främst höstvetete ersätta stora delar av havrearealen. För Västerbotten skulle motsvarande resonemang innebära att en stor andel av vallarealen skulle ersättas med stråsädesodling och främst höstvetete. Skåne skulle troligen också öka sin andel areal med höstsådda grödor med stöd av en jämförelse med andra länder i Europa (se Tabell 4.4), även om andelen nya grödor såsom majs och solrosor också troligen kommer bli betydande ända upp till Mälardalen.

Vattentillgång

Ökad temperatur, förändrade nederbördsförhållanden och ökad CO₂-halt i atmosfären leder till förändrade vattenförhållanden för jordbruket. Ökad temperatur leder till ökad tillväxt och transpiration speciellt på våren vars tillväxt i dagsläget är starkt temperaturbegränsad. Nederbörden förväntas öka från oktober till mars, vara oförändrad i april och sedan var lägre än i dagsläget från maj till september. Det torde ge sämre vattentillgång från april till september, men bedömningen försvåras av att den förhöjda CO₂-halten gör att växterna bättre hushållar med vatten, dvs. transpirationen minskar utan att tillväxten gör det i motsvarande grad. Beräkningar för en gödslad gräsvall som beaktar alla faktorerna samtidigt tydde på att markvattenhalterna för ~2085 överlag sjönk

från juni till oktober, men att tillväxten inte hämmades mer än att den i juli augusti förblev på dagens nivå. Det uppstod dock ett ökat vattenunderskott varav största ökningen var i maj. Trots ett mycket fåtal simuleringar visade de på stor variation och betydelsen av en mycket mer omfattande undersökning för att kunna bedöma ett vattenunderskott i medeltal, såväl som variationen mellan år och inom år (transpirationsökningen varierade mellan 20–75 mm/år och vattenunderskottet mellan 15–80 mm/år).

Ett alternativt sätt att bedöma vattenstressen var att avläsa avdunstningen mer eller mindre direkt från klimatscenarietkartorna. Dessa värden representerar den totala avdunstning från mark i allmänhet i regionen i fråga, och torde vara lägre än för jordbruksmark som normalt har bättre vattenhållande förmåga. Avdunstningen för ~2085 var större än i dagsläget från april till juni-juli, medan den i augusti och september var lägre. Den ackumulerade ökningen var störst i Götalands mellanbygder (45 mm), något lägre i övriga Sverige och lägst i övre Norrland där avdunstningen bara ökade med 15 mm april–juni. Nedgången i augusti och september var störst i Svealand. Dessa uppskattningar överensstämmer i grova termer med resultaten från vallsimuleringarna som också gav minskad avdunstning i augusti och september, men den ytterliggare informationen att produktionsnivåerna bibehölls på dagens nivå.

Bedömningarna ger ingen uppfattning om hur stor vattenstress det kan bli enskilda år på enskilda platser. För detta skulle behövas mycket noggrannare studier som nämnts ovan. Men det ser ut att allmänt bli torrare förhållanden från slutet av juli till och med september. Höstgrödan kan allmänt antas ha skördats i början av denna torrperiod, medan för vårgrodan en större andel av kärnfyllnaden sker under torra förhållanden. Detta skulle kunna påverka kärnskorde främst genom minskad skördemängd och förändrade proteinhalter, och ge höstsådden ytterliggare en fördel jämfört med vårsådden. Dessa förhållanden talar också till majsens fördel som trivs i värme och kan motstå torka förhållandevis bra. För samodlings- och fånggrödesystem är det angeläget att den insådda grödan har etablerat ett ordentligt rotsystem innan skörden av huvudgrödan. Vallen kan få minskad tillväxt under denna period jämfört med idag, vilket skulle kunna orsaka behov av stödutfodring. Den första och mest påtagliga anpassningen för vallen är en tidigareläggning av vallskördarna för att få erforderlig foderkavlitet. Det kommer troligen också uppstå ett ökat förtjänstutrymme för torkresistenta sorter.

För grönsaksodlingar innebär denna torrperiod ett ökat bevattningsbehov. Den allra största andelen av grönsaksodlingar har redan i dag bevattningssystem (med vissa undantag t.ex. för morötter) och frågan blir om det finns vatten tillräckligt att öka bevattningen under dessa torra perioder. Eftersom nederbörden under andra delar av året ökar jämfört med idag bör man ställa sig frågan om överskottsvatten från dessa perioder skulle kunna göras tillgängligt för torrperioderna. De enstaka beräkningarna för den gödslade gräsvallen ovan antyder att det skulle kunna behöva tillföras ytterligare ungefär samma mängd vatten som minskningen av nederbörden på sommaren. Bevattningsbehovet gäller också potatis.

Det finns en stor risk för en ökad variabilitet i klimatet inför framtiden och för den enskilda gården kan vattensituationen bli ett påtagligt problem och för enskilda år kan den bli ett problem kanske både regionalt och nationellt. Med bra försäkringssystem och goda möjligheter till import av jordbruksgrödor skulle privata och nationella intressen ändå kunna tillgodoses. Till den ökade variabiliteten i väder mellan år tillkommer dessutom en osäkerhet i klimatscenarier beroende på klimatmodellernas osäkerhet. Den praktiska odlingen kommer troligen att behöva anpassa sig genom att bättre utnyttja väder- och klimatförutsägelser såväl för bestämmande av gödslings- och bevattningsregimer som för planeringen av markanvändningen och ekonomiska nyttan med investeringar i bevattnings- och dräneringsanläggningar. Den strategiska planeringen av svenskt jordbruk skulle kunna bygga upp utvärderingssystem där effekterna av klimatscenarier på växtproduktionen kan belysas utförligt för olika typer av odlingsystem, marker och områden i Sverige. Potentiella nyttan med en sådan anpassning är hög med tanke på att de klimatscenariet vi nu utvärderat bara är ett av många alternativ och att det därför med mycket stor sannolikhet snart dyker upp nya klimatscenarier vars effekter på jordbruket måste utvärderas.

Växtskadegörare

Effekter av skadegörare på grödor vid förändrat klimat

Bladlössen torde få ökad betydelse i vårt land. För närvarande övervintrar de i stort sett endast som ägg på olika vintervärdar. Vid en ökad temperatur på 3–4 grader C torde ett flertal bladlusarter kunna övervintra på olika grödor och ogräs. Så är det för närvarande i Storbritannien och på kontinenten. Av de mer än 500 olika bladlusarter som för närvarande påträffats i vårt land har ett 40-tal ekonomisk betydelse på våra grödor. Det är troligt att flera av dessa får ökad betydelse både som direkta skadegörare och indirekt genom spridning av olika virussjukdomar med större skördeföruster som följd. För närvarande har *rödsotvirus*, som främst sprids med havrebladlöss och sädesbladlöss måttlig betydelse i vårsäden, men den torde få ökad betydelse, kanske främst i höstsäden. Även i oljeväxter förekommer virussjukdomar som sprids med bladlöss, men för närvarande har dessa virussjukdomar liten betydelse. Vid varmare klimat som gynnar persikbladlusen, som är en betydelsefull vektor torde medföra starkare angrepp av virussjukdomar i höstoljeväxter. *Flera insekter* som idag ej förekommer i vårt land kan komma att etablera sig i de södra delarna av landet. Det gäller t.ex. koloradoskalbaggen, som förekommer i potatisodlingar bl.a. i Tyskland, Polen och Balticum. Med vindarna kan den föras in till södra Sverige och klimatet torde i framtiden ej vara någon begränsande faktor för etablering. Även majsbladlusen, som är en betydelsefull vektor för rödsotvirus i både höst- och vårsäd kommer förmodligen att få ökad betydelse. Det gäller särskilt vid omfattande majsodling.

I *stråsäd* kommer förmodligen flera sjukdomar att öka i omfattning som rostsjukdomar och gräsmjöldagg. I områden med ökad nederbörd under vår och försommar torde medföra ökade angrepp av flera bladfläcksvampar i vårsäd, som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. I *potatis* torde angreppen av potatisbladmögel öka, särskilt i områden med ökad nederbörd. Även virussjukdomar kan få ökad betydelse i potatis och kanske främst potatisens bladrollsjuka som sprids med persikbladlusen, men även i framtiden torde potatisvirus Y vara den mest betydelsefulla virussjukdomen på potatis. Den kan nämligen spridas med ett 40-tal olika bladlusarter, som kommer att gynnas av det varmare klimatet. I *oljeväxterna* kan svampsjukdomar som bomullsmögel och svart-

fläcksjuka få ökad betydelse. Bland insekterna kan nämnas rapsjordloppan, som för närvarande främst förekommer i de södra delarna av landet. I sockerbetor kommer förmodligen vissa virusjukdomar att öka i omfattning och då främst sådana som sprids med persikbladlöss.

Skillnader i angrepp mellan olika delar av landet

I södra Sverige torde *koloradoskalbaggen* i potatis få större betydelse än i mellersta och norra Sverige, men förmodligen blir vintrarna tillräckligt milda för att den skall kunna övervintra i Mälarregionen. I norra Sverige torde den få måttlig betydelse. Olika *bladlusarter* kommer att kunna övervintra utan att genomgå äggstadiet. Detta medför att risken för direkta skador kommer att öka såväl som risken för spridning av olika virussjukdomar. Förmodligen kommer bladlössen att gynnas mera än de vårsådda grödorna beroende på att de kommer att utvecklas tidigare än nu i förhållande till grödans utveckling. Störst problem med både direkta och indirekta skador av bladlössen torde det bli i områden med relativt torrt och varmt väder under försommaren. Skadorna torde bli större i de södra och mellersta delarna av landet än i de norra delarna. Särskilt starka angrepp kan förekomma i de sydöstra delarna av Sverige. I stråsåden är det främst havrebladlusen och sädesbladlusen som får ökad betydelse, men förmodligen kommer också majsbladlusen att öka i omfattning. Det innebär att rödsotvirus kommer att bli betydligt vanligare i höstsåden med stora skördeförluster som följd.

Betydligt större problem torde det också bli med *persikbladlusen*, som kommer att kunna övervintra i fält på olika grödor och ogräs. Det medför att både direkta skador och indirekta kommer att öka. När det gäller spridningen av virussjukdomar torde det främst bli större problem i höstoljeväxter och i potatis (potatisens bladrullsjuka). Störst problem torde det bli i de södra delarna av landet jämfört med de mellersta och norra och särskilt stora problem i områden med relativt torrt och varmt väder under vår och försommar. Förekomsten av *fritfluga* torde öka främst i höstsäd, men även vårsåden torde drabbas i större omfattning än nu beroende på något senare sådd i framtiden i förhållande till fritflugans utveckling under våren. Riklig nederbörd under senvintern och våren kan försena vårsådden, men ändå gynna fritflugans

utveckling. I sådana områden kan angreppen bli något starkare jämfört med områden med tidig vårsådd. De geografiska skillnaderna torde inte påverkas nämnvärt jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med mycket gräsmark och vallar brukar populationen av övervintrande fritflugor vara mycket hög och det är främst i sådana områden som stor risk för angrepp föreligger.

Utsädesproduktionen av *potatis* kan påverkas avsevärt. Förmodligen kommer förekomsten av bladlöss att bli betydande även i norra Sverige i ett framtida varmare klimat. Risken är då stor att utsädesodlingarna kommer att drabbas. För att minska risken för virusspridning vore det önskvärt att inrätta någon form av utsädesreservat inom vilka vanliga bruksodlingar med stor andel virussmittade plantor begränsas.

Flertalet *svampsjukdomar* torde få ökad betydelse på stråsåden och det gäller särskilt rostsvampar och gräsmjöldagg, som gynnas av högre temperatur, men inte så beroende av mycket hög luftfuktighet. Det innebär att sådana sjukdomar torde bli mer allvarliga i de södra och mellersta delarna av landet jämfört med de norra delarna och det torde främst gälla för höstsåden med längre infektionsperiod på hösten. Även stråknäckaren kommer att gynnas av mildare och fuktigare höstar, vintrar och vårar, vilket innebär att angreppen kommer att bli starkare i höstsåden, särskilt i de södra och mellersta delarna av landet.

Olika *bladfläcksvampar* på vårsåden torde inte gynnas i så stor utsträckning jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med relativt stor nederbörd under våren kan angreppen bli något starkare än nu, men den förväntade relativt torra försommarna torde missgynna bladfläcksvampar som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. I norra Sverige torde dessa svampar få ökad betydelse. På höstsåden är det troligt att angreppen av olika bladfläcksvampar som brunfläcksjuka och vetets bladfläcksjuka kommer att öka något i områden med ökad nederbörd. Den relativt torra våren och försommaren i det framtida klimatet torde missgynna sådana bladfläcksvampar och då främst brunfläcksjuka i de södra delarna av landet.

Potatisbladmögel torde få ökad betydelse i framtiden och då särskilt i områden med relativt varmt och fuktigt väder under vegetationsperioden. Det innebär att angreppen kommer att bli förhållandevis något strakare i de mellersta och norra delarna av landet jämfört med nuvarande förhållanden.

Effekter och sårbarhet i jordbruket

Ett varmare klimat torde ge ökad tillväxt av olika grödor samt möjlighet att odla nya grödor i södra Sverige. Klimatet torde också påverka förekomst och utbredning av skadegörare på olika grödor. Ökad förekomst kan motverkas med ökad användning av kemiska medel, men detta är ej önskvärt ur många aspekter. Negativa effekter på flora och fauna, föroreningar i åar, dricksvatten och grundvatten är några exempel. Det torde åtgå större insatser än idag för att kunna förebygga angrepp av skadegörare. Förbättrad odlings-teknik, ökad användning av resistenta sorter och en god växtföljd torde därför få ökad betydelse.

Det är mycket angeläget att ta till vara de långa dataserier som nu finns tillgängliga på insekters och växtsjukdomars utbredning och stimulera till ytterligare sådana serier för analys, utveckling och validering av modeller relaterade till väderdata. Det är också angeläget att studera hur extrem-värden beträffande väder påverkar produktion eller förekomst av skadegörare. Tillväxtmodeller för olika grödor behöver kopplas till modeller för olika skadegörares utveckling för att analysera synkronisering mellan skadegörarens och grödans utveckling. I Sverige har data samlats in mer eller mindre regelbundet under de senaste 30-åren. Genom att göra dessa lättillgängliga från en databas kan man erhålla ett underlag för forskare, rådgivare och beslutsfattare att bättre bedöma utbredningen av skadegörare.

Ogräs

Den ovanstående beskrivningen av ogräsfloran och ogräskontrollen i Europa kan fungera som utgångspunkt när vi diskuterar tänkbara effekter av klimatförändringar på ogräskontrollen. Den enkla tolkningen skulle kunna vara att se förändringar i framtidens ogrässituation som en effekt av temperaturen, och därmed sätta likhets-tecken mellan områden i dag och i framtiden med samma årsmedeltemperatur. Denna tolkning är delvis giltig som en prediktion av hur de fysiologiska begränsningarna för en art ändras i en region, även om den inte tar hänsyn till effekten av långa dagar på en kortdagsväxt. På samma sätt skulle man kunna överföra bekämpningsbehovet (förenklat uttryckt i herbiciddos per ha) till regioner med motsvarande temperatur. Denna typ av resonemang ger dock

en bristfällig bild av den förväntade ökningen av bekämpningsbehov. En mer komplicerad och realistisk tolkning tar hänsyn till de samspel som finns mellan ogräsflorans sammansättning, grödval, växtföljd, odlingssystem och odlingsåtgärder. Med utgångspunkt från tidigare resonemang kan vi räkna med ett ökat bekämpningsbehov under följande förutsättningar:

Andelen konkurrenssvaga grödor, t.ex. majs och solros, förväntas öka i södra Sverige. Den svagare konkurrensen i kombination med det gynnsammare klimatet medför att ogräsfloran blir mer artrik. Detta ställer större krav på breda verkningsmekanismer hos herbicider och i vissa sammanhang högre doser. Den svagare konkurrensen i sig gör också att dosen vid kemisk bekämpning måste höjas för att uppnå samma kontrolleffekt som i ett slutet stråsådesbestånd

Nya arter i ogräsfloran med senare och mer utdragen uppkomst medför att såväl mekaniska som kemiska bekämpningar måste upprepas, i synnerhet i grödor med stora radavstånd och sen utveckling. Under torra förhållanden gynnas C4-ogräs i konkurrensen med C3-grödor, vilket eventuellt kan kräva större bekämpningsinsats.

Nederbördsfattiga somrar med vattenunderskott i marken kommer sannolikt att medföra att andelen höstsådda grödor ökar. Detta kommer att starkt gynna vinterannuella ogräs. Samtidigt finns det starka tecken som tyder på att den plöjningsfria odlingen ökar i omfattning. Detta kommer ytterligare att gynna arter som renkavle, åkerven och sandlosta. När det gäller de två förstnämnda utgör risken för herbicidresistens ett allvarligt problem. Denna risk ökar kraftigt med andelen höstsådd och leder till ett större bekämpningsbehov.

Kvalitet

Samhället efterfrågar produkter som jordbruket levererar speciellt kategorierna livsmedelsråvara, foder, teknisk råvara, t.ex. oljor, och bränsle- och energiprodukter. För att möta denna efterfrågan definieras inom jordbruket ett antal kvalitetsparametrar, varav de viktigaste är: näringsmässig, sensorisk, frihet från oönskade ämnen, hygienisk, fysikalisk, teknisk användbarhet, samt hållbarhet och lagringsduglighet. Den kemiska sammansättningen i växtprodukter kategoriseras ytterligare i:

- Innehåll av proteiner, fett, stärkelse, socker
- Aminosyrasammansättning i proteiner, fettsyrasammansättning, stärkelsens sammansättning
- Innehåll av bioaktiva ämnen såsom β -glukan, vitaminer, antioxidanter
- Mineralinnehåll
- Innehåll av oönskade ämnen: tungmetaller, toxiner, pesticidrester och deras nedbrytningsprodukter

Ovan nämnda kvaliteter produceras i växtodlingen och möjligheterna att uppnå önskvärda värden på respektive kvaliteter beror på hur grödorna odlas i samspel med andra grödor, markegenskaper, odlingsåtgärder och klimat. Klimatet påverkar kvalitetsparametrar dels direkt via fysiologiska kvalitetsetablerande processer i växten, dels indirekt via förändrade näringsförhållanden i marken, växtskadeangrepp och markanvändning.

Effekter av klimatförändring

Proteinhalterna i växter beror på näringstillförselln. Kväve mineraliseringen kommer troligen att öka vid en klimatförändring och frågan är i vilken utsträckning detta täcker grödans ökade behov. Resultatet från ett fåtal analyser av gödslad gräsvall under avsnittet "Vattentillgång" antyder att behovet av kvävegödsling ökar. I klövervall försörjs växten genom fixering av atmosfäriskt kväve som troligen kommer att öka i proportion till tillväxtökningen, men den ökade CO_2 -halten sänker troligen ändå proteinhalten något. Den förhöjda CO_2 -halten riskerar också att ge lägre proteinhalter i framförallt brödvete, malkorn, foderspannmål och oljeväxtråvara till foder. Förändrad aminosyrasammansättning kan bli ett problem som påverkar bakningsegenskaperna negativt i brödvete vid för höga temperaturer under inlagringen. De tidigare utvecklade höstgrödorna torde lida mindre risk, då inlagringsperioden ligger tidigare på säsongen än hos vårgrödorna och temperatur- och torkstress inte hunnit bli alltför stor. Detta kan antas gälla generellt för höstgrödor jämfört med vårgrödor. I havre och våroljeväxter kan balansen mellan innehåll av olja, protein och stärkelse påverkas i oönskad riktning, liksom även fettsyrasammansättningen. Å andra sidan kan proteinhalterna och därigenom bakkingskvaliteten öka i vetegrödor om själva mognadsförloppet

sker under en torr period, vilket kan bli fallet i synnerhet för höstgrödor.

Kraftiga regnskuror vid värmeböljor under mognaden kan komma att ge stärkelsen dåliga egenskaper (kraftigt försämrat falltal) då groningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Detta kan bli problem i framförallt brödvete och malkorn. Utvintringsskadorna kan öka och det leder till ojämna bestånd med grönskott och mer ogräs att bekämpa och ojämn mognad med sämre kvalitet som följd. Grönskott ger hög klorofyllhalt och sämre oljekvalitet hos höstoljeväxter. Problemet bedöms bli störst i landets nordliga delar, dvs. Svealands slättbygder och uppåt.

Större skadegörareangrepp förväntas och kan ge direkta skador på plantan och kärnan som kan bli förkrympt, men också påverka den hygieniska kvaliteten med bakterier och andra smittämnen i kärnan som följd. Detta är extra allvarligt vid livsmedels-, foder- och utsädesproduktion. I synnerhet malkorn är avhängigt av mycket god hygienisk kvalitet. Högre risker för toxiner från skadegörare samt risk för bekämpningsmedelsrester i skördeprodukterna efter intensivare kemisk kontroll av skadegörare, kan också bli fallet. Problemen kan bli liknande i både höst- och vårgrödor, men höstgrödornas tidigare utveckling bör vara en fördel och generellt sett kan antas att höstgrödor kommer att få ett försteg kvalitetsmässigt, före vårgrödor. Problemen bedöms kunna bli störst för landets södra hälft där skadegörareangrepp förväntas bli störst.

Snötäcke utan tjäle, kan ge ökade problem med fusariuminfektioner i höstvete under snön och därmed mycket potenta toxiner i vetekärnan, ett problem som kan antas bli störst i Mellansverige.

Anpassning

För att möta framtida klimatförändringar med bl.a. högre temperaturer men oförändrat ljus klimat, och ändå få den avkastning och kvalitet som man önskar, kommer växtförädling, både traditionell och genmodifierande – bli ett nödvändigt verktyg. För nya grödor, sorter och nya förhållanden behövs också nya odlingsmetoder och odlingssystem framtagna på plats. För att erhålla samma proteinhalter som i dagens odlingar kommer troligen ökad kvävegödsling behövas. För att erhålla rätt foderkvalitet från slåttervallen kommer skörden att tidigareläggas. I Uppsala ~2085 skulle första

skörden kunna ske redan 20:e maj och andra skörden två månader senare och det skulle alltså finnas utrymme för en tredje skörd som dock får börja sin tillväxt under torra förhållanden.

Växtnäringsläckage

Kväve

Många faktorer pekar på att en klimatförändring kommer att medföra risk för ökat kväveläckage från svensk jordbruksmark:

- Ökad temperatur kommer att bidra till ökad mineralisering av kväve i jordbruksmark under höst/vinter.
- Ökade nederbörds mängder under höst/vinter kommer att bidra till mer omfattande utlakning av lätttröligt kväve från jordbruksmark under motsvarande period.
- Av vinternederbörden kommer andelen snö att minska liksom snötäckets varaktighet och därmed ökar andelen av vinter-nederbörden som infiltrerar marken, vilket troligen ökar kväve-utlakningen ytterligare.
- Ökad sommartorka, i vissa regioner, kan fördröja nedbrytningen av färskt organiskt material till senare på hösten vilket medför risk för större utlakning.

De direkta förändringar i klimatet som förväntas kommer alltså sannolikt att leda till en generell ökning av kväveläckaget från jordbruksmark.

Klimatförändringen kommer även att påverka andra faktorer, som indirekt kan bidra till ökad kväveutlakning:

- Produktionsnivåerna per arealenhet kommer sannolikt att öka, vilket ökar mängden skörderester och därmed även kvävemine-ralisering och kväveutlakning under höst och vinter.
- Större diskrepans mellan grödans kvävebehov och markens för-måga att leverera kväve under växtsäsongen kan medföra behov av ökad kvävegödsling, och därmed risk för ökat kväveläckage i samband med nederbörd.
- En minskning av vallarealen och en större areal mark i ”öppen odling” medför att en större areal bearbetas och plöjs varje år, vilket i sin tur bidrar till större kväveläckage.
- En ökning av arealen välgödslade grödor, t.ex. fodermajs, på bekostnad av vallodling medför risk för större kväveläckage.

- Ökad risk för utvintring av höstgrödor, i vissa regioner, ökar risken för kväveläckage under vinter och tidig vår.

Faktorer som minskar risken för kväveutlakning bedöms inte kunna kompensera för de faktorer som leder till ökad risk. En längre växtsäsong ger viss möjlighet att bortföra en större andel kväve via skörd, men effekten är svårbedömd. En ökad areal höstsådd mark kan i viss mån minska kväveläckaget genom att höstsådda grödor kan fungera som "fånggrödor" under milda höst/vinter perioder. Höstgrödornas effektivitet som "fånggrödor" är emellertid osäker och beror både på bearbetningstidpunkt, gödslingsstrategi och övervintringsförhållanden.

De få kvalificerade studier som hittills genomförts med avseende på kväveläckage från svensk jordbruksmark i ett förändrat klimat indikerar att kväveläckaget med stor sannolikhet kommer att öka väsentligt. De bekräftar därmed de mer generella resonemang och slutsatser som här presenterats och som baserats på befintlig kunskap om de processer som styr kväveutlakningen och på information från aktuella klimatscenarier. De demonstrerar också behovet av att genomföra kvalificerade beräkningar som beaktar det komplexa samspelet mellan olika faktorer som påverkar kväveutlakningen. Hittills genomförda studier omfattar endast ett fåtal geografiska platser/områden och har av naturliga skäl flera begränsningar. Den direkta återkopplingen mellan grödornas tillväxt och klimat beaktades ej i den ena studien. Effekter av ökad variabilitet och större extremer i klimatet har inte studerats och ej heller potentiella effekter av förändringar i markanvändning, produktions- och gödslingsnivåer.

Fosfor

Flera faktorer förväntas leda till risk för ökat fosforläckage från jordbruksmark:

- Ökad nederbörd under vintern och ökad frekvens av intensiv nederbörd kommer att öka risken för partikelerosion och därmed partikelbunden förlust av fosfor från jordbruksmark.
- Ökad frekvens av perioder med omväxlande frysning/tining kan bidra till ökad utlakning av fosfor från höstsådda grödor och vallar.

- Högre produktionsnivåer medför ökad fosforgödsling och därmed ökad risk för större fosforförluster.
- Arealen fodermajs förväntas öka på bekostnad av vallarealen, vilket medför ökad gödsling och större andel ”obevuxen mark” under vintern och därmed risk för större fosforförluster.
- Några faktorer kan även tänkas bidra till minskat fosforläckage:
- Minskad vallareal kan bidra till minskning av fosforutlakningen från fryst växtmaterial. En eventuell ökning av arealen höstoljeväxter leder dock i motsatt riktning.
- Minskad snötäcke leder till en minskning av ytvavrinningen i samband med snösmältning, vilket i sin tur kan minska fosforförlusterna kopplat till snösmältning.

Totalt sett bedöms dock fosforförlusterna från jordbruksmark öka pga klimatförändringen, vilket bekräftas av preliminära siffror från en pågående studie.

Anpassning

För en mer heltäckande bild av riskerna för växtnäringsläckage i ett framtida klimat och den potentiella effekten av olika anpassningsåtgärder i olika regioner, krävs studier som beaktar den sammanvägda effekten av olika faktorer som påverkar såväl kväve- som fosforläckage. Det krävs därför dels kvalificerade studier som omfattar beräkningar av kväve- och fosforläckage i varje region med avseende på klimat, grödor, jordar och klimatrelaterade förändringar i tidpunkter för olika gödslings- och bearbetningsåtgärder, och dels att dessa kopplas till studier om förändrade produktionsnivåer, proteinhalter och ändrad markanvändning.

Resultat från en forskningsstudie har indikerat att det kan bli svårt att uppnå nationella miljömål (30 % minskning av kväveläckaget och 20 % av fosfor) till år 2015, i ett jordbruksdominerat avrinningsområde i södra Sverige, genom enbart åtgärder inom jordbruket. De mest effektiva jordbruksåtgärderna för reduktion av kväveläckaget var: sen brytning av vall och träda, insådd fånggröda i vårsådd spannmål och oljeväxter, samt vårspridning (istället för höstspridning) av stallgödsel. När dessa åtgärder kombinerades uppnåddes en total reduktion av kväveläckaget med 16 %. Om arealen fånggrödor ökades (höstsäd ersattes med vårsäd + fånggröda), ökade reduktionen av kväveläckaget till 20 %. En sänkning

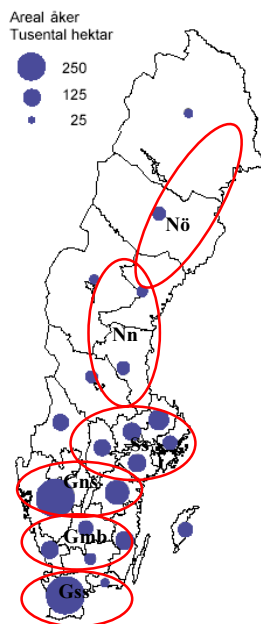
av handelsgödselgivan till stråsäd med 10 % minskade läckaget med 4 %, men medför sannolikt även en skördesänkning. Beräkningarna är baserade på klimatet år 1980–2000.

En klimatförändring kommer därför att medföra att ytterligare åtgärder krävs för att uppnå och bibehålla de nationella miljömålen avseende fosfor och kväveläckage från jordbruksmark. En ökning av arealen höstsådd mark kommer, med nuvarande odlingsmetoder och grödor, att minska möjligheterna att uppnå dessa miljömål. Det blir därför angeläget att utveckla odlingssystem och växtföljder som ger utrymme för olika typer av insådda fånggrödor eller andra grödor med effektivt kväueupptag under höst och vinter, liksom att utveckla system där höstbearbetning av marken sker i så liten omfattning som möjligt. I en framtida klimatsituation kommer jordbruksåtgärder, i ännu högre utsträckning än idag, att behöva kompletteras med andra åtgärder t.ex. anläggning av våtmarker och kantzoner längs vattendragen, förbättrad rening av industriavlopp och enskilda avlopp och förbättring av reningstekniken i reningsverk. Växtförädling och förbättrad odlingsteknik i syfte att förbättra grödornas kväueutnyttjande kan också bidra till reduktion av näringsläckaget på längre sikt.

Introduktion

Målet med rapporten är att bedöma effekterna av klimatförändringsscenarier för Sverige (Rossby Centre, SMHI) på specifika delar av växtproduktion inom svenskt jordbruk. Avsnitt 1 är dock speciell och behandlar markanvändning i Europa och är en analys av resultat från två stora forskningsprojekt kring klimatförändring och användning av jordbruksmark. Målet har här varit att analysera på vilka grunder dessa scenarier gjorts och möjligheterna att bedöma konsekvenser för svensk markanvändning. De andra avsnitten (2–6) avser alltså att bedöma effekter av SMHI:s klimatförändringsscenarier. Första steget har varit att avläsa värden från regionala klimatförändringskartor för perioden 2071–2100 (betecknad ~2085), framtagna mha socioekonomiska scenariet A2, den globala klimatmodellen Echam4, och den regionala klimatmodellen RCA3 (oktober 2006 från Rossby Centre, SMHI; se t.ex. Fig. 2). I allmänhet är det differenskartorna mellan perioden 2071–2100 (~2085) och referensperioden 1961–90 (betecknad ~1975) som utvärderats. I vissa fall har absoluta värden från referensperioden använts (dvs. ej differenser). De är också modellerade värden men som kalibrerats mot observerat klimat 1961–90 (ERA40; Rossby Centre, SMHI). Dessa värden har betecknats med ~1975ERA40. Denna typ av värden har också använts i de fall vi kommenterar skillnader mellan 15-års perioden 1991–2005 (betecknad ~1998ER40) och ~1975ERA40. I ett fall har vi dessutom på motsvarande sätt använt differenser mellan observerad klimatstatistik från SMHI (~1998Obs – ~1975Obs).

I vissa fall har gjorts en bedömning av effekter av motsvarande scenarier för perioden 2011–2040 (betecknad ~2025), och i enstaka fall har effekter av klimatscenariet kartor (Rossby Centre, SMHI) som baserar sig på en alternativ global klimatmodell (HADAM4) utvärderats.

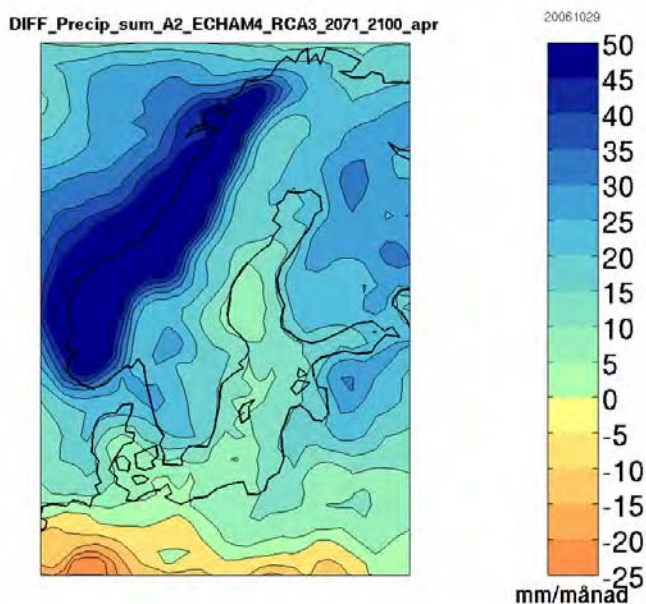
Figur 1: Total åkerareal 2006 per län (SCB)

Röda cirklar symboliserar avläsningsområden på kartorna som ska ungefärligt motsvara SCB:s "produktionsområden":

- 1: Götalands södra slättbygder (Gss)
- 2: Götalands mellanbygder (Gmb)
- 3: Götalands norra slättbygder (Gns)
- 4: Svealands slättbygder (Ss)
- 7: Nedre Norrland (Nn)
- 8: Övre Norrland (Nö)

Kartorna har avlästs visuellt för 6 områden i Sverige som grovt motsvarar SCB:s produktionsområden, men ej skogsbygderna (se Fig. 1). Exakta avläsningar är omöjliga eftersom områdena inte överensstämmer med kartmönstren. Dessutom har det i vissa fall varit svårt att bedöma färgskalorna korrekt och avläsningen kan vara en skalenheter fel. Det tillkommer dessutom osäkerheter förknippat med skalans noggrannhet, t ex. har värdet 3 antecknats för intervallet 0–5. I de fall som det observerats tydliga mönster inom regioner är detta noterat.

Figur 2: Exempel på de klimatförändringskartor som använts som indata till denna studie: Ändringen av nederbörd från perioden 1961–90 (~1975) till perioden 2071–2100 (~2085) för april (mm/månad), framtagna mha socioekonomiska scenariet A2, den globala klimatmodellen Echam4, och den regionala klimatmodellen RCA3. (Rossby Centre, SMHI)



För att erhålla ett underlag för bedömningar av klimatförändrings-effekter på vattentillgång, skadegörare, utlakning och kvalitet har vi först försökt utvärdera odlingssäsongens förändring i termer av tidpunkt för vårbruk, skörd och höstbruk för vår- respektive höstgröda, se vidare avsnittet för Vattentillgång.

Speciellt att tänka på när du läser denna rapport:

Vi ber läsaren att hålla i minnet att alla redovisade resultat är förutsägelser, som dessutom bygger på klimatscenarier som också är förutsägelser, och resultaten bör användas med detta i åtanke.

Trots att alla beräkningar alltså i grunden är ytterst osäkra uttrycker vi oss oftast säkert, t ex. det blir så här och så här. Skälet till detta är att det blir onödigt tyngande att ständigt upprepa osäkerheten. Vi ber läsaren tänka på detta.

Alla klimatscenarier avser medelvärden över en 30-års period, men av praktiska skäl uttrycker vi dem med enbart ett årtal och beteckningen ”~” som här alltså betyder att året representerar medelförhållanden för 30 år kring detta år (ett undantag för ~1998 som avser en 15-års period).

Studien är ett tidsbegränsat utredningsuppdrag som utförts av vetenskapligt utbildade forskare. Bedömningarna kan dock ej betraktas vara strikt vetenskapliga eftersom vi avläst klimatförändringskartorna visuellt och oftast saknat väldokumenterade analysmetoder. *Vi ber läsaren beakta detta vid bedömningar av informationens vetenskapliga värde.*

1 Markanvändning

1.1 Bakgrund

Faktorer som påverkar användningen av jordbruksmark

Den faktor som ytterst bestämmer bondens val av gröda och användning av jordbruksmark anses oftast vara ett önskemål om högsta möjliga lönsamhet för gårdens ekonomi. Detta innebär att bonden hela tiden försöker maximera vinsten, det vill säga skillnaden mellan intäkter från produktion av grödor och bidrag, å ena sidan, och kostnader för insatsmedel, skötsel mm, å den andra. Man kan tänka sig att också andra preferenser kan styra den enskilde bondens val av markanvändning, och i vissa fall beaktas t.ex. en viss benägenhet hos bonden att hålla sig till ettåriga grödor och en ovilja att t.ex. börja odla vedartade växter med en längre rotationsperiod. Speciellt kan detta tänkas bli fallet i händelse av att framtiden ter sig osäker. Vidare kan det finnas en viss tröghet i anpassningen till nya omständigheter, men antagandet om vinstmaximering är sannolikt en bra utgångspunkt för att beskriva genomsnittligt beteende på längre sikt.

Vinsten för olika typer av markanvändning, och därmed valet av markanvändning, bestäms alltså av intäkter från försäljning av produkter och eventuella bidrag och kostnader för produktionen.

De ekonomiska villkoren för markanvändningen styrs av både socioekonomiska och naturliga förutsättningar. Bland de naturliga förutsättningar ingår klimatet som kanske främst påverkar produktiviteten (vanligen skörden per hektar, men i princip avkastningen relaterat till också andra insatsmedel). Därmed påverkar klimatförutsättningarna åtgången av insatsmedel (bland annat mark) per producerad enhet och därmed produktionskostnaderna. Ett mer gynnsamt klimat leder därmed, allt annat oförändrat, till lägre produktionskostnader. För den enskilde lantbrukaren finns också en indirekt påverkan av klimatförändringar genom att priserna på produkter förändras till följd av förändrade produktionsvillkor för övriga lantbrukare som bjuder ut produkter på samma marknad. Allmänt kan de föreslagna klimat-scenarierna karaktäriseras av en temperaturhöjning vilken kan förmodas ha en gynnsam effekt på produktiviteten eftersom vegetationsperioden i Sverige är starkt temperaturreglerad. Också den ökade koldioxidhalten i atmosfären förväntas ge en viss positiv

effekt på produktiviteten. Effekterna av förändrade vatten- och näringstillgång är dock ej nödvändigtvis produktivitetshöjande.

Klimatförändringar kan också förmodas påverka jordbrukets produktionskostnader, till exempel genom ökade problem med skadegörare (vilket leder till sänkta skördar, ökade kostnader för bekämpning och/eller förändrade odlingsmetoder, t.ex. alternativa växtföljder). Förändrat klimat kan vidare medföra ett ökat behov av insatsmedel t ex. genom ökat behov av gödsling för att upprätthålla proteinhalter, och kostnader relaterade till negativa miljöeffekter såsom näringsutlakning.

Markanvändningen styrs till betydande del av bidragssystem. I dagsläget erhålls det arealstöd oavsett vad som odlas på marken. Summan är i många fall betydande i jämförelse med intäkter från försäljning av den skördade grödan i avsikt att styra markanvändningen bort från hög produktion av matråvara. På liknande sätt kan man tänka sig att även i framtiden kan politiska faktorer påverka markanvändningen i riktning mot alternativa målsättningar, såsom produktion av specificerade ekosystemtjänster.

Markegenskapernas effekter på markanvändning

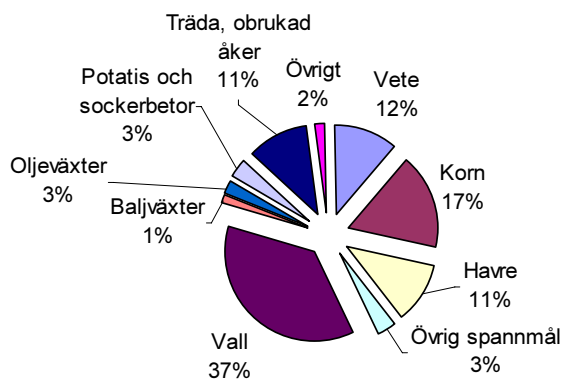
Markens egenskaper påverkar dess produktivitet bland annat genom sin vattenhållande förmåga och som näringskälla och därmed gårdens produktionskostnader. Vid sjunkande produktpriser, exempelvis på spannmål, är det först och främst de lågproduktiva markerna, med stort behov av insatsmedel per producerad enhet, som ställs om till alternativ markanvändning. Sannolikt skulle minskad vattentillförsel och ökat vattenbehov vid en klimatförändring ge marker med en högre lerhalt en ekonomisk fördel relativt mer sandig mark. Även behovet av gödsling kan tänkas öka mindre på en mark med god vattenhållande förmåga därför att den mikrobiella nedbrytningen av organiskt material ofta kan vara vattenbegränsad på sommaren. Marker med hög mullhalt har god näringsleveransförmåga, förutsatt att vattenförhållandena är relativt goda. De marginella arealerna för jordbruksproduktion bestäms slutligen av möjligheterna för rationellt jordbruk (t.ex. arrondering etc. kan omöjliggöra utnyttjande av stordriftsfördelar) och att kostnaderna för insatsmedlen blir högre än inkomsterna från produktionen.

Markanvändningens historiska utveckling

Den totala åkerarealen under perioden 1994–1999 uppgick i genomsnitt till 2,8 miljoner ha (SCB, 2000). Den största delen användes för vall- och stråsädesodling, medan grödor som potatis, sockerbetor, oljeväxter och baljväxter upptog en mindre del (Figur 1.1). Ca en tiondel av åkermarken var ej utnyttjad för produktion (uttagen träda eller outnyttjad åkermark).

Fördelningen av produktionsvärdet liknar i stort fördelningen av odlingsarealen och vall och stråsäd står för största delen av det totala produktionsvärdet, men högavkastande grödor som potatis och sockerbetor utgör också en betydande del trots att de odlas på relativt små arealer (Figur 1.2). Det totala värdet av vegetabilieproduktionen åren 1994–1999 uppgick till ca 14,2 miljarder kr/år (Tabell A1.1). Dessutom uppgick år 1999 växtodlingsrelaterade EU-stöd till totalt 5,4 miljarder kr. (3,4 miljarder kr i arealersättning och ersättning för uttagen areal samt 2 miljarder kr i miljöstöd) (SCB, 2000).

Figur 1.1 Åkerarealens användning (genomsnitt åren 1994–1999). Total areal 2,8 miljoner ha. (SCB, 2000; Efter Sigvald m.fl. 2001)



Figur 1.2 Genomsnittligt värde av vegetabilieproduktionen åren 1994–1999. Totalt värde ca 14,2 miljarder kr. Data från Tabell A1.1. (Efter Sigvald m.fl. 2001)

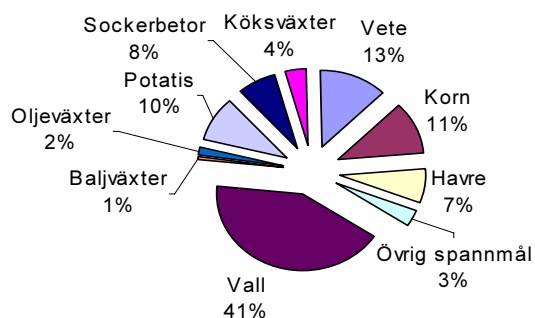
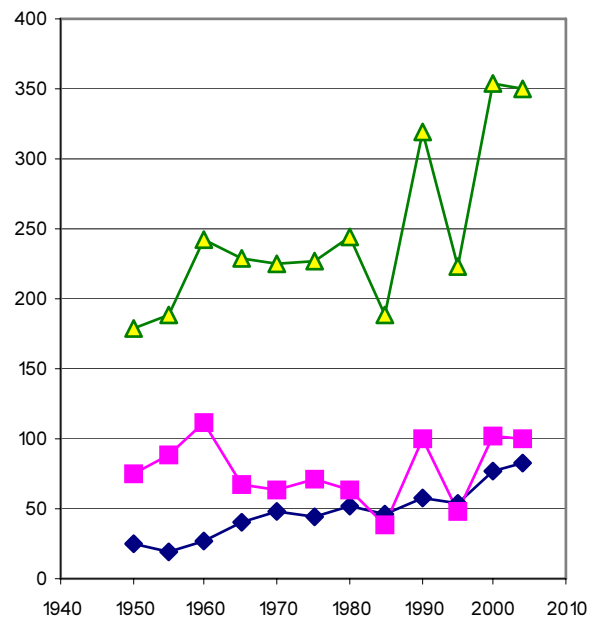


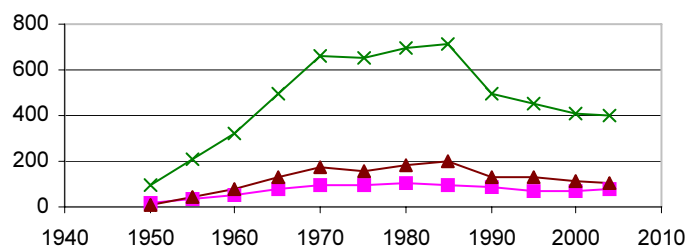
Fig. 1.3 Areal (1000 ha) för odling av vår- och höstkorn.



Över: Höstvete.

Under: Vår- och höstkorn.

Översta linjen = hela Sverige, näst översta = Svealands slättbygder och nedersta = Götalands södra slättbygder.



(Stig Karlsson, SLU, Pers. komm.)

Fördelningen mellan grödor skiljer sig mellan olika delar av Sverige. Klimatet är en av flera faktorer som orsakar dessa skillnader. En annan faktor är skillnader i markegenskaper där t.ex. Svealands mer lerhaltiga jordar i medeltal blir mer lämplig för torkkänsliga grödor

så som havre. Ytterligare en faktor är rollen en region spelar i den allmänna jordbruksproduktionen, såsom att det i Svealand till stor del odlas stråsäd som används till foder i animalieproduktion i sydligare delar av Sverige. Beroende på en kombinerad effekt av alla dessa faktorer är den allmänna bilden för slättbygdsområdena i Götaland och Svealand att en stor andel (knappt en tredjedel) av arealen används till vallodling, och en nästan lika stor del till vårkorn. I övrigt skiljer sig regionerna åt så att i Skåne odlas en stor andel höstveten medan i Svealand denna andel är mindre till förmån för havre. I norra Sverige är vall den helt dominerande grödan och vårkorn den helt dominerande andra grödan (se Tabell 1.2).

På senare tid har andelen majs i dansk växtodling ökat stadigt. 1993 var arealen med fodermajs omkring 25 kha som ökade svagt och fördubblades till år 2000. Efter år 2000 har ökningen tagit fart på allvar och på fyra år ökat till ca 130 kha, dvs. en ökningstakt på ca 25 kha per år. I Sverige är odlingsarealen för majs betydligt mindre och på 7 kha, år 2006, även om den relativa ökningstakten just nu är hög (ca 25 % senaste året).

1.2 Konsekvenser av klimatförändringar

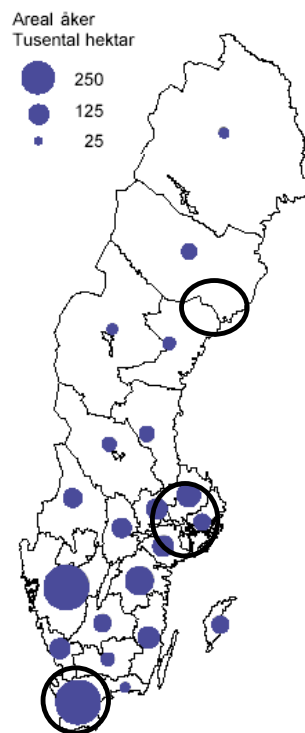
För att belysa effekterna av klimatförändringar på markanvändningen utgår vi från ett antal studier som gjort extrapoleringar m h a väldefinierade modeller som möjliggör en transparent analys av vilka antaganden som orsakat resultaten.

Produktionsområden vandrar norrut

Den enklaste metodiken att studera effekten av klimatet på markanvändningen är att anta att latitudinella skillnader i dagens markanvändning i Sverige beror på skillnader i temperaturklimat, och sedan antar vi att framtida klimatförändringar kan representeras av dagens regionala skillnader. I Sverige är det stor skillnad i temperaturklimat mellan sydliga och nordliga jordbruksområden (Clason & Granström, 1992). För att kunna bedöma betydelsen av dessa skillnader i termer av produktion antar vi att framtida produktivitet i nordliga (kalla) regioner kommer att bli i samma storleksordning som nutida produktivitet i de sydliga områdena Sigvald m.fl. (2001). Tre produktionsområden har undersökts; Skåne, Mälar-

dalen (Södermanland, Stockholm och Uppsala län) och Västerbotten (SCB, 2000; Fig. 1.4). Medeltemperaturen (1951–80) för de tre områdena var 7–8, 5–7 respektive 2–3°C (Clason & Granström, 1992).

Fig. 1.4 Cirklar symboliserar ungefärligt tre produktionsområden för jordbruk i Sverige. Från norr till söder är dessa Västerbotten, Mälardalen och Skåne. Årsmedeltemperaturen (1951–80) var i storleksordningen 2–3 °C för Västerbotten, 5–7 °C för Mälardalen, och 7–8 °C för Skåne. Motsvarande värden för årsmedelnederbörden var i storleksordningen 700–800 mm, 600–700 mm respektive 700–800 mm och för vegetationsperioden 300–350, 400–450 respektive 500–550 mm (Clason & Granström, 1992). (Fyllda cirklar markerar åkerareal 2006 per län (från SCB))



För att se effekten av val av gröda på den regionala produktionen studerades sex grödor (vall, höstvet, vårkorn, havre, vårvete och vårraps) som representerar olika odlingssystem och vanliga grödor. Värden på hektarskördar (normaliserade med avseende på mellanårsvariationer) och arealanvändning togs från den officiella jordbruksstatistiken år 2000 (SCB, 2000). Hektarskördarna var högre i sydligare regioner och högre för höstgrödor än vårgrödor (Tabell 1.1).

Tabell 1.1 Regionala hektarskördar (normaliserade med avseende på mellanårsvariationer) för 2000 och tre regioner (ton ha-1). Data från Sigvald m.fl. (2001)

	<i>Vall</i>	<i>Höstvet</i>	<i>Vårkorn</i>	<i>Havre</i>	<i>Vårvete</i>	<i>Vårraps</i>
Västerbotten	5.0	-	2.3	2.1	-	-
Mälardalen	7.5	6.0	4.4	3.9	4.4	1.5
Skåne	9.0	7.5	5.1	4.5	5.7	1.5

Den totala arealen för dessa sex grödor inom respektive region var drygt 300 tusen hektar i Skåne och 15 % mindre i Mälardalen. I Västerbotten var arealen endast ca 60 tusen hektar (Tabell 1.4). I Skåne var en knapp tredjedel av denna areal odlad med vall, en fjärdedel med höstvet och en knapp tredjedel med vårkorn. För Mälardalen var mönstret lika förutom att endast en tiondel var odlad med höstvet och istället utgjorde havre en knapp femtedel av arealen. I Västerbotten upptar vårkorn också ungefär en fjärdedel av arealen, men resten är i stort sett vall (Tabell 1.2).

Tabell 1.2 Relativ arealfördelning (%) mellan sex grödor inom respektive region år 2000 (SCB, 2000)

	<i>Vall</i>	<i>Höstvet</i>	<i>Vårkorn</i>	<i>Havre</i>	<i>Vårvete</i>	<i>Vårraps</i>
Västerbotten	75	-	23	2	-	-
Mälardalen	34	11	29	18	5	3
Skåne	33	25	30	4	6	2

I en framtida klimatförändring, här alltså representerad av att vi flyttar den sydliga regionerna norrut, ökar hektarskördarna för alla grödor och båda regionerna (Tabell 1.3). De relativa ökningarna

blir väsentligt högre för Västerbotten än för Mälardalen och varierar mellan grödor.

Tabell 1.3 Relativa förändringar (%) i regionala hektarskördar vid en klimatförändring

	Vall	Höstvete	Vårkorn	Havre	Vårvete	Våraps
Västerbotten	+ 50	+	+ 95	+ 86	+	+
Mälardalen	+ 20	+ 25	+ 15	+ 15	+ 31	+ 3

Den sammanlagda regionala produktionsökningen för dessa sex grödor blir i Västerbotten över 50 % (Tabell 1.4) vilket motsvarar ungefär hektarskördeökningen för vall, eftersom vall upptar 75 % av arealen. Emellertid om Västerbotten skulle få samma arealfördelning mellan grödor som Mälardalen har idag skulle en stor del av den areal som idag odlas med vall istället odlas med främst höstvete och havre och ökningen av den regionala produktionen skulle bli endast ca 25 % (Tabell 1.4). För Mälardalen skulle en motsvarande förändring av arealen (dvs. Skånes arealfördelning) ge en betydligt mindre effekt och det motsatta resultatet. Havre skulle ersättas med höstvete och den regionala produktionen skulle öka mer än om dagens markanvändning skulle bestå. För Skånes del krävs här en jämförelse med andra länder vilket skulle antyda ökad andel höstsådd (se Tabell 4.4).

Tabell 1.4 Total regional produktion för sju grödor under nuvarande klimat och relativa förändringen vid en klimatiförändring, dels om arealfördelning mellan grödor skulle bestå, dels om den skulle ändras

	År 2000		Ändring i regional skörd vid en klimatiförändring	
	Total areal (103 ha)	Total regional skörd (103 ton/y)	Ingen ändring i areal fördelning	Areal fördelning enligt den sydligare regionen
Västerbotten	59	257	+ 56%	+ 26%
Mälardalen	280	1 527	+ 19%	+ 27%
Skåne	307	2 128		

Resultaten indikerar att valet av gröda på jordbruksmarken kan komma att ha lika stor betydelse för en regions samlade produktion som ändringar i hektarskördar p.g.a. förändringar i temperaturklimatet.

1.3 Jordbrukets ekonomiska förutsättningar

Syftet med denna studie är att analysera två olika modelltillämpningar för att beräkna effekten av ett förändrat klimat på markanvändningen i Sverige, nämligen *ACCELERATES* (Audsley *et al*, 2006)(Abildtrup *et al*, 2006)(Rounsevell *et al*, 2006) och *ATEAM* (Rounsevell *et al*, 2005). Modelltillämpningarna har syftat på markanvändningen i Europa, och eftersom Sverige är en del av Europa finns resultat också för Sverige. Det bör dock redan här noteras att ATEAM:s modellering syftat till bedömningar på Europainivå och att anknytningen till den rumsliga fördelningen av arealminskningar är oklart redovisad. De två tillämpningarna både liknar varandra och skiljer sig åt i struktur och principiella angreppssätt. Vi har valt att strukturera vår presentation efter den struktur vi själva finner mest logisk och beskriver för respektive del hur de två modelltillämpningarna behandlar dessa delar.

Markanvändningen bestäms ytterst av lönsamheten för olika markanvändningsalternativ. Lönsamheten, i sin tur, beror i mycket stor utsträckning på för jordbrukaren givna och opåverkbara förutsättningar. Lantbrukarens val av markanvändning görs alltså utifrån de givna socioekonomiska och naturliga förutsättningar som i stor utsträckning påverkar kostnader och intäkter för jord-

bruket. Markanvändningen klassificeras av val av gröda som bestäms av vilken gröda som är mest lönsam att odla i kombination med andra grödor. Vid för låg lönsamhet odlas ingen jordbruksgröda och marken används till något annat. Endast grödor för mat- och foderproduktion ingår i denna studie. För att bedöma lönsamheten måste intäkterna respektive kostnaderna för olika markanvändningsalternativ beräknas, och för detta måste utvecklingen av bland annat framtida priser, på såväl produkter som insatsvaror, och av produktiviteten bedömas.

Priser på produkter som insatsvaror bestäms av det samlade agerandet på marknaden för respektive produkt och av eventuella politiska regleringar. Det betyder att de priser som påverkar den enskilde svenske jordbrukarens markanvändning är ett resultat av utbud och efterfrågan på hela marknaden. Hur stor "hela marknaden" är och i vilken mån förändringar i omvärlden påverkar de svenska priserna bestäms i huvudsak av politiska beslut om handelsregler. Allmänt kan de huvudsakliga drivkrafterna bakom framtida förändringar av markanvändning i Europa sammanfattas i termer av utbud och efterfrågan samt politiskt styrda drivkrafter, se tabell 1.5. Det bakomliggande antagandet kan uttryckas som att markanvändningen styrs av utbud och efterfrågan och de institutionella ramar som dessa verkar inom. Klimatförändringar kan tänkas påverka alla dessa faktorer, t.ex. hektarskördar (utbud), hektarskördar i andra länder än Sverige (utbud och efterfrågan), och att klimatförändringar ställer miljökrav på jordbruket (institutionella ramar).

Tabell 1.5 Drivkrafter bakom markanvändning. Viss omarbetning utifrån Rounsevell et al,(2005)

<i>Politiska</i>	<i>Socioekonomiska</i>	
	<i>Efterfrågan</i>	<i>Utbud</i>
Marknadsinterventioner	Befolkningsmängd	Priser på insatsvaror (konkurrens om resurser)
Landsbygdsutveckling	Inkomstnivå (BNP)	Klimatförändringar
Miljöpolitik	Konsumentpreferenser	Teknologi och management
Marknadsliberalisering (WTO)	Tillgång till substitut	
EU-utvidgning		

Av tabell 1.5 framgår det att det är många andra faktorer än klimatförändringarna som påverkar framtida markanvändning.

Klimatförändringarna kommer att ske i en framtid som också inbegriper stora samhällsförändringar och jordbrukets markanvändning kommer att påverkas av samtida effekter av både klimat och socioekonomiska förändringar. Dessutom beror dessa förändringar av varandra och t.ex. har expertpanelen bedömt att en hög och billig tillgång på insatsmedel inte är förenlig med en låg koldioxidemission och liten klimatförändring. Samtliga faktorer ovan beror alltså på samhällsutvecklingen i någon utsträckning. Exempelvis beror efterfrågan på spannmål på befolkningens mängd och därmed på befolkningstillväxten. Tillgång och pris på insatsmedel, t.ex. energi/drivmedel eller mark, beror på efterfrågan på dessa varor från övriga sektorer i samhället. Även denna efterfrågan beror i sin tur av samma socioekonomiska faktorer som ligger bakom efterfrågan på jordbruksprodukter. Klimatförändringarna har, för den enskilde bonden eller det enskilda landet, i princip två effekter. Dels påverkas de egna produktionskostnaderna och dels påverkas övriga producenters produktionskostnader vilket i sin tur påverkar utbudet och därmed priset på marknaden.

För att göra förutsägelser om framtida markanvändning måste någon form av uppskattning eller bedömning av ovanstående faktorer göras. Inte minst de politiska förändringarna är, särskilt på lång sikt, mycket svåra att förutsäga. Bakom båda modellernas bedömningar av hur ovanstående faktorer utvecklas ligger fyra olika övergripande framtidsbilder utifrån vilka man, med mer eller mindre säkra underlag, har gjort bedömningar av hur enskilda faktorer kommer att förändras.

Globala socioekonomiska förutsättningar

Framtida förutsättningar för arealanvändning påverkas av samhällsfaktorer som ej är direkt klimatrelaterade. Dessa beskrivs i specifika s.k. socioekonomiska scenarier, som ger olika "bas-beskrivningar" av möjliga riktningar för samhällsutvecklingen, utifrån vilka man sedan kan spekulera kring jordbruksrelevanta parametrars utveckling. De socioekonomiska faktorerna påverkar också utsläpp av CO₂ till atmosfären och andra klimatpåverkande gaser vilket betyder att framtida klimatförändringar beror av utvecklingen av de socioekonomiska faktorerna.

Förutsägelser om förändringar av socioekonomiska faktorer behövs alltså både för att förutsäga klimatförändringarna och dess

påverkan på framtida svensk markanvändning och för att förutsäga hur det framtida jordbruket kommer att påverkas av klimatförändringar. Förändringar i de socioekonomiska förutsättningarna är svåra att förutse i ett längre perspektiv. Av det skälet har ett antal kontrasterande scenarier föreslagits som utgångspunkt. Man har tänkt sig alternativa utvecklingar i speciellt två dimensioner. I den ena dimensionen är samhälls övergripande mål en hög ekonomisk tillväxt (A) alternativt miljöanpassning och jämlikhet (B). Notera att alternativen definieras av vad som karaktäriserar de övergripande och prioriterade målen och att respektive samhällsutveckling inte utesluter att andra mål, om än sannolikt i mindre omfattning, också realiseras. Exempelvis utesluter inte en samhällsutveckling inriktad mot miljöhänsyn och jämlikhet en ekonomisk tillväxt. I den andra dimensionen utvecklas världen mot mer "globalisering" (1) där utbyten över gränser sker förhållandevis lätt och globala intressen blir ledande, alternativt mot mer "regionalisering" där de enskilda regionerna själva definierar sina intressen och vad som ska prioriteras och där globala utbyten är underställda dessa intressen. Notera att regionerna är stora geografiska enheter (som Europa eller EU) snarare än mindre regioner inom ett land. De två dimensionerna kombineras så att fyra alternativ utvecklingslinjer definieras:

- A1: Tillväxtinriktad (A) och globaliserad (1) värld
- A2: Tillväxtinriktad (A) och regionaliserad (2) värld
- B1: Miljöinriktad (B) och globaliserad (1) värld
- B2: Miljöinriktad (B) och regionaliserad (2) värld

Med utgångspunkt från dessa, i sig tämligen ospecifika, beskrivningar måste scenarierna preciseras i en rad steg för att resultera i scenarier för hur olika drivkrafter förändras i framtiden. I tabell 1.6 redovisas möjliga tolkningar av scenarierna på global nivå i fem olika dimensioner enligt den tolkning som gjordes i *ACCELERATAS* (Abildtrup *et al.*, 2006).

Tabell 1.6 SRES-scenarierna och socioekonomiska dimensioner, antaganden på global nivå. (Abildtrup et al., 2006; Tabell 1) (ACCELERATES)

Dimension	SRES-scenarie			
	A1FI/VM	A2/RE	B1/GS	B2/LS
Demografi	Låg befolkningstillväxt	Hög bef. tillväxt	Låg befolkningstillväxt	Måttlig bef.tillväxt
Ekonomisk tillväxt, nivå och fördelning	Mycket hög ekonomisk tillväxt och global konvergens	Ojämn ekonomisk tillväxt	Hög ekonomisk tillväxt och global konvergens	Måttlig ekonomisk tillväxt och långsam global konvergens
Nivå och inriktning på teknologisk utveckling	Hög innovationsnivå			
Omvandling mot tjänsteekonomi	Långsam och fragmenterad teknologisk förändring, långsamt spridning	Ny teknologi främjar övergång till tjänste- och informations-ekonomi	Långsammare och mer diversifierad teknologisk förändring än i A1 och B1	
Styrelseskick	Marknadsorienterade lösningar och frihandel	Beslutsfattande decentraliseras	Globaliserat styrelseskick, starkt samarbete mellan regeringar, organisationer och affärsföretag.	Fokus på lokala lösningar och betoning på livsmedels-självförsörjning
Sociala och politiska mål/värden	Medvetenhet och betalningsvilja för livskvalitet ökar	Fokus på lokala miljöfrågor men svagare omsorg rörande globala miljöproblem	Stort engagemang för miljöfrågor och sociala frågor	Ökad allmän medvetenhet om, och fokus på, utbildning

Utifrån ovanstående generella karaktärisering av scenarierna tog man, inom ACCELERATES fram en lista på globala drivkrafter som beskrevs eller kvantifierades för respektive scenario.

Tabell 1.7 SRES-scenarierna och relativa globala drivkrafter 2020. (ACCELERATES)

<i>Global drivkraft</i>	<i>Nuvarande situation</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>
Befolkning	100	109.0	11.2	109.8	107.2
Årlig BNP-tillväxt	100	150	75	100	50
"Grön BNP" avvikelse (ISEW) ^b	100	75	50	200	150
Social diskonteringsränta	Hög	Hög	Hög	Låg	Låg
Global styrning	Svag	Svag	Svag	Stark	Svag
Global marknadsmakt	Blandad	Svag	Stark	Svag	Stark
Lokal marknadsmakt	Stark	Svag	Stark	Svag	Stark
Miljöpolitikens påverkan	Låg	Låg	Låg	Hög	Hög
Utveckling av landsbygden	Låg	Låg	Låg	Blandad	Hög
Klimatkonvention	Ingen (svag) styrning	Utsläppshandel	Misslyckad styrning	Stark styrning	Svag styrning
Jämlikhet	Stabil – minskande	Minskande	Minskande	Förbättrad	Förbättrad
Tillväxtsektorer	Hälsovård, fritid, Distribution Finansiella tjänster	Hälsovård, fritid, Distribution Finansiella tjänster	Privat hälsovård Underhåll Försvar	Förnybar energi Hulshållstjänster Information Kärnkraft	Småskalig tillverkning och småskaligt jordbruk
Minskande sektorer	Tillverkning Jordbruk	Tillverkning Jordbruk	Högteknol. tjänster Finansiella tjänster	Fossilbränslebaserade aktiviteter, intensivt jordbruk och tillverkning	Handel, fritid, turism

^a BNP (bruttonationalprodukten) är ett lands samlade årliga förädlingsvärde och BNI (bruttonationalinkomsten) är BNP + nettovärdet av primära inkomster från utlandet. På global nivå måste summan av alla länders BNP alltid vara lika stor som summan av alla länders BNI (eftersom en positiv nettoinkomst för ett land motsvaras av en negativ nettoinkomst för ett annat land). På global nivå kan kvoten BNI/BNP därför aldrig avvika från 1 varför det är oklart hur de index som ACCELERATAS har använt definierats.

^b ISEW: Index of Sustainable Economic Welfare. ISEW är ett matt där BNP justerats för bland annat ojämlik fördelning och miljöslitage. Det är oklart, men indexet förefaller syfta på reaktionen mellan ISEW och BNP.

Priser på produkter och insatsvaror

Det svenska jordbrukets förutsättningar påverkas naturligtvis av ovanstående globala drivkrafter. Men, för att kunna göra förutsägelser måste mer jordbruksnära drivkrafter preciseras. Inom ACCELERATES har detta gjorts med hjälp av expertpaneler som, utifrån ovanstående globala förändringar, har gjort tolkningar av hur dessa grundläggande drivkrafter påverkar de drivkrafter som mer direkt påverkar europeiskt jordbruk. Denna ”skalning” av drivkrafter har gjorts i ett par steg där första steget var att beskriva innebörden av respektive scenario på en mer jordbruksnära nivå. Detta möjliggjorde en identifiering av de drivkrafter som något mer direkt påverkar europeiskt jordbruk samt att bedöma hur viktiga respektive drivkraft är i respektive scenario. Bedömningen gjordes för 2020 och betydelsen av respektive drivkraft, relativt dagens, redovisas i tabell A1.2 (appendix).

I *A1FI*-scenariet (som i ACCELERATES också benämns WM, ”världsmarknad”) antas att alla stöd inom CAP minskar drastiskt vilket leder till minskning av jordbruk i marginalområden. Lägre livsmedelspriser leder till ökad press på jordbruket och förbättrad produktivitet. En snabb utvidgning av EU bidrar också till stora förändringar för EU:s jordbruk. I en värld som är inriktad på konsumtion och där handeln är liberaliserad kommer konkurrensen om resurserna att öka. Liberaliserade handelsregler leder till att påverkan från hela världens utbud och efterfrågan blir hög. Jordbruksproduktionen ökar och blir mer koncentrerad, industrialiserad och globalt inriktad och storleken på enheterna ökar till följd av stordriftsfördelar. Befolkningstillväxt och en ökad efterfrågan på kött påverkar efterfrågan på gräsmarker och beten. En viss ökning av bioenergi väntas samtidigt som ett antal andra energikällor också är tillgängliga.

I *A2*-scenariet (som i ACCELERATES också benämns RE, ”regionalt företagande”) kommer CAP att förbli som före ”mid-term” reformen. Liten inriktning på glesbygdsområden leder till minskat jordbruk i de flesta marginella områden. Självförsörjningsgraden för livsmedel kommer att öka något och att EU-utvidgning inte är så viktig leder till skydd mot konkurrens. Konkurrensen om resurser kommer att öka (något) till följd av liberalisering av ekonomiska aktiviteter och konsumtion. Betydelsen av WTO och världsmarknadens utbud och efterfrågan minskar. Jordbruket intensifieras (hög användning av pesticider och handelsgödsel) och

produktiviteten ökar. Mängden tekniska innovationer blir dock lägre i en regionalt orienterad värld. Biobränslen ökar något.

I *B1*-scenariet (som i ACCELERATES också benämns GS, "global uthållighet") utvecklas CAP till landsbygdsolitik som syftar till att minska miljöproblem och sociala problem. Intensivare jordbruksmetoder utvecklas och tekniskt avancerat jordbruk leder till minskad användning av pesticider. Produktiviteten ökar och mark används för naturvårdsändamål. Krav på att nya medlemmar skall leva upp till höga miljökrav leder till en långsammare EU-utvidgning. Konkurrensen om resurser minskar genom ekonomiska incitament för minskad naturresursanvändning. WTO och internationellt utbud och efterfrågan blir viktigare. Ökad mängd bioenergigrödor.

I *B2*-scenariet (som i ACCELERATES också benämns LS, "lokal uthållighet och självstyre") ersätts CAP med lokal, heterogen, miljöpolitik med syfte att öka självförsörjningsgraden med traditionella jordbruksmetoder. Forskning och teknologisk utveckling leder till ökad produktivitet i "låg-insats" jordbruk. Jordbruket är kraftigt subventionerat för att gynna lokal produktion på små enheter. Efterfrågan på kött minskar, EU utvidgas inte och jordbruket skyddas från konkurrens med handelshinder. Betydelsen av WTO och handelsliberaliseringar minskar. Konkurrensen om resurser minskar. Kraftig ökning av bioenergigrödor till lokal energiproduktion.

Tabell 1.8 Drivkrafter, med relativ betydelse över tiden, för europeisk jordbrukssektor, nuvarande situation och situationen 2020

<i>Drivkrafter för europeisk jordbrukssektor</i>	<i>Nuvarande situation</i>	<i>A1, 2020</i>	<i>A2, 2020</i>	<i>B1, 2020</i>	<i>B2, 2020</i>
CAP "marknad"	100	52	90	74	85
CAP "landsbygdsutveckling"	100	58	106	100	163
Miljöpolitisk press	100	85	97	183	173
EU utvidgning	100	108	67	92	53
Resurs-konkurrens	100	161	123	92	52
Utbud och efterfrågan på världsmarknaden	100	172	106	121	79
WTO's betydelse	100	188	70	124	61

Enligt grundantagandet att markanvändningen bestäms av lönsamheten för olika markanvändning är priserna, på såväl produkter som

insatsvaror, tillsammans med produktivitet och eventuella politiskt bestämda subventioner och/eller skatter avgörande för utvecklingen. Priser bestäms av det samlade utbudet och efterfrågan på den aktuella marknaden givet de institutionella ramar som denna marknad verkar inom. Generellt kan man alltså säga att den enskilde jordbrukarens beslut påverkas av priser samtidigt som den samlade effekten av alla jordbrukares beslut påverkar priserna. På samma sätt påverkas konsumenternas val av livsmedel av deras priser samtidigt som summan av alla konsumenters val påverkar priserna. För att bedöma hur priser utvecklas över tiden behövs därför kunskap om hur såväl producenter som konsumenter reagerar på prisförändringar samt hur detta beteende förändras i framtiden. Ekonomiska modeller bygger i regel på antaganden om beteenden som grundas på historiska data och ju fler av denna typ av parametrar som ligger till grund för modellerna desto känsligare blir förutsägelseerna av framtida priser och markanvändning för osäkerheter i informationen. Av bl.a. det skälet sträcker sig prognoser för framtida produktion av, och priser på, jordbruksprodukter som OECD och FAO årligen publicerar (Agricultural Outlook), endast 10 år framåt i tiden. Detta är sannolikt anledningen till att vare sig ACCELERATES eller ATEAM har utgått från några ekonomiska modeller över den globala livsmedelsmarknaden.

I ACCELERATES-projektet har man, istället för att använda sig av en modell som genererar priser och produktionskvantiteter, låtit experter göra bedömningar av hur priser, och några andra parametrar, kommer att utvecklas till år 2020. Utifrån ovanstående beskrivning av utvecklingen under respektive scenario har man, i första steget, gjort en bedömning av i vilken riktning och i vilken storleksordning olika faktorer kommer att förändras (tabell A1.5).

Tabell 1.9 Socioekonomiska parametrar relevant för europeiskt jordbruk: Semikvantitativa bedömningar av specifika socioekonomiska parametrar som påverkar gårdens ekonomi samt beskrivning av huvudsakliga drivkrafter bakom dessa. +++ anger stark ökning och --- stark minskning. (Abildtrup et al., 2006; Tabell 6). (ACCELERATES)

Parameter	A1	A2	B1	B2
Efterfrågan på jordbruksprodukter	++ Låg bef. tillväxt	+++ Hög bef. tillväxt Låg ekon. tillväxt	+ Låg bef. tillväxt Måttlig ekon. tillväxt	++ Måttlig bef. tillväxt Måttlig ekon. tillväxt
Efterfrågan på lyxprodukter (inkl. mjölk & kött)	++ Rik värld ökar efterfr. på lyx	+ Ökad efterfr. på lyx endast i i-världen	+ Rikare värld men uthålliga produkter föredras	Uthålliga produkter föredras
Utbud av jordbruksprodukter	+++ Snabb utveckling och spridning av teknologi	+ Långsam utveckling och spridning av teknologi	++ Måttlig utveckling och spridning av teknologi	+ Långsam utveckling och spridning av teknologi
Effekt av subventioner och kvoter	--- Avreglering	- Produktsubv. och kvoter	-- Endast miljömotiverade subventioner	Frikopplade arealstöd och stöd till regionala grödor
Priser på energi, pesticider och maskiner	-- Nya energikällor, låga skatter	0 Ökad befolkning men låga skatter	++ Höga skatter på energi	+++ Hög bef. tillväxt och låg energieffektivitet
Pris på arbetskraft	+++ Hög ekonomisk tillväxt	+ Låg ekonomisk tillväxt	++ Hög ekonomisk tillväxt	+ Stor landsbygdsbefolkning
Pris på vatten	++ Marknadspriser	0 Utbudet subventionerat	+++ Restriktioner på jordbrukets användning	+++ Restriktioner på jordbrukets användning
Växtföljdsproblem (skördeminskning vid monokultur)	--- Kraftigt minskade restriktioner på pesticidanvändning	-- Minskade restriktioner på pesticidanvändning	- Ökade restriktioner på pesticidanvändning	0 Ökade restriktioner på pesticidanvändning, liten effekt av ny teknik
Gårdsstorlek	+++ Inga legala restriktioner. Konkurrens driver kostnadsbesparingar	++ Mindre utsatt för internationell konkurrens	++ Miljörestriktioner minskar incitament för ökad storlek	+ Restriktioner på storlek och incitament för småskaligt jordbruk

ACCELERATES har, för att bedöma framtida markanvändning, använt sig av en linjär programmeringsmodell, där enskilda jordbrukare antas maximera sina vinster givet priserna under respektive scenario. Ett problem med denna metod är att det saknas en återkoppling från de samlade produktionsbesluten tillbaka till priserna. För att generera de priser som behövs i den linjära programmeringsmodellen lät man inom ACCELERATES ett antal experter göra bedömningar grundade på ovanstående beskrivningar av globala drivkrafter och jordbruksrelevant drivkrafter. Det skall alltså noteras att expertbedömningarna som ligger till grund för prisuppskattningarna 2020 inte är transparanta och det är oklart hur bedömningarna beror på val av experter. Bedömningarna för priserna år 2050 och 2080 bygger dessutom på det enkla antagandet att alla förändringar fortsätter linjärt. Detta antagande är troligen gjort i brist på andra teorier vilket innebär att förutsägelserna för 2050 och 2080 sannolikt bör betraktas som en förstärkt signal av den uppskattade utveckling fram till 2020. Bedömningar och extrapoleringar av priser enligt ACCELERATES redovisas i Tabell A1.2 och bör alltså tolkas med stor försiktighet. Notera alltså att parametervärdena inte har skattats med hjälp av några modeller och att man noterade att det var svårt att göra konsistenta bedömningar av priserna via expertbedömningar.

I grova termer bedöms priser på insatsmedel öka pga miljörestriktioner i miljöscenarierna. Priserna på arbete är mer lika mellan scenarierna, men med en tendens att öka långsammare i de regionala scenarierna. Avsalupriser på grödor sjunker i främst tillväxtscenarierna (A1 och A2), och inkomsterna genom bidrag försvinner i A1 och vad avser matproduktion i B1. Köttpriserna förändras på liknande sätt som matpriserna, men allmänt mindre. Mjölken blir påtagligt billigare i A1 och dyrare i B2 än i dagsläget. Kostnaderna för, och användningsrestriktionerna mot, bekämpningsmedel ökar kraftigt i miljöscenarierna, medan priset på vatten ökar kraftigt i alla scenarier (Tabell A1.2).

I ATEAM modellen finns inte priser explicit med som en drivkraft utan istället definieras ett antal nyttofunktioner som antas styra efterfrågan och därmed markanvändningen. De bakomliggande antagandena går inte att tolka men modellens utformning implicerar ett antagande om att den givna (alltså prisoberoende) kvantitet som konsumeras i framtiden också kommer att produceras (oberoende av priser). Det som i modellen kallas för efterfrågan skall alltså snarare tolkas som konsumerad kvantitet.

ATEAM-skattningarna har gjorts för regionen EU15 plus Norge och Schweiz (EU15+2). Den relativa konsumerade kvantiteten ("efterfrågan"), jämfört med dagens (2000) hämtades från en beräkning med IMAGE-modellen där såväl inhemsk europeisk efterfrågan som efterfrågan från övriga världen beaktats. I tabell 1.10 redovisas den framtida konsumtionen relativt dagens för "åkermarksprodukter" respektive "gräsmarksprodukter". Efterfrågan på "åkermarksprodukter" ökar mest i A1FI-scenariet till följd av antagandet att export är viktigare i en "ekonomiskt inriktad globaliserad" värld och minst i B2-scenariet eftersom export antagits vara mindre viktig. Efterfrågan på gräsmarksrelaterade produkter antas minska till följd av antagandet att konsumenterna i allt större utsträckning kommer att föredra gris och kyckling till förmån för nöt och får. Minskningen i den efterfrågan är minst i A1FI-scenariet eftersom detta scenario antar en rikare värld med en högre efterfrågan än 2000.

Tabell 1.10 Konsumtion/efterfrågan på jordbruksprodukter relativt år 2000, baserad på IMAGE-modellen. Källa (Rounsevell et al, 2005). (ATEAM)

Scenario	"Åkermarksprodukter"			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	1.25	1.51	1.46	0.85	0.87	0.85
A2	1.14	1.31	1.38	0.91	0.67	0.64
B1	1.18	1.39	1.29	0.91	0.67	0.64
B2	1.06	1.09	1.07	0.91	0.67	0.64

I ATEAM antar man alltså att den kvantitet som konsumeras (och eventuellt exporteras) kommer att produceras. Utöver att producera för konsumtion är det möjligt att en viss överproduktion upprätthålls med hjälp av jordbrukspolitik. I ATEAM har man antagit att det i framtiden eventuellt, beroende på scenario, kommer att ske en viss överproduktion. I samtliga fall, förutom de ekonomiskt inriktade scenariernas (A-scenariernas) åkermarksprodukter, har man antagit att en överproduktion på cirka 10 % kvarstår också i framtiden. Det betyder att överproduktionen, relativt dagens överproduktion, av "åkermarksprodukter" för A-scenarierna blir cirka 0.9¹ och för B-scenarierna 1.0 (dvs. en fortsatt

¹ Mer exakt borde den relativa överproduktionen vara 0,91 (=1/1,1).

överproduktion med 10 %; tabell 1.11). Detta betyder att det i A-scenarierna i framtiden inte sker någon överproduktion, byggt på antagandet att de "ekonomiskt inriktade" scenarierna medför en marknadsanpassning av jordbruket som leder till en balansering av utbud och efterfrågan.

För B2-scenariot (samt för gräsmarker i B1-scenariot) har man antagit att man inte kommer att acceptera någon minskning av jordbruksarealen i framtiden. Detta innebär att modellen i princip skulle kunna användas för att beräkna antingen ett framtida värde på överproduktionsfaktorn, alltså vilken relativ överproduktion som måste accepteras, eller för att beräkna vilken minskning i produktivitet, genom extensifiering, som krävs för att nå målet om bibehållen areal.

Tabell 1.11 Antagen relativ förändring i överproduktion av jordbruksprodukter Källa (Rounsevell et al, 2005). (ATEAM)

Scenario	"Åkermarksprodukter"			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00
A2	0.90	0.90	0.90	1.00	1.00	1.00
B1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
B2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Sammanfattningsvis skulle man kunna tolka ATEAM-modellen så att det inte finns några priser som jordbrukarna anpassar sig till utan att man istället tänker sig en anpassning till den kvantitet som konsumeras (inhemskt och via export) och som "efterfrågas" som överproduktion via jordbrukspolitiken.

1.4 Produktivitet

Som ovan nämnts är det inte bara priser som påverkar den enskildes beslut om markanvändning utan också produktiviteten hos marken och andra resurser. Högre produktivitet innebär möjlighet att minska resursåtgången per producerad enhet vilket

också innebär att kostnaderna per producerad enhet, allt annat lika, kan bli lägre vilket stärker gårdens konkurrenskraft. Bedömningar av produktivitetsutvecklingen är därför central för att bedöma framtida markanvändning. Det är främst tre faktorer som antas bestämma produktivitetsutvecklingen; teknisk utveckling, ökad koldioxidkoncentration i atmosfären samt klimatförändring. För att bedöma de framtida utvecklingarna av dessa faktorer behövs det extrapoleringsmetoder. För att bedöma koldioxid och klimat-effekter finns det grundläggande naturvetenskapliga teorier att utgå från, medan för den tekniska utvecklingen blir mer spekulativa resonemang basen för extrapoleringar. Även om koldioxid- och climateffekter kan bedömas utifrån naturvetenskaplig teorier så behövs det i praktiken så mycket data att beräkningarna blir komplicerade och risken är stor att resultaten blir osäkra. Av bl.a. det skälet skiljer sig metoder åt och ATEAM använder en mer statistisk ansats och ACCELERATES en mer mekanistisk ansats.

Teknikutveckling

Produktiviteten kan påverkas kraftigt av den tekniska utvecklingen. I ATEAM modellen antas den i medeltal årliga produktivitetsökningen (kg/ha/år) från 1960 till 2000 bestå under 2000-talet. Detta innebär att åkermarksprodukter i A1-scenariet får en 134 % ökning av produktiviteten fram till år 2080. De andra scenarierna får en lägre ökning; 116 % för A2, 86 % för B1 och bara 27 % för B2. Det är emellertid oklart hur de andra scenariernas avvikelse neråt från A1 har beräknats. För "gräsmarksprodukter" är produktivitetsökningarna betydligt mindre; 50, 43, 32 respektive 10 % till 2080 (tabell 1.12).

Tabell 1.12 Antagen relativ produktivitet till följd av förändringar i teknologi och management i ATEAM. Källa (Rounsevell et al, 2005). (ATEAM)

Scenario	"Åkermarksprodukter"			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	1.37	1.87	2.34	1.14	1.32	1.50
A2	1.36	1.81	2.16	1.14	1.30	1.43
B1	1.29	1.62	1.86	1.11	1.23	1.32
B2	1.19	1.27	1.27	1.07	1.20	1.10

I tabell 1.13 redovisas en jämförelse mellan antagandena i ACCELERATES och ATEAMs antagande för åkermarksprodukter. Den största skillnaden är att ACCELERATES antar en betydligt högre produktivitetsökning till följd av teknikutvecklingen än ATEAM. Fram till 2080 blir skillnaden mycket påtaglig (268 % ökning i ACCELERATES jämfört med 134 % i ATEAM). De andra scenarierna visar liknande ökning för respektive modell.

Tabell 1.13 Jämförelse mellan prognoser för produktivitsutveckling mellan ATEAM och ACCELERATES

	Nu	2020				2050				2080			
		A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
Relativ produktivitet till följd av teknologisk utveckling													
ACCELERATES	100	167	131	130	104	268	177	176	109	368	223	221	115
ATEAM (åkermarksprod.)	100	137	136	129	119	187	181	162	127	234	216	186	127

Det är rimligt att tro att potentialen i produktivitsökning via teknikutveckling kan bero på klimatet. Exempelvis har produktivitsökningen från 1960 till 2000 varit betydligt lägre i torra

sydliga länder i Europa, såsom Spanien, än i mer nordliga länder såsom Nederländerna. Det framgår inte att någon sådan bedömning är beaktad i någon av modellerna. Det bör slutligen noteras att teknologiförändringar är okända och att förutsägelserna är mycket osäkra men att de har potentiellt mycket stor påverkan på bedömningar av framtida markanvändning.

Koldioxideffekter

Produktiviteten påverkas också av CO₂-koncentration i atmosfären och därmed påverkas produktiviteten olika eftersom de olika scenarierna innebär olika socioekonomiska utvecklingar vilka leder till olika CO₂-halter i atmosfären och därmed till olika CO₂-effekter på grödors tillväxt. Största atmosfäriska CO₂ koncentrationen kommer att uppnås i A1, därefter A2, sedan B2 och lägst i B1. I ATEAM bedöms ökad CO₂-koncentration öka produktiviteten med 32, 27, 11 respektive 15 % till år 2080 för A1, A2, B1 respektive B2 till 2080 (tabell 1.14).

Tabell 1.14 Antagen relativ produktivitet till följd av förändringar i CO₂-koncentration enligt ATEAM. Källa (Rounsevell et al, 2005)

Scenario	"Åkermarksprodukter"			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	1.04	1.16	1.32	1.04	1.16	1.32
A2	1.04	1.13	1.27	1.04	1.13	1.27
B1	1.04	1.09	1.11	1.04	1.09	1.11
B2	1.04	1.11	1.15	1.04	1.11	1.15

ACCELERATES redovisar ingen bedömning av hur ändrad CO₂-halt påverkar produktiviteten.

Klimatförändring

Klimatförändringarna innebär såväl ändrade temperatur- som nederbördsförhållanden. Såväl årsmedelvärden som variationer inom året (månader) ändras.

I ATEAM beräknas effekterna av klimatförändringsscenarierna på produktiviteten indirekt via effekten på naturlig vegetation. Europa har delats upp i vegetationszoner utifrån omgivningsparametrar. Modellen härleder ett statistiskt samband mellan skördenivåer för jordbruksgrödor (SCB för Sverige och databasen NUTS2 för Europa; Ewert et al., 2005) å ena sidan och vegetationszoner å den andra. Detta förhållande härleds för "dagens förhållanden" (dvs. 1990) och antas sedan bestå vid ett förändrat klimat. Detta påminner om extrapoleringen av de regionala skillnaderna som beskrevs i ovanstående stycke, men är en betydligt mer sofistikerad metod där vegetationszonerna m h a en statistisk modell (PCA modell) beräknas som funktion av 14 variabler inom kategorierna klimat, mark, latitud, höjd över havet och markens lutning ("Environmental stratification"; Metzger, 2005). Klimatförändringsscenarierna resulterar i nya klimatdata som indata till PCA-modellen och nya "Environmental zones" beräknas. ATEAM metoden inkluderar förändringar i hela odlingssystem och dess effekter på produktivitet, men extrapoleringarna baserar sig på ett statistiskt skapat matematiska samband vars relation till odlings-systemets biogeofysikaliska och -kemiska funktioner är oklara. Att dessa samband rimligen gäller under förändrade klimatiska förhållanden är ett antagande som ej är vederlagt teoretiskt (per definition är det ju inte vederlagt empiriskt, eftersom framtiden ännu inte inträffat).

ATEAM beräkningarna visar på en mycket liten effekt av klimatförändringarna på Europas genomsnittliga produktivitet fram till 2080 för samtliga scenarier. För åkermarksprodukter pekar scenarierna på en viss minskning (på mellan 7 och 3 %) och för gräsmarksprodukter en viss ökning (på mellan 6 och 11 %), se tabell 1.15. Inom dessa genomsnittliga förändringar kan stora regionala skillnader rymmas. Vissa publicerade kartor visar just på sådana stora skillnader inom Europa, men några sammanställda resultat redovisas inte.

Tabell 1.15 Antagen relativ produktivitet genomsnittligt i Europa till följd av klimatförändringar, enligt ATEAM. Källa (Rounsevell et al, 2005)

Scenario	"Åkermarksprodukter"			Gräsmarksprodukter		
	2020	2050	2080	2020	2050	2080
A1FI	0.99	0.92	0.93	0.95	0.91	1.09
A2	1.01	0.97	0.95	1.01	1.00	1.06
B1	1.01	0.98	0.97	1.03	1.05	1.11
B2	1.01	0.98	0.97	1.03	1.03	1.08

I ACCELERATES markanvändningsmodell bedöms effekterna av en klimatförändring huvudsakligen utifrån biogeofysikaliska funktioner hos växtodlingssystemet och speciellt förändringar i vattenförhållanden. Hur produktiviteten förändras med variationer i vattenförhållanden och temperatur beräknas med en tillväxtmodell (ROIMPEL) som beräknar grödans fenologiska utveckling, vattenomsättning och tillväxt. Detta innebär att markstruktur och väder är indata till modellen. En fördel med denna modell är att den ger mer transparenta och begripliga resultat utifrån en förståelse av systemets naturliga funktioner. En annan fördel är att systemets funktioner är formulerade på ett sätt som vetenskapen tror ska fortsätta vara giltig vid en klimatförändring. En nackdel är att resultaten bara gäller för en begränsad del av all odling därför att de antaganden som förts in i modellen inte är fullständigt uppfyllda i den praktiska växtodlingen. Det finns också risk att relativt små men många osäkerheter i indata till modellen kan ge stora osäkerheter i de simulerade resultaten. Den stora mängden indata, t.ex. markparametrar, minskar metodens transparens. I tabell 1.16 redovisas de procentuella förändringarna av skördarna per hektar för de länder som får den minsta ökningen (alternativt största minskningen) samt för de länder som får den största ökningen av avkastningen.

Tabell 1.16 % Ändring av hektarskördar i Europa till 2050 (ej nya grödor för en region; ACCELERATES)

<i>Europa</i>	<i>Höstvete</i>	<i>Vårvete</i>	<i>Majs</i>	<i>Potatis</i>	<i>Vall</i>
Min	-4, Öst., Port, It, +10 Irl.	-1, Öst., +6 Irl.	-15, Grekl, -10 Port	+30	-6, Öst, +4- Irl, Lux, 8 NL
Max	+25 Grek.	+70, Fin, +40 Skot, Grek	+40 Tyskl.	+55	+35, Finl, +30 Sver

Södra Finland kommer att få ganska lika relativa skördeökningar som södra Sverige eller kanske rentav högre. Både majs (9 t/ha) och solros (4t/ha) blir nya grödor. Norra Finland bedöms få stora skördeökningar och speciellt höga skördar av höstvete (12 t/ha) och vårvete (9 t/ha) som blir nya grödor, liksom bomull (0.2 t/ha). Norra Finland kommer att få den största relativa skördeökningen för vall (45 %) i Europa (norra Sverige finns inte analyserad). Att norra Finland får mycket högre skördeökningar än Sverige förklaras med att Finland får betydligt varmare somrar. En egen reflektion är att de höga höstveteskördarna i stor utsträckning bör bero på milda vintrar. Danmark får skördenivåer som liknar södra Sverige, något mindre kanske.

Den övervägande bilden för Europa är ökande skördar. De relativa skördeökningarna varierar ofta mer inom nationer än mellan nationer. Ingen omedelbar enkel geografisk bild syns. För vete uppstår det minskningar i Österrike, och lägsta ökningar i Portugal och Italien, men bland de högsta ökningarna i Grekland, och främst i norra Finland och centrala Sverige. Majsen uppvisar de största minskningarna av alla grödor och då främst i Grekland och Portugal, och ökar mest i Tyskland. Potatis ökar ganska jämt i hela Europa. Vall, som i stor utsträckning avspeglar förändringar i vattentillgången minskar i Österrike, ökar svagast i Irland, Luxemburg och Nederländerna och ökar mest i Finland och Sverige.

I Sverige kommer hektarskördarna att, till 2050, öka för alla grödor. Störst effekt på avkastningen per hektar har A1FI-scenariet medan de övriga scenarierna har något lägre men likartade effekter på avkastningen. För A2-scenariet kommer den relativa ökningen att bli större i mellersta Sverige (från 20 % för vörkorn till 58 % för potatis) än i södra Sverige (från 17 % för vörkorn till 70 % för höstraps). Södra Sverige kommer erhålla majs som ny gröda med

en skörd på 11 ton/ha, och solros (3 t/ha). Mellersta Sverige kommer att få höstraps som ny gröda med en skörd på 3.5 ton/ha. Sojabönor och bomull bedöms inte kunna odlas i Sverige.

Tabell 1.17 % Ändring av hektarskördar i Sverige mellan 2000 och 2050 i A2-scenariet med klimatmodellen HadCM3 (ACCELERATES)

<i>Sverige</i>	<i>Höstvete</i>	<i>Vårvete</i>	<i>Majs</i>	<i>Höstraps</i>	<i>Potatis</i>	<i>Solros</i>	<i>Höstkorn</i>	<i>Vårkorn</i>	<i>Vall</i>
Södra	20	20	11 t/ha	70	40	4 t/ha	30	15	20
Mellersta	60*	15*	-	3.5 t/ha	60	-	40	20	35

*=jämfört med SCB:s normskörd.

Sammanfattningsvis kan det konstateras att ATEAM utgår från att klimatförändringarna får såväl positiva som negativa effekter på produktiviteten men att den genomsnittliga effekten för hela Europa blir försumbar. ACCELERATES, å andra sidan, förutspår att klimatförändringarna, bara med några få spridda undantag, ger positiva effekter på produktiviteten i hela Europa.

1.5 Markanvändning för Europa som en region

ATEAM modellerar markanvändningen med huvudsakligt syfte på europainivå. Man utgår vad avser delar av modellen från områden inom Europa men det är oklart hur dynamiken mellan dessa områden är representerad. ACCELERATES, å andra sidan, modellerar markanvändningen utgående från den enskilda gårdens lönsamhet och konkurrensen mellan områden i Europa, och syftar inte direkt till att erhålla resultat för Europa som en region. I detta avsnitt redovisas därför endast resultat från ATEAM.

ATEAM

ATEAM modellen tar sin utgångspunkt på europainivå och betraktar i ett första steg åkerarealen i Europa som en enhet. Arealen används till odling av grödor för att möta konsumtionen. Konsumtionen av en viss grödkategori bestäms av antalet konsumenter multiplicerat med den årliga konsumtionen av respektive produktkategori. Man skiljer på produkter från åker (eng. crop)

och från gräsmark (eng. grassland). Konsumenterna kan vara såväl invånare i Europa som utanför Europa, beroende på socioekonomiska antaganden om internationell handel.

Modellen är uppbyggd utifrån antagandet att

$$\text{Produktion (kg/år)} = \text{Konsumtion (kg/år)} * \text{Överskottsfaktor (-)}$$

där konsumtionen alltså är beräknad med en annan modell (se ovan). Överskottsfaktorn representerar den överproduktion, relativt konsumtionen, som kan åstadkommas med politisk styrning och bestäms utifrån antaganden under respektive socioekonomiskt scenario (se ovan). Arealbehovet för att åstadkomma denna produktion bestäms av produktiviteten (som också den bestäms med en annan modell, se ovan) enligt:

$$\text{Areal (ha)} * \text{Produktivitet (kg/ha/år)} = \text{Konsumtion (kg/år)} * \text{Överskottsfaktor (-)}$$

Detta innebär att arealåtgången kan beräknas som

$$\text{Areal (ha)} = [\text{Konsumtion (kg/år)} * \text{Överskottsfaktor (-)}] / \text{Produktivitet (kg/ha/år)}$$

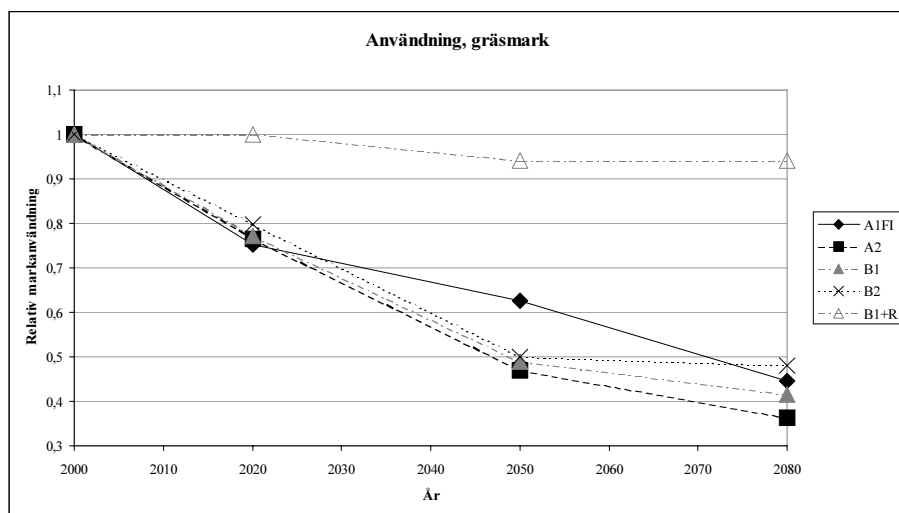
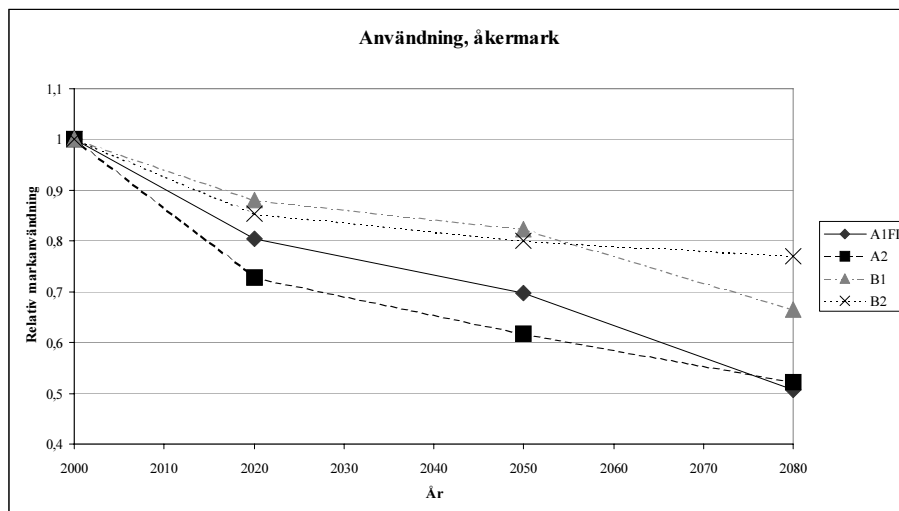
Konsumtion påverkas bland annat av befolkningstillväxt men också av befolkningens inkomstnivå, som påverkar konsumentens val mellan olika typer av produkter. Exempelvis ökar efterfrågan på åkermarksprodukter (fläsk och kyckling) relativt gräsmarksprodukter (nötkött) när inkomstnivån stiger. Konsumtionen inom specifika regioner påverkas också av antaganden om omfattningen av världshandeln.

Efter att beräknat/uppskattat förändringarna i konsumtion och produktivitet (se nedan) och gjort antaganden om eventuell överproduktion har förändringarna i den totala arealen för respektive grödkategori beräknats för de olika socioekonomiska scenarierna för åkermarksprodukter. Resultatet från modellberäkningarna visar att det totala behovet av åkerareal inom EU15+2 minskar successivt och framtill 2080 behövs 50 % mindre areal för matgrödor och 30 % mindre areal för fodergrödor för A2. I stort sett är bilden densamma för B2. I Tabell 1.18 och Fig. 1.5 redovisas resultaten översiktligt och mer i detalj i tabellerna A1.3 och A1.4.

Tabell 1.18 Arealanvändning för åkermarksprodukter (och gräsmarksprodukter) 2080 relativt 2000 av åker respektive gräsmark i Europa beräknad med ATEAM modellen (relativ faktor, år 2000 = 1.00)

<i>Komponent i massbalans</i>	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>
Konsumtion	1.46 (0.85)	1.38 (0.64)	1.29 (0.64)	1.07 (0.64)
Produktivitet				
Teknik	2.34 (1.50)	2.16 (1.43)	1.86 (1.32)	1.27 (1.10)
Koldioxid	1.32 (1.32)	1.27 (1.27)	1.11 (1.11)	1.15 (1.15)
Klimat	0.93 (1.09)	0.95 (1.06)	0.97 (1.11)	0.97 (1.08)
Överproduktion	0.9 (1.0)	0.9 (1.0)	1.0 (1.0)	1.0 (1.0)
Areal	0.53 (0.49)	0.55 (0.42)	0.70 (0.94)	0.72 (0.62)

Figur 1.5 ATEAM modellens beräkning av framtida relativ markanvändning (-) för åkermark (överst) och gräsmark (nederst). Resultaten för B1-scenariet avviker från det som redovisas i Rounsevell et al. (2005) där "B1+R" (där någon minskning av arealen inte tillåts)



1.6 Markanvändning i enskilda länder

De två modellerna beräknar markanvändningen på nationell eller regional nivå på olika sätt. I ATEAM finns i princip ingen fördelning inom modellen vilket betyder att den spatiala fördelningen av areal har gjorts enligt en särskild procedur efter det att arealbehovet för hela Europa har beräknats med modellen. ACCELERATES, däremot, modellerar direkt markanvändningen på regional nivå.

ATEAM

Tillgång-Efterfrågan modellen beräknar den totala jordbruksarealen för Europa. Denna ska sedan fördelas på olika delar av Europa. Europa delas in i så kallade ATEAM-celler som är 10 X 10 latitud-minuter stora (dvs. ca 20 km i nord-sydlig riktning). Nuvarande fördelning av jordbruksmark är utgångspunkten liksom indelningen av denna i "Less Favoured Areas" (LFA) och ej LFA, enligt CAP. Dessutom beaktas skyddsområden speciellt, och markanvändningen inom dessa områden får inte ändras under något av scenarierna. I övrigt gäller utgångspunkter och fördelningsregler enligt Tabell 1.19.

Tabell 1.19 Spatiala fördelningsregler för respektive scenario, ATEAM

	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>A4</i>
Bakomliggande antagande om lokalisering	Produktionen lokaliseras till optimala produktionsområden	Viss grad av regional protektionism	Bevara miljövänliga marker och optimera övrigt	Inga arealminskning tillåts
Fördelningsnyckel för att prognostisera förändring av jordbruksmark inom Europa (som delas upp i sk ATEAM-celler)	CAP definierar "Less Favoured Areas" (LFA). Nedskränningar sker först av LFA	Relativa förändringar av Europas totala jordbruksareal tillämpades lika för alla ATEAM-celler	Gräsmarker tillåts ej förändras ¹ . Åkermark minskar först på LFA.	Inga förändringar att fördela

¹ Detta betyder att man har tillåtit överproduktion från gräsmarker och att man frångått de parametervärden för relativ överproduktion som redovisats. Någon redovisning av vad det nya antagandet, om oförändrad areal, innebär i form av överproduktion görs dock inte. Utifrån modellen kan man dock beräkna den relativa överproduktionen till 1,3 (2020), (2050) samt 2,4 (2080). Notera att detta är framtida överproduktion relativt basårets (10 %). Det innebär att produktionen måste vara 40 % ($1,3 * 1,1 = 1,4$), 130 %, respektive 160 % högre än konsumtionen för att gräsmarksarealen skall bevaras oförändrad.

Konsekvensen av arealfördelningskriterierna i Tabell 1.19 är att Sveriges relativa minskning av åkermark är större än för Europa som helhet. För gräsmarker är minskningen ungefär lika stor som för Europa som helhet, eller något mindre, se tabell 1.20.

Tabell 1.20 Effekter på åkermarksanvändning 2080, för Sverige, Europa samt några utvalda exempel. Den relativa markanvändningen redovisas som procent av dagens. Det är oklart vad siffrorna för Europa+ hänvisar till. (ATEAM)

	2000 (% av landareal)	A1F1 % av areal	relativ	A2 % av areal	relativ	B1 % av areal	relativ	B2 % av areal)	relativ
Sverige	8.99	4.23	47%	4.71	52%	5.37	60%	6.05	67%
Europa+	23.02	12.27	53%	12.66	55%	16.01	70%	16.65	72%
Jämförelseexempel									
Störst minskning		Span. Lux. Grek. Finl.	26% 26% 32% 33%	Alla	52- 55%	Finl. Lux. Port. Irl.	41% 45% 46% 47%	Irl.	60%
Minst minskning	Dan. NL Belg. UK	83% 83% 80% 79%				Dan. NL UK Belg.	92% 90% 90% 88%	Ital.	79%

Tabell 1.21 Effekter på svensk gräsmarksanvändning 2080, för Sverige, Europa samt några utvalda exempel. Den relativa markanvändningen redovisas som procent av dagens. Det är oklart vad siffrorna för Europa+ hänvisar till. (ATEAM)

	2000 (% av landareal)	A1F1 % av areal	relativ	A2 % av areal	relativ	B1 % av areal	relativ	B2 % av areal)	relativ
Sverige	17.51	7.47	43%	7.68	44%	17.50	100%	12.65	72%
Europa+	17.23	8.50	49%	7.19	42%	16.17%	94%	10.56	62%
Jämförelseexempel									
Störst minskning		Span. Port. Lux. Grek.	38% 38% 39% 39%	Alla	36- 44%	Port. Ital.	49% 53%	Irl. Span. Dan.*	42% 45% 47%
Minst minskning	NL Dan.*	99% 83%				Dan.* Fin. Sve.	100% 100% 100%	Span. Sve. Schw.	75% 72% 70%

*Danmark har väldigt lite gräsmarker initialt

Inga av grödorna som tas upp i studien är nya för Europa, men vissa är nya för vissa länder eller delar av länder. Således kommer vår- och höstveten bli ny gröda för norra Finland och centrala Sverige. Majs blir ny gröda för S Sverige (11 t/ha), S Finland (9), Danmark (10), Belgien (9), Luxemburg (6), Nederländerna (8), Storbritannien (8), Irland (9), NW Spanien (7), Grekiska övärlden (6 t/ha). Solros blir ny gröda för S Sverige (4 t/ha), S Finland (4), Danmark (4), Nederländerna (3), Skottland (4), Irland (3), NW Spanien (2) och Portugal (3). Sojaböna blir ny gröda för Tyskland (5 t/ha), Österrike (6), Luxemburg (5), NW Frankrike (4) och NW Spanien (4). Höstraps blir ny gröda i centrala Sverige och bomull i norra Finland.

ACCELERATES

ACCELERATES modell utgår från att gårdens ekonomi avgör arealfördelningen, och förändringar i dessa förutsättningar i framtiden styr förändringar i arealanvändningen. Rounsevell et al. (2002a, b) har utvärderat och föreslagit denna modell. De både utgår från och drar slutsatsen att företagen kan antas vara vinstmaximerande och att priser därmed har stor betydelse för markanvändningen.

Modellen väljer den markanvändning som maximerar vinsten givet priser och andra restriktioner. Klimatet kommer in i modellen eftersom det påverkar produktiviteten och därmed produktionskostnaderna. Med en förändrad produktivitet förändras mängden resurser (arbetskraft, drivmedel, mark etc.) som åtgår per producerad enhet och därmed produktionskostnaderna.

Tågorordningen vid bestämningen av markanvändningen var:

1. Hur stor andel av ett område var urban? Denna mark tas bort.
2. Vilka ytor kan odlas med en viss given hög lönsamhet. Dessa klassas som intensivt jordbruk
3. Beräkna produktionen från det intensiva jordbruket
4. Om den totala produktionen är större än efterfrågan så definieras överskottsland som urban.
5. Om den totala produktionen är mindre än efterfrågan beräknas vilka ytor som kan odlas med en viss lägre lönsamhet
6. Definiera all övrig mark som övergiven vad avser jordbruk

För respektive klimat och socioekonomiskt scenarium bestäms landanvändningen på motsvarande sätt (1–6) och sedan beräknas hur andelarna intensiv/extensiv/övergiven mark ändrats samt hur den odlade markens fördelning mellan åkermarksgrödor ("arable crops") och gräsmarker ("grasslands") ändrats.

Val av gröda beräknas på gårdsnivå med modellen SFARM-MOD. Val av gröda bestäms av dess lönsamhet. Profit tröskelvärdet för intensiv var 350 Euro/ha. En karaktäristisk respons hos modellen är att "Grasslands" gynnas av hög nederbörd, och i de fall temperaturen stiger och det samtidigt blir torrare gynnas istället "Arable" – därför att man har antagit att tillgång på vatten kan ordnas genom bevattning, vilket dock är kopplat till en kostnad som beaktas.

Sveriges samlade intensivt odlade jordbruksareal av idag är i ACCELERATES 2.9 Mha. Under antagandet att det inte skulle ske några socioekonomiska förändringar till år 2050 skulle klimatförändringarna (för A2-, A1- och B2-scenarierna) förbättra den svenska jordbruksmarkens konkurrenssituation och arealen öka till 3.5–4.3 Mha, se tabell 1.22. Den måttligare klimatförändringen i B1-scenariet skulle innebära att Sveriges åkermark marginaliseras lite ytterligare och arealen minskar till 2.6 Mha.

Emellertid påverkar förändringar i de socioekonomiska förutsättningarna också arealanvändningen och om dessa förändringar också beaktas så blir det en ökning av arealen endast för A1-scenariet där arealen ökar till 3.5 Mha. I A2 och B1 scenarierna minskar arealen till omkring 2.3 Mha medan Sveriges jordbruk starkt marginaliseras i B2 scenariet, där endast 0.8 Mha blir kvar. Skälet till marginaliseringen i B2 är höga kostnader för insatsmedel i kombination med att låga skördeökningar motverkar effekten av högre produktpriser vilket sammantaget minskar marginella markers konkurrenskraft. Effekten av detta är att markerna med låg produktivitet inte blir lönsamma och därför inte kommer att användas för intensiv jordbruksproduktion.

Ovanstående resultat uppnåddes när HadCM3-modellen använts för att prognostisera klimatförändringarna. Beroende på vilken GCM models klimatscenarium man antar kan resultatet bli det helt motsatta. För att testa känsligheten för typ av klimatmodell användes PCM-modellen (som ger en måttligare klimatförändring) för A2-scenariet. Resultatet blev, vilket också redovisas tabell 1.22, att arealen i Sverige reduceras kraftigt, till 1.1 Mha, under antagande om dagens socioekonomiska förutsättning. Om

också de socioekonomiska förutsättningarna antas ändras enligt A2-scenariet så får Sverige en ökad areal till 3.5 Mha. Skälet till detta är att arealen för de stora jordbruksländerna (Tyskland, Estland, Spanien, Finland, Frankrike, Italien, Storbritannien) undantaget Storbritannien, minskar i detta scenarium.

Tabell 1.22 Arealer intensiv jordbruksmark för olika scenarier, 2050. Miljoner hektar och procentuell förändring relativt 2000. (ACCELERATES)

		Nuvarande areal, milj. ha	HadCM3 A1FI	A2	B1	B2	PCM A2
Enbart klimatscenarier, milj ha (% förändring)	Sverige	2,9	4,3 (+48%)	3,7 (+28%)	2,6 (-10%)	3,5 (+21%)	1,1 (-62%)
	EU15	137,7	166,8 (+21%) HadCM3 A1FI	159,6 (+16%) A2	154,5 (+12%) B1	157,8 (+15%) B2	141,4 (+3%) PCM A2
Klimat och socioekonomiska scenarier, milj ha (% förändring)	Sverige	2,9	3,5 (+21%)	2,3 (-21%)	2,2 (-24%)	0,8 (-72%)	3,5 (+21%)
	EU15	137,7	100 (-27%)	136,8 (-1%)	140,6 (+2%)	144,5 (+5%)	121,9 (-11%)

I ACCELERATES drar man den allmänna slutsatsen att effekten av enbart klimatförändringar är relativt liten jämfört med effekterna när också socioekonomiska förändringar inkluderats. Det kan noteras att för flera länder (som inte redovisas här) är skillnaderna orsakat av olika klimatmodeller större än skillnaderna orsakat av olika socioekonomiska scenarier. För hela Europa pekar A1-scenariet, inklusive socioekonomiska förändringar, mot en kraftig minskning av arealerna. Detta förklaras huvudsakligen av den stora ökningen i hektarskördar.

De samlade effekterna på Europnivå (EU15) redovisas också i tabell 1.22. Om enbart klimatförändringen beaktas, dvs. om man antar samma socioekonomiska förhållanden som i dagsläget, ökar Europas totala jordbruksareal (138 Mha 2020) med 10–20 %. Ökningen är proportionell till temperaturhöjningen och 29 Mha för A1:s klimatscenarium, 22 Mha för A2, 20 Mha för B2 och minst för B1 (17 Mha) som har den minsta klimatförändringen. Ökningen av odlingsarealen i Finland stod för 60–100 % av denna ökning. Om vi bortser från Finland så bestod ordningen mellan de

olika scenarierna i alla fall. En fråga som uppstår är: om Finlands ökning är överskattad ska denna överskattning fördelas ut på odling i andra länder? Och hur sker det? Frånsett Finland, så är det Italien som ökar sin areal mest i absoluta termer (3–4 Mha) och därefter Irland och Portugal (1.5 Mha) och därefter Sverige (0–1.5 Mha). Spanien minskar sin areal mest (-2.5 till +1Mha), följt av Österrike (-1 till -0.5Mha).

Om man dessutom beaktar de socioekonomiska förändringarna minskar Europas samlade jordbruksareal för A1-scenariet med drygt 25 %, men förblir i princip oförändrad för de övriga scenarierna (ökar några få % för B1 och B2). Bortsett från Finland som fortfarande ökar sin areal otroligt mycket (12–16 Mha; utom för B2 där det minskar med 1 Mha) står speciellt Spanien för de stora arealminskningarna (-16 Mha för A1, -9 Mha för A1 och -2.5 för B1) men också Frankrike vad avser A1 och A2 scenarierna. Storbritannien har en stor minskning för A2 och B1 scenariet. För B1 får också Portugal betydande minskningar (-2 Mha). Allmänt för B1 och B2 är att jordbruksareal med lägst vinstmarginal i dagens förhållanden kommer att vara de som kommer få svårast att överleva när vinstmarginalerna krymper i samband med högre priser för insatsmedel och större krav för miljöhänsyn. I B2-scenariet förväntas Portugal, Sverige och Storbritannien minska sin jordbruksareal mest (-4.5 till -2.5 Mha).

I ACCELERATES modelleringen beräknas andelen åkermark av jordbruksmarken inom Sverige och kan avläsas från kartor. Modellen testades för nuvarande förhållanden, och enligt grova avläsningar från kartorna verkar skillnaden mellan modellens förutsägelser om dagens förhållanden vara större än de förutsedda förändringarna inom Sverige till 2050, vilket antyder problem i applicerbarheten av modellen på regional nivå Tabell 1.19.

1.7 Diskussion

Jämförelse mellan ACCELERATES och ATEAM

Den allmänna slutsatsen vad det gäller markanvändning i ATEAM är att arealen jordbruksmark kommer att minska kraftigt i Europa fram till 2050 i samtliga scenarier. I ACCELERATES, däremot är det bara A1-scenariet som förutsäger en minskning för klimatförändringar enligt HadCM3 (fig. 1.6). Denna minskning är i

princip lika stor som enligt ATEAM. För övriga scenarier förutsägs endast marginella förändringar av arealen. Notera dock att klimatodellen PCM, som endast kombinerats med A2-scenariet, förutäger en arealminskning. Denna minskning är dock betydligt mindre än enligt ATEAMS A2-scenarium.

Hur kan skillnaderna i resultat förklaras? Den faktor som påverkar detta mest, i ATEAMS modell, är produktivitsutvecklingen till följd av teknologisk utveckling. Liksom författarna till ATEAM påpekar så är förutsägelser om hur produktiviteten kommer att utvecklas svåra att göra och de är därmed mycket osäkra. Ett sätt att hantera osäkerheten i antagandena vore att göra en känslighetsanalys, men någon sådan redovisas inte². Är det då någon skillnad i antagandena om teknologisk utveckling mellan modellerna? En jämförelse mellan dessa antaganden redovisades ovan i tabell 1.13. Där kan man notera att ACCELERATES, just för A1, har antagit en betydligt högre produktivitsökning än ATEAM. Om samma produktivitsökning (2.68 istället för 1.87) används i ATEAMS modell skulle detta resultera i en minskning av arealen med 50 % för A1. För övriga scenarier är skillnaderna i antagandena mindre. Sammantaget innebär detta att det alltså inte är skillnaden i förväntad teknologisk utveckling som förklarar skillnaderna i modellernas resultat.

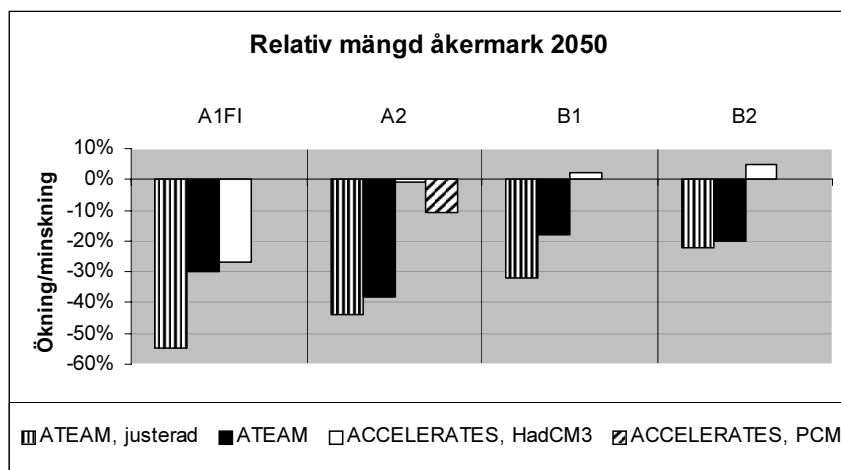
Vidare skiljer sig antagandena vad det gäller förväntad effekt av klimatförändringarna på produktiviteten. ATEAM har utgått ifrån att den genomsnittliga effekten är i stort sett försumbar, se tabell 1.15, medan ACCELERATE, med några få undantag, utgår från produktivitsförbättringar i hela Europa. Utifrån ATEAMS modell borde ACCELERATES antaganden innebära än ännu kraftigare arealminskning än vad ATEAM kommit fram till.

Eftersom resultaten av ATEAMS modell kan återskapas, på europeisk nivå kan man använda ACCELERATES antaganden i ATEAMS modell. Om ATEAMS modell beräknar markanvändningen utifrån ACCELERATES antaganden om teknologiförändringar (enligt tabell 1.13) och med ett antagande om 20 %

² Det är dock möjligt att göra sådan utifrån den redovisade beskrivningen av modellen och de redovisade data. Beräkningen kan dock endast göras på europeisk nivå eftersom den exakta spatiala fördelningsprincipen inte kan härledas. För A1-scenariet har man har antagit att produktiviteten för spannmål kommer att öka med 134 % till år 2080, se tabell 1.12. Detta motsvarar genomsnittligt en årlig produktivitsökning på 1,14 % och resulterar (i kombination med övriga antaganden) i en 50-procentig minskning av arealen. En känslighetsanalys visar att en årlig produktivitsökning på 0,5 % skulle leda till 23 % minskning av arealen och att en årlig produktivitsökning med 1,5 % skulle leda till 60 % minskning av arealen.

produktivitetsökning till följd av klimatförändringarna³ leder detta till ännu kraftigare arealminskningar.

Figur 1.6 Relativ förändring av arealanvändning med (i) ATEAM-modellen men med produktivitet från ACCELERATES (ii) ATEAM original, (iii) ACCELERATES original och (iv) ACCELERATES original men med PCM klimatmodell istället för HadCM3 (bara A2). Jämförelserna avser förändringar 2050 relativt 2000 av mängden åkermark i Europa



Slutsatsen blir att det alltså knappast är skillnaderna i antaganden om produktivitetsförändringar som förklarar skillnaderna i resultat mellan modellerna. Det är tvärtom så att när skillnaderna i dessa antaganden elimineras så ökar skillnaderna mellan modellernas resultat. Så, vad finns det för alternativa förklaringar till skillnaderna i resultat?

Övriga ingångsvärden i modellerna går inte att jämföra eftersom modellerna inte har fler gemensamma parametrar. Skillnaden i resultat kan sannolikt förklaras just utifrån att man har modellerat markanvändningen på helt olika sätt. Ingen av modellerna har modellerat efterfrågan på livsmedel som en funktion av priset på livsmedel. Det kan diskuteras hur priskänslig efterfrågan är, och kommer att vara i framtiden, men det förefaller rimligt att anta att mängden livsmedel som efterfrågas i viss mån påverkas av priset så

³ Det går inte att beräkna någon korrekt genomsnittlig ökning men 20 % förefaller vara en rimlig bedömning utifrån redovisade siffror.

att ett högre pris innebär att en mindre mängd efterfrågas och vice versa. Ett rimligt antagande är att utbud och efterfrågan tillsammans bestämmer pris och kvantitet av livsmedel och att eventuella förändringar i utbud och/eller efterfrågan innebär att såväl priser som kvantiteter justeras. Genom att använda en modell som bortser från efterfrågans beroende av priset bortser man från vissa av de anpassningsmekanismer som normalt kan förväntas på marknader. Hur påverkar då detta resultat av respektive modell?

Det är naturligtvis omöjligt att helt förutsäga hur modellresultaten skulle påverkas om modelleringen av efterfrågan på livsmedel justerades. Principiellt kan man dock ge en rimlig förklaring till de stora skillnaderna i resultat. Något förenklat skulle man kunna karaktärisera modellerna som att ATEAM har antagit att en given kvantitet efterfrågas och att denna kvantitet inte påverkas av prisförändringar som skulle kunna uppstå till följd av ett förändrat utbud. ACCELERATE, å andra sidan, har antagit att efterfrågan kan beskrivas i termer av givna priser och att allt som kan produceras till dessa priser konsumeras utan att priserna påverkas. I båda fallen har man antagit att produktiviteten kommer att öka i framtiden. Detta innebär att produktionskostnaderna sjunker och att utbudet, vid varje given prisnivå, ökar. På en marknad med en normal prisberoende efterfrågan skulle ett ökat utbud leda såväl till ökad konsumtion/produktion som till ett sänkt pris. Hur hanterar då de två modellerna situationen med ett ökat utbud?

I ATEAM tillåts ingen kvantitetsförändring vilket betyder att all anpassning måste göras via priserna. Detta innebär att konsumtions- och produktionsmängden inte påverkas av att produktionen blir billigare. Den enda effekten i ATEAM (som ju inte redovisar några priser) blir att arealen som krävs för produktionen minskar till följd av att avkastningen stiger. Sannolikt överskattar ATEAM arealminskningen eftersom man bortser från att en ökad konsumtion hade motverkat minskningen som följer av den ökade produktiviteten.

I ACCELERATE tillåts ingen prisförändring vilket innebär att all anpassning måste göras via kvantiteterna⁴. Detta innebär att priserna inte påverkas av att produktionen blir billigare. Effekten blir istället en kraftigare ökning av produktionen än om priserna

⁴ Vid körningen av ACCELERATE gjordes iterativa körningar med justerade priser för att de producerade kvantiteterna skulle bli kopatibla med respektive scenario. Om detta helt motverkat problemet med grundmodellens implicita antagande om efterfrågan är dock oklart.

hade sjunkit. Sannolikt underskattar ACCELERATE därmed arealminskningen eftersom man bortser från sjunkande priser hade lett till minskad produktion, relativt oförändrade priser. Ökningen i konsumtion, som motverkar det minskade arealbehovet till följd av ökad produktivitet, överskattas alltså sannolikt. Detta leder till att minskningen i areal, relativt situationen innan produktivitetsförändringen, sannolikt underskattas i ACCELERATE.

Bioenergiödling

I ovanstående framställning har eventuell produktion av bioenergi-grödor inte behandlats. Anledningen till detta är att bioenergiödling inte alls behandlas i ACCELERATES och att den behandlas som en oklar restpost i ATEAM frikopplat från själva markanvändningsmodellen. Om vi utgår från ACCELERATES priser på drivmedel (se Tabell A1.2) och antar att priset på bioenergi-grödor är proportionellt mot detta så ökar detta pris i B scenarierna, jämfört med 2000, mer än priset för mat och foder-grödor. Detta innebär att konkurrensen om mark ökar varvid priser på mat och foder-grödor kan tänkas öka, som kan hålla tillbaka bioenergi-grödornas expansion. Effekten av denna dynamik kräver modelltillämpningar. För A1 scenariot sjunker priserna ungefär lika för båda grödorna vilket skulle kunna tyda på att konkurrenssituationen mellan de två förblir relativt oförändrad jämfört med dagens nivå. A2 verkar inta en mellanposition.

1.8 Referenser

- Abildtrup, J., Audsley, E., Fekete-Farkas, M., Giupponi, C., Gylling, M., Rosato, P., and Rounsevell, M. 2006. Socio-economic scenario development for the assessment of climate change impacts on agricultural land use: a pairwise comparison approach. *Environmental Science & Policy* 9 (2), 101–115.
- Audsley, E., Pearn, K. R., Simota, C., Cojocaru, G., Koutsidou, E., Rousevell, M. D. A., Trnka, M., and Alexandrov, V. 2006. What can scenario modelling tell us about future European scale agricultural land use, and what not? *Environmental Science & Policy* 9 (2), 148–162.
- Clason & Granström, 1992.

- Metzger, M.J. 2005. European vulnerability to global change – a spatially explicit and quantitative assessment. Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 192pp.
- Rounsevell, M. D. A., Berry, P. M., and Harrison, P. A. 2006. Future environmental change impacts on rural land use and biodiversity: a synthesis of the ACCELERATES project. *Environmental Science & Policy* 9 (2), 93–100.
- Rounsevell, M. D. A., Ewert, F., Reginster, I., Leemans, R., and Carter, T. R. 2005. Future scenarios of European agricultural land use II. Projecting changes in cropland and grassland. *Agriculture Ecosystems & Environment* 107 (2–3), 117–135.
- SCB, 2000.
- Sigvald, R., Lindblad, M., Eckersten, H., 2001. Jorbrukets känslighet och sårbarhet för klimatförändringar – Underlag för Sveriges nationalrapport till Klimatkonventionen. Naturvårdsverket, rapport 5167, 40 sidor.

Muntlig kommunikation

S. Karlsson, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU

2 Vattentillgång

2.1 Introduktion och bakgrund

Detta avsnitt avser att bedöma hur förändrade vattenförhållanden i samband med klimatförändringar kan påverka jordbrukets växtproduktion. Allmänt gäller att alla bedömningar avser effekter av klimatscenarierna för ~2085, socioekonomiskt scenario A2 och klimatmodell Echam4. I vissa fall behandlas effekter för motsvarande ~2025 års scenarier. Dessutom har detta avsnitt tagit fram bakgrundsinformation till andra bedömningar i andra avsnitt i denna rapport, och specifikt har det gjorts bedömningar av hur odlingsperioderna kan påverkas.

Odlingen påverkas av vattenklimatet

Vattenförhållandena är helt avgörande för grödors etablering, tillväxt och den skördade produktens kvalitet. Grödor är dock olika känsliga för vattenförhållandena i olika faser av sin utveckling. Sådden kräver att marken är bärkraftig för traktorer vilket kräver att vattenhalten inte är alltför hög. Groning och etablering kräver fuktiga markförhållanden. Under den första månaden av tillväxten är det också främst fuktiga markförhållanden som är betydelsefull för god tillväxt, men allteftersom börjar mängderna vatten växten behöver för sin tillväxt bli allt större. En mycket liten del av vattnet behövs dock för att bygga biomassa. Den allra största delen förloras genom transpiration vilket reglerar bladens energibalans och temperatur och förhindrar höga temperaturer vid hög solinstrålning. Under kärnfyllnadsperioden och nära mognad blir växtens beroende av vattentillgången allt mindre, och några veckor innan skörd är torra väderförhållanden önskvärda, medan fuktiga atmosfärsförhållanden kan främja sjukdomar och orsaka groning av kärnorna. God vattentillgång kan, i de fall det innebär gynnsamma betingelser för skadegörare, vara negativt för växten. Detta är en ofta återkommande situation under hösten för höstsådda grödor, och vall, och mer slumpvis återkommande under andra delar av vegetationsperioden i samband med extremt långa fuktiga perioder. Behovet av bekämpning av skadegörare påverkas. Dålig vattentillgång kan påverka huvudgrödans konkurrenskraft mot ogräsen och behovet av ogräsbekämpning kan öka.

Olika grödor är olika känsliga för vattenförhållanden. Bland stråsäden är vårtorka besvärligare för vårsådda grödor än höstsådda grödor som har ett mer etablerat och djupare rotsystem på våren. Ingen av de höstsådda stråsäden bedöms som torkkänsliga på våren. Bland de vårsådda stråsäden bedöms havren som extra känslig för vårtorka, vilket kan leda till besvärande konkurrens från ogräs. Det motsatta gäller för vårkorn. Havre är istället tålig för våtare förhållanden medan t.ex. malkorn kan i sådana situationer få för höga proteinhalter pga en hög kväve mineralisering och kväveupptag samtidigt som tillväxten kan ha hämmats av att solinstrålning minskat pga ökad molnighet. Årter behöver god vattentillgång vid blomning och bajsättning. God vattentillgång försenar dock mognaden vilket inte alltid är önskvärt. Potatis har ett liknande förhållande till vatten med stimulerad knölbildning vid god vattentillgång och en påskyndad avmognad vid torra förhållanden. Sockerbetan kräver god vattentillgång på sommaren för att erhålla god kvalitet. Vallbaljväxter ((klöver, lusern, käringtand) är allmänt mindre vattenkänsliga än vallgräsen (timotej, rajgräs) men undantag finns som t.ex. rödsvingel. (Fogelfors red., 2001)

Allmänt påverkar vattentillgången grödors tillväxt. I vissa enkla modeller bedöms tillväxten vara proportionell mot vattentillgången. Även om många och stora avvikelser påvisats från denna regel kan man i viss utsträckning anta att en ökad transpiration är relaterad till en ökad tillväxt. På våren tar stråsäden och vallgräsen upp mycket kväve i relation till ökningen av biomassa än senare under säsongen. En vårtorka kan därför antas påverka växtens kväveinnehåll mer än biomassan, vilket kan ge sänkt kvävehalt vid skörd. Proteinhalterna är direkt proportionella till kvävehalterna. I fallet med mer torka senare på säsongen kan det motsatta förväntas, dvs. lägre tillväxt och ökning av biomassa med högre proteinhalter som följd. Utfallet mildras av återkopplingar i växternas funktion så att en minskad kvävehalt orsakar en minskad tillväxt, och vice versa.

Ökad avdunstning kan vara ett tecken på ökad transpiration från växten, men kan också vara orsakad av ökad markytavdunstning, och därmed inte nödvändigtvis relaterad till en ökad tillväxt, utan tvärtom transpirationen kan ha minskat. För att kunna göra denna bedömning måste växtens tillväxt och bladytans utveckling skattas. Tillväxtmodeller som beaktar de komplicerade sambanden mellan tillväxt å ena sidan och klimat och vattentillgång å den andra

utnyttjas för att kunna bedöma hur mycket transpirationen ändrats.

Resursutnyttjande

Ökad atmosfärisk koldioxidhalt leder till ett ökat resursutnyttjande hos växten. Experimentella resultat har visat att tillväxten ökar i förhållande till tillgänglig solstrålning, vatten och kväve. Detta uttrycks ofta i ökad strålningsutnyttjande (på engelska: radiation use efficiency), ökad vattenutnyttjande effektivitet (water use efficiency) och en sänkt maximal kvävekonzentration i bladen. Vid en förhöjd CO₂-halt i atmosfären påverkas markvattensituationen både negativt av en ökad tillväxt och transpiration och positivt av en bättre vattenhushållning genom ökat klyvöppningsmotstånd.

Växtegenskaper som är gynnsamma för god skörd vid torra förhållanden är främst en snabb etablering av ett effektivt rotsystem, och att bladen kan begränsa vattenförlusterna vid transpiration i samband med upptaget av koldioxid från luften. Det senare påverkar bladens energibalans och höjer deras temperatur. Allmänt är ingen av dessa egenskaper direkt avgörande för val av gröda under rådande klimat i Sverige, men kan tänkas bli mer betydelsefulla i ett framtida torrare klimat. Det är dock känt att vissa grödor (t.ex. havre) är känsliga för vårtorka, medan andra grödor är känsliga för torka under sommaren, t.ex. vall.

Anpassningar till torra förhållanden består i val av gröda, art- och sortblandningar i vall, samt förädling till sorter med effektivare rotsystem och vattensnålare fotosyntes (högre vattenutnyttjande effektivitet). I nuvarande klimat är denna anpassning inte noterbar bland andra anpassningsåtgärder inom växtodlingen.

Skillnader inom landet

Regnet som tillförs marken lagras upp i markprofilen. Markens fysikaliska egenskaper (vattenhållande förmåga mm) bestämmer i samspel med klimatvariationer och växtens utveckling hur detta vatten fördelas mellan avdunstning och avrinning. Främst är det olika marktypers förmåga att lagra vatten som avgör om vattnet kan allokeras mer till produktiv transpiration än till avrinning eller markytavdunstning, även om t ex. infiltration och kappilaritet

också är viktiga faktorer. Markens lerhalt är ett mått på dess textur och används ofta som indikator för att jämföra olika marktypers vattenhållande förmåga. Lerhalten har kartlagts för svensk åkermark för de översta 20 cm av markprofilen och visar på en stor variation mellan olika regioner i Sverige (Eriksson m.fl. 1999). Störst andel av åkerareal med hög lerhalt återfinns i Svealands slättbygder (Ss) och speciellt i den ostliga delen. Mer än halva arealen har hög lerhalt (dvs. klassas som mellanlera, eller lerigare) men varierar från ~35 % i Värmland och Dalarna till ~85 % i Uppland. I Värmland finns det dock en stor andel mark som innehåller någon andel lera (~70%). Sedan avtar andelen areal med hög andel lerhalt ju mer söder- och norrut man går från Svealand. I Götalands norra slättbygder är andel areal lerjordar ca 40–50 % och varierar från ~30 % i Skaraborg till ~60 % i Östergötland. I Götalands mellanbygder och södra slättbygder är andelen mycket låg ca 10 % och arealen mark med någon lerhalt varierar från ~5 % i Kronoberg till ~50 % i Malmöhus län. Andelen areal lerjordar minskar ännu mer markant norrut från Svealand och är 10–25 % i nedre Norrland och bara 2% i övre Norrland. I nedre Norrland är dock andelen mark med någon lerhalt stor, över 50 % (Tabell A2.1, Fig. A2.1 i appendix).

Syftet med denna studie är att bedöma effekter av förändrade vattenförhållanden på olika gröders produktivitet, baserat främst på förändringar i nederbörd, men i viss uträkning också temperatur. För att erhålla ett underlag för bedömningarna har vi först försökt utvärdera odlingssäsongens förändring i termer av tidpunkt för vårbruk, skörd och höstbruk för vår- respektive höstgröda. Denna analys beskrivs först mer utförligt för Svealands slättbygder och därefter för olika regioner i Sverige.

2.2 Odlingssperiod för vårsådda grödor

Tidpunkt för vårbruk

Vegetationsperiodens start

Tidpunkten för sådd ~2085 kan bli tidigarelagd i enlighet med att vegetationsperiodens start blir redan i februari i Götaland, vilket innebär en tidigareläggning med bara en vecka i sydligaste delarna till två månader i inlandet i mellersta och norra Sverige. Avläsningen för Skåne är visserligen enligt Tabell A2.2 (appendix) först

dagarna i mars, men vi antar att en korrektare bedömning är i februari som för övriga Götaland. I Götalands mellanbygder blir det tidigare, dvs. första halvan av februari, i inlandet. I Svealand får östra delarna två månaders tidigareläggning av vegetationsperiodens start och lika tidig start som i Götaland, medan i västra Svealand blir starten en och en halv månad tidigare än ~1975 dvs. en vecka in i mars. I sydligaste delarna av nedre Norrland startar perioden redan i februari, men tidigareläggningen minskar snabbt norrut och blir i nordligaste delarna bara en månad dvs. i slutet av mars. I övre Norrland startar vegetationsperioden i mitten av april, en tidigareläggning med två veckor jämfört med ~1975. (Tabell A2.2).

Sista vårfrosten

Om man pga tidigare vårbruk kan så tidigare, kan då vårsådden äventyras mer av vårfroster än i dagsläget? Dvs. kommer sista vårfrosten att tidigareläggas i motsvarande grad som andra faktorer som styr vårbruket? Detta påverkar val av tidpunkt för vårbruket. Om tidpunkten för sista vårfrosten avgör såtidpunkt ~2085 kommer den att kunna ske från slutet av januari till mitten av februari i Södra Götaland (södra Skåne redan i början av januari) och från mitten av februari till början av mars i övriga Götaland (tidigare i väst). I Svealand skulle vårsådden kunna ske i början av mars och i Norrland från början av mars i de södra delarna till början av april i de norra delarna. Med samma logik skulle vårbruket i medeltal 1961–90 ha skett i Skåne i första halvan av april, i Svealand i andra halvan av april och i Norrland från slutet av april till början av maj, vilket ganska väl överensstämmer med tidpunkterna för dagens vårbruk (Tabell 2.3). En tredjedel till knappa hälften av tidigareläggning av sista vårfrosten till ~2085 kommer att ha inträffat redan ~2025. Den observerade redan inträffade tidigareläggningen från ~1975ERA40 till 15-årsperioden 1991–2005 (~1998ERA40) är en knapp vecka vilket är relativt lite jämfört med vad klimatförändringsscenarierna förutspår (35–75 dagar). (Tabell A2.3)

Markvattenhalt

Även om vegetationsperiodens start och dagen för sista vårfrost tidigareläggs kan hög markvattenhalt förhindra att marken bär såmaskiner m.m. (jämför med de Toro och Hansson, 2004). I dagsläget är detta redan en begränsande faktor och avgör den faktiska såtidpunkten. Kan det bli mer frekvent med långa torrperioder som förmår torka upp så pass att vårbruket kan börja tidigare? Vi har utnyttjat simuleringar med en tillväxt- och vattenbalansmodell för vall för att göra en kvalitativ bedömning av huruvida markförhållandena kan bli torrare eller våtare på vår och höst. Simuleringarna beräknar effekter av månadsvis förändringar i temperatur och nederbörds klimatet, samt ökad CO₂-halt, på vallens tillväxt och vattenbalans. Simuleringarna gäller för specifika lokaler i Svealand och Götaland, med specifika markegenskaper, och för specifika väderförhållanden. Även om markegenskaperna i någon mening är karaktäristiska för regionen så är extrapoleringen till medelförhållanden för hela regionen och över tiden mycket osäker. Simuleringarna måste därför ses som ett mycket litet urval från den stora datamängd som karaktäriserar markvattenförhållandena i medeltal (se vidare avsnittet för Vall nedan).

Som en konsekvens av ändrade vattenbalanser för ~2085 ändras upptorkningsförloppet på våren, liksom uppblötningsförloppet på hösten. Vi har försökt att åskådliggöra ändringarna genom att subjektivt uppskatta hur första dagen med tendens till upptorkning från mättad rotzon förskjutits. För hösten har på motsvarande sätt första dag för en period med sammanhängande mättade förhållanden uppskattats. Antalet dagar på våren som jorden varit torrare ~2085, än 1985, är i medeltal ca 3 veckor, medan motsvarande antal torrare dagar på hösten är betydligt färre beroende på att vattenmättnad av profilen i många fall aldrig inträffade innan årets slut (Tabell 2.1).

Tabell: 2.1 Senaste dag med mättad markvattenhalt på våren och tidigaste dag på hösten. Idag avser minst två av åren 1985 till 1988

<i>Gödsblad gräsvall</i>	<i>Vår</i>		<i>Höst</i>	
	Idag (dag nummer)	Δ ~2085 (dagar)	Idag (dag nummer)	Δ ~2085 (dagar)
Halmstad (moig sand)	15	-5	-	0
Jönköping (sandig mo)	85	-30	-	0
Skara (mellanlera)	115	-20	340	+10
Örebro (mellanlera)	95	-20	-	0
Uppsala (styv lera)	110	-25	250	+20

Simuleringarna antyder att perioder med tidvis upptorkningen skulle inträffa redan i januari i södra Halland (Halmstad), i slutet av februari i norra Småland (Jönköping), och sista veckorna i mars på de övriga lokalerna. De månadsvisa kvalitativa förändringarna är redovisade i Tabell 2.2. Det måste påpekas att tabellerna 2.1 och 2.2 bygger på enstaka år och enstaka platser och generaliseringen från dessa värden till medelvärden över tid och region är mycket vanskelig. I alla de studerade fallen verkar dock förlusterna av vatten stimulerats mer än tillförseln i en välgödsad gräsvall.

Tabell 2.2 Förändring i markvattenhalt i gödsblad gräsvall (kvalitativ förändring ~2085–1985; 0 = ingen förändring)

	<i>Jan</i>	<i>Feb</i>	<i>Mars</i>	<i>April</i>	<i>Maj</i>	<i>Juni</i>	<i>Juli</i>	<i>Aug</i>	<i>Sep</i>	<i>Okt</i>	<i>Nov</i>	<i>Dec</i>
Halmstad	0-											0
Jönköping	0	0	-	-	+	0-	-	-	-	-	-	0
Skara	0	0	0	-								-0
Örebro	0	0	-									0
Uppsala	0	0	0-	-	-	-	-	-	-	-0	0	0

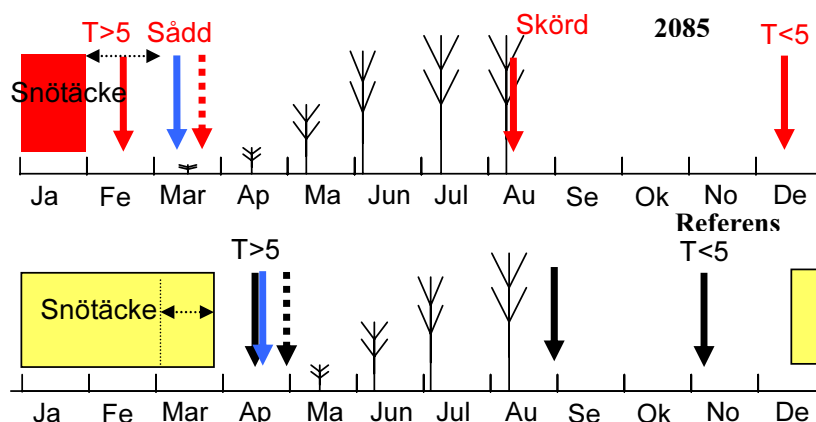
Tidpunkt för skörd

Stråsådens utveckling går snabbare i ett varmt än i ett kallt klimat och snabbare vid lång än kort daglängd. Denna respons på klimatet är ofta sortspecifik och jordbrukaren väljer för området lämpliga

sorter. Det finns fenologiska modeller som kan beräkna utvecklingshastigheter men dessa används sällan i praktiskt jordbruk och finns därför bara kalibrerade för enstaka sorter (se vidare höstsådda grödor). Såtidpunkten påverkar under vilka förhållanden en gröda utvecklas. Sen sådd gör att grödan utvecklas under förhållandevis längre daglängder och varmare väder. Man har också funnit rent empiriskt att tidigare sådd ger tidigare skörd, dock inte i lika stor utsträckning. I Svealand skördas vårkorn i dagsläget i genomsnitt ca 1:a september. Empiriskt har 3 dagars tidigare sådd visat sig motsvara 1 dags tidigare skörd (Pettersson och Eckersten, 2007) vid nutida klimatvariabilitet. Vårbrukets tidigareläggning med ca 45 dagar till ~2085 skulle då motsvara en tidigareläggning av skörden med två veckor. Dessutom borde ett allmänt varmare klimat ge en snabbare mognad av grödan. För höstveten i Svealand beräknades denna effekt till knappt 3 veckor (se Tabell 2.4, nedan). Detta borde vara en överskattning av effekten på vårgrödan eftersom höstgrödan växer under en längre tid. Det är svårt att utifrån detta skatta hur många dagar skörden tidigareläggs; mer än två veckor men mindre än fem. Vi föreslår helt grovt tre veckors tidigareläggning av skörden av den vårsådda grödan.

Odlingsperiod

Figur 2.1 Odlingsperiod för vårkorn i Svealands slättbygder ~2085 (överst) och referens (~1975, 2000; nederst). Pil mellan $T > 5$ och sådd visar sista vårfrost. Den streckade horisontella dubbelpilen indikerar spridningen inom regionen



Sammantaget för Svealands slättbygder startar vegetationsperioden ~2085 i mitten av februari (två månader tidigare än ~1975) (se Fig. 2.1). Sista vårfrosten inträffar drygt en vecka in i mars (en och en halv månad tidigare än ~1975). Upptorkning av marken börjar strax efter mitten av mars och vårbruket kan antas vara i gång runt 25:e mars, en knapp månad tidigare än ~1975. Skörden inträffar drygt en vecka in i augusti (3 veckor tidigare än ~1975).

Sammantaget för alla regioner kommer vegetationsperioden ~2085 att starta vid ganska lika tidpunkt i Götaland och Svealand, dvs. i första halvan till mitten av februari, en månad senare i nedre Norrland och ytterligare en månad senare i övre Norrland, dvs. i mitten av april (Tabell 2.3). Sista vårfrosten sammanfaller ungefär med vegetationsperiodens start i Götaland och övre Norrland, medan den inträffar en månad in i vegetationsperioden i Svealand och en halvmånad i nedre Norrland. Upptorkning av marken kan ske redan i januari Götalands södra slättbygder, i början av februari i mellanbygden medan i norra Götaland och Svealand kan den ske strax efter mitten av mars. Start av vårbruk bedöms bli bestämt av upptorkningen i Götalands mellan- och norra slättbygder till början respektive slutet av mars. För Södra Götaland och övre Norrland föreslår en agrar bedömning en månads tidigareläggning

jämfört med ~1975 vilket betyder i början av mars respektive i andra halvan av april. Skörden bedöms ske i andra halvan av juli i söder, knappt tre veckor senare i Svealand och ytterliggare en dryg vecka senare i norr, dvs. en månad senare än i söder, precis som i dagsläget.

Tabell 2.3 Grovt uppskattade datum för vårkornets odlingsperiod ~2085 i olika regioner i Sverige

	<i>Gss</i>	<i>Gmb</i>	<i>Gns</i>	<i>Ss</i>	<i>Nn</i>	<i>Nö</i>
Start av veg. period T>5	10/2 (20/2*)	10/2	15/2	15/2 (10/3*)	10/3	15/4 (10/4*)
Sista vårfrost	5/2	15/2	15/2	10/3	25/3	10/4
Mättad mark t.o.m.	15/1	1/3	20/3	20/3		
Vårbruk	5/3* (5/4+*)	5/3	25/3	25/3 (20/4+*)	(1/4*)	20/4* (20/5+*)
Skörd	20/7* (5/8+*)			10/8 (1/9+)	(10/8*)	20/8* (5/9+*)

* = H. Fogelfors, SLU pers. komm.; + = ~1975 alt. ~2000

2.3 Odlingsperiod för höstsådda grödor

Tidpunkt för höstsådd

Höstsådden ska ske i god tid innan vegetationsperiodens slut för att växten ska kunna etablera sig och erhålla en viss mängd reservnäring inför vintern. Växten får dock inte ha tillväxt för mycket innan vintern för att inte störa invintringen och göra växten mindre vinterhärdig, samt för att undvika att skadegörare kan frodas i grödan under vintern. Nuvarande såtidpunkt av höstvet i Svealand är ca 15:e september (ca DN 260), dvs. ca 7 veckor innan vegetationsperiodens slut. En agrar uppfattning är att höstsådden redan senarelagts drygt en vecka de senaste årtiondena. Senareläggning av höstsådden följer inte utan vidare senareläggningen av vegetationsperiodens slut. Senareläggningen begränsas nämligen av att den tillgängliga solinstrålningen minskar alltmer framåt hösten, och växtens möjlighet att lagra in tillräckligt med reservnäring tar då längre tid. Senareläggningen av höstsådden kan också begränsas av att markvattenhalterna ökar alltmer framåt hösten. Tidpunkten för höstsådden måste också ta hänsyn till växtskadegörarens effekter på grödan under hösten.

Vegetationsperiodens slut

Vegetationsperioden kommer att förlängas på hösten med knappt sex veckor i Svealand och pågå fram till första halvan av december (Tabell A2.4). Höstsådden skulle alltså kunna senareläggas i motsvarande grad med en viss reduktion pga att ljusförhållandena minskar alltmer framåt hösten. Vi har uppskattat denna förlängning av perioden till en vecka och höstsådden föreslås till andra halvan av oktober för höstvet. Fram till och med oktober bedöms inte markens bärighet begränsas av hög markfuktighet mer än vad det gör i dagsläget, snarare mindre (Tabell 2.2), vilket skulle kunna tillåta höstsådd i oktober.

Förlängningen av vegetationsperioden blir störst i Svealand och södra nedre Norrland och minst i södra Götaland. Följden blir att vegetationsperiodens slut inträffar ungefär samtidigt i Götaland och Svealand men betydligt senare i övre Norrland.

Vinter

Snötäcket ser ut att minska markant och kommer troligen inte att påverka tillväxtens start på våren. Snötäckets varaktighet ~2085 ser ut att kunna bli ungefär en månad i Götaland, Svealand och nedre Norrland, vilket betyder en stor minskning speciellt för nedre Norrland (knappt tre månader). I övre Norrland kan snötäcksperioden minska mindre och bli drygt 3 månader ~2085 (se Tabell A2.5). Enligt observerade förändringar de senaste 23 åren (från ~1975ERA40 till ~1998ERA40) har de föreslagna förändringarna av snötäcket till ~2085 redan skett i Södra Götaland, och till mer än hälften för övriga Götaland. I Svealand har ca en tredjedel av den föreslagna förkortningen redan skett medan det i Norrland inte skett så stora förändringar ännu.

Mildare vintrar kan påverka övervintringen av grödan på olika sätt. Övervintringen gynnas av att risken för köldskador minskar men missgynnas av att den ökade temperaturen ökar respirationen vilket kan utarma och avhärda växten och öka dess känslighet. Klimatscenarierna visar på ökat nettoinflöde av vatten vid markytan från oktober till februari (nederbörd minus avdunstning; Fig. 2.5a). Detta, tillsammans med varma perioder under snöperioden, torde leda till att förekomsten av vattensamlingar på markytan ökar, och om de tillfrysar kan grödorna skadas av isbrännor. I vilken

utsträckning dessa faktorer leder till ökad eller minskad utvintring är mycket svårbedömt.

Start av tillväxt på våren

För de växter som överlever vintern kan tillväxten ~2085 börja tidigt i och med att vegetationsperiodens start kan bli redan i februari i Götaland, östra Svealand och sydligaste delarna av nedre Norrland. I västra Svealand startar den i början av mars och i Norrland blir starten från slutet av februari i de sydligaste delarna (som sagt) till mitten av april i de nordligaste delarna (se avsnittet Vegetationsperiodens start ovan).

Tidpunkt för skörd

Varmare väder påskyndar utvecklingen av stråsädesgrödor som då mognar tidigare, men effekten beror på ljusförhållandena. För höstvetete gynnas utvecklingen av långa dagar. En temperaturökning på vintern påskyndar därför utvecklingen mindre än motsvarande ökning på sommaren. Vi har försökt bedöma effekten av ett ändrat temperaturklimat med en utvecklingsmodell för höstvetete (se t.ex. Hay och Porter, 2006). Vi har avläst temperaturhöjningar för ~2085 från klimatscenarietkartorna och korregerat dem för redan observerad inträffad temperaturhöjning från ~1975Obs till ~1998Obs (SMHI). Som ett exempel har tidpunkten för höstvetets skörd simulerats för Uppsala utgående från observerade dygnsmedeltemperaturer vid Ultuna under en femårsperiod (1996–2000; SLU-data). Skördetidpunkt för ~2085 har simulerats genom att addera den beräknade temperaturhöjningen från 1998Obs till ~2085 till temperaturklimatet 1996–2000 (Tabell A2.6). Den observerade förändringen av temperaturen från ~1975Obs till ~1998Obs var större än den modellerade (ERA40; Tabell A2.6) vilket möjligen innebär en underskattning av $\Delta T(\sim 2085)$ och utvecklingshastigheten i Tabell 2.4.

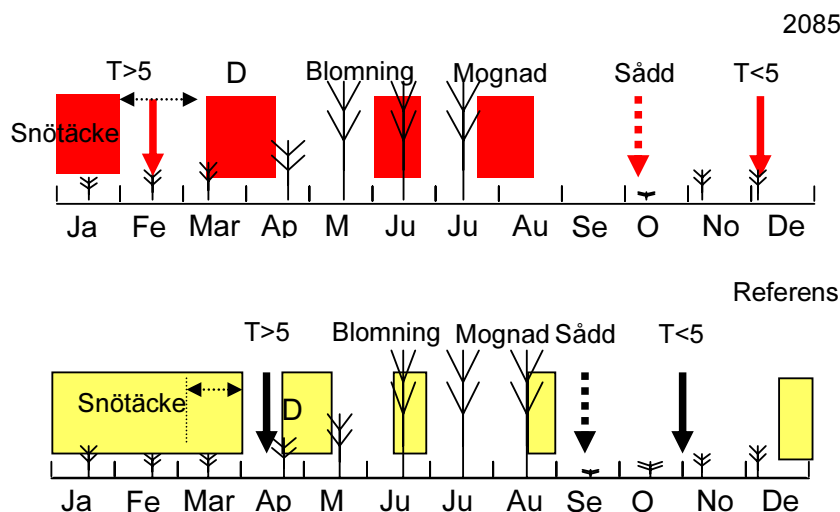
Tabell 2.4 Simulerade utvecklingsstadier för höstvetete dels för basår, dels för basår + ändring av temperatur enligt skillnaden mellan ~2085 och ~1975 klimatsimuleringar (dagnummer från 1:a januari)

	<i>Dubbelringstadiet</i>		<i>Blomning</i>		<i>Mognad</i>	
Basår	DN från 1jan	+ ΔT (~2085)		+ ΔT (~2085)		+ ΔT (~2085)
1996	134	111	187	170	239	229
1997	125	73	181	164	229	213
1998	123	82	183	163	239	227
1999	111	83	170	155	236	201
2000	113	79	170	152	239	213
<i>Medel</i>	<i>121</i>	<i>86</i>	<i>178</i>	<i>161</i>	<i>236</i>	<i>217</i>
	21/4–14/5	14/3–21/4	20/6–5/7	1/6–19/6	17–27/8	20/7–17/8
Variation	(23)	(38)	(17)	(18)	(10)	(28)

Dubbelringsstadiet är ett utvecklingsstadium för axanlaget som växten når på våren och här kan fungera som ett mått på hur mycket tidigare växten ligger i tillväxtfasen vid en klimatförändring. Detta stadium nås i genomsnitt 5 veckor tidigare än nu, blomning 2–3 veckor tidigare och skörd 2–3 veckor tidigare, vilket främst innebär en 2–3 veckors förlängning av vårens tillväxtperiod. Det är också noterbart att spridningen i växtens utveckling på våren mellan år verkar öka för ~2085, troligen till följd av att utvecklingen sker förhållandevis tidigare på våren då daglängden är kortare, och går då långsammare.

Odlingsperiod

Figur 2.2 Odlingsperiod för höstvet i Svealands slättbygder ~2085 (överst) och referens (~1975, 2000; nederst). Den streckade horisontella dubbelpilen indikerar spridningen inom regionen. DR betyder dubbelringstadium



Sammantaget för Svealands slättbygder kommer höstvet ~2085 att sås en vecka in i oktober och tillväxer (alternativt respirera mer än den tillväxer) fram till början av december, vilket är ca en månad senare än i dagsläget. Tillväxten på våren startar i mitten av februari och ca 1:a april (+ 2 veckor) inträffar dubbelringstadiet vilket är ca en månad tidigare än 1998. Blomningen inträffar ca 10:e juni (+ 10 dagar) och mognaden 5:e augusti (+ 1.5 veckor) (Fig. 2.2).

För olika regioner i Sverige bedöms höstsådden ske tidigare i söder än i norr. Höstgrödan tillväxer fram till början av december i både Götaland och Svealand. I nedre Norrland slutar tillväxten i senare delen av november och i övre Norrland i början av november. Tillväxten på våren börjar i februari i Götaland och Svealand, en dryg vecka in i mars i nedre Norrland och i mitten av april i övre Norrland (Tabell 2.5).

Tabell 2.5 Grovt uppskattade datum för höstvetets odlingsperiod ~2085 i olika regioner i Sverige. Värden inom parentes avser andra uppskattningar, se noteringar

	Gss	Gmb	Gns	Ss	Nn	Nö
Höstsådd	15/10* (15/9+*)			10/10 (1/10*)		15/9*
Stopp av veg. period T>5	5/12 (10/12*)	5/12	5/12	10/12 (20/11*)	20/11	5/11 (1/11*)
Mättad mark fr o m		1/12		10/10		
Start av veg. period T>5	1/3 (20/2*)	10/2	15/2	15/2 (10/3*)	10/3	15/4 (10/4*)
Blomning				10/6		
Skörd				5/8		

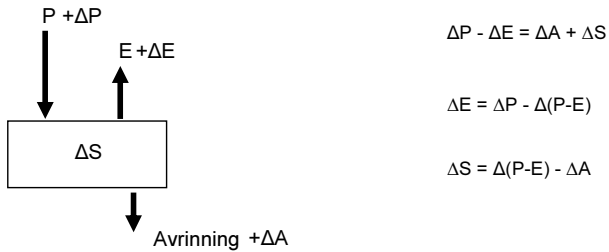
*) H. Fogelfors, SLU pers. komm., +) ~1975 alt. ~2000.

2.4 Vattenbalans

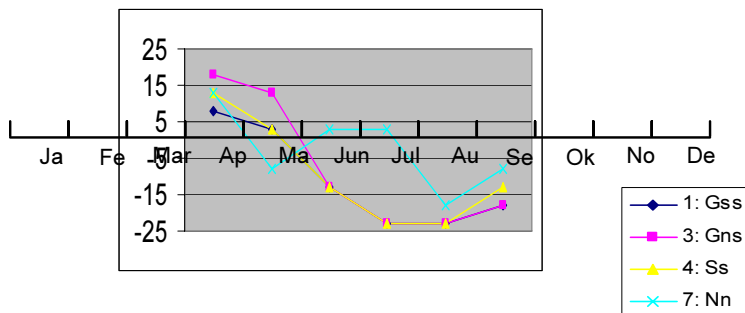
Vattentillgången för en växt bestäms av samspelen mellan nederbörd, avdunstning (inklusive transpiration), avrinning och grödans tillväxt och vattenutnyttjande. Värden på detta kan erhållas genom simulering av grödors tillväxt, vilket dock kan vara komplicerat att utföra på ett korrekt sätt (se avsnittet Vall nedan). För att göra en enklare uppskattning, och igengäld kunna göra bedömningar för fler regioner har vi här valt att se på vattenbalansen och dess enskilda komponenter, som de beräknats av klimatmodellen (dvs. modellen som beräknat klimatscenariet kartorna). Vissa komponenter i vattenbalansen har erhållits direkt från klimatscenariet kartorna (nederbörd och avrinning) och vissa har beräknats som differensen mellan två kartor (avdunstning och markvatten) varvid felet kan fördubblas jämfört med felet i de direkta avläsningarna. Vattenbalansen för mark-växt systemet innebär att förändringar i nederbörd (ΔP) ska fördelas mellan en förändring i avrinning (ΔA), en förändring i avdunstning (ΔE), samt en förändring i mängd markvatten (ΔS). Förändringar av mängden vatten i växten är i dessa sammanhang försumbara. Förändringar i avdunstningen ΔE kan till viss del betraktas som relaterad till tillväxten hos grödan och är i någon mening ett mått på förändringar av denna. Förändringar i avrinningen ΔA ger en uppfattning om hur mycket vatten som rinner igenom markprofilen och som kan utlaka näringsämnen. Förändringar i markvattnet ΔS ger ett mått på fuktighetsförhållandena i marken vilket är betydelsefullt för t.ex.

den mikrobiella aktiviteten och därmed omsättningen av näringsämnen, såsom kväve mineralisering och kvävefixering.

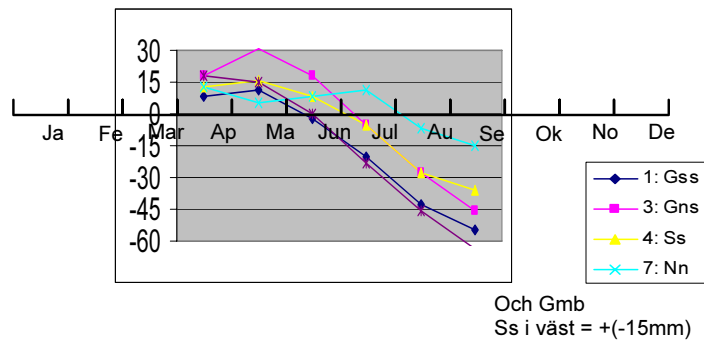
Figur 2.3 Förändringar i nederbörd (ΔP) ska fördelas mellan en förändring i avrinning (ΔA), en förändring i avdunstning (ΔE), samt en förändring i mängden markvatten (ΔS)



Figur 2.4a Förändring av nederbörd ~2085 – ~1975 (ΔP ; mm/månad). Torraste delen av respektive regionen (ej Ss)



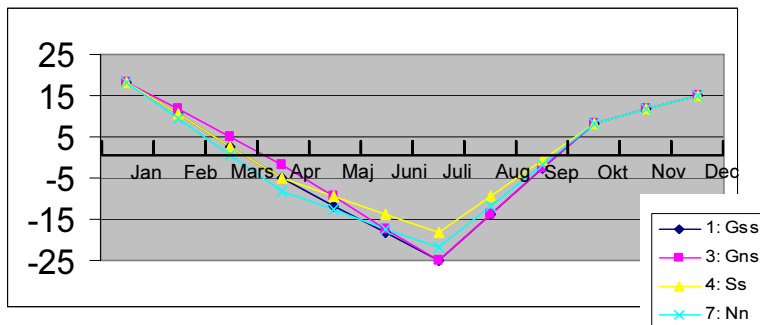
Figur 2.4b Ackumulering av ΔP (mm). Lägsta värden i augusti-september är Gmb, och sedan i tur och ordning uppåt: Gss, Gns, Ss och Nn



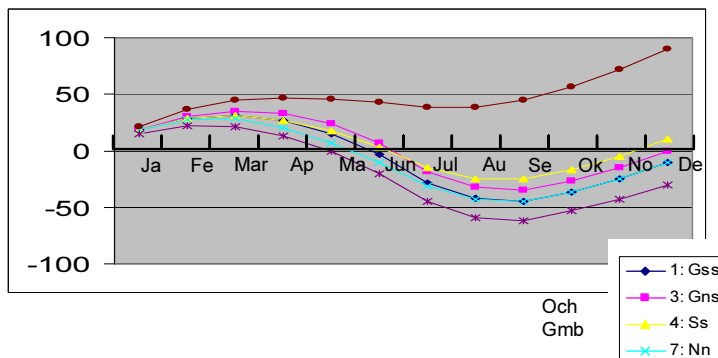
Klimatscenariet kartorna har avlästs för år ~2085, och de mest torra delarna av respektive region har valts ut (dvs. med minsta ökning eller största sänkning av nederbörden), så när som för Svealand, där Värmland inte tagits med därför att förändringarna där varit annorlunda regionen i övrigt. Allmänt har Värmland varit torrare under sommaren än övriga Svealand. För Sverige i allmänhet visar scenarierna att nederbörden ~2085 blir större i april och maj än ~1975, medan juni, juli, augusti och september får mindre nederbörd. I april är ökningen 5–20 mm medan i maj är den mindre (Fig. 2.4a). Minskningen av nederbörden är störst under juli och augusti med 20–25 mm/månad i Götaland och Svealand. Sammantaget leder detta till att nederbörden från april till september minskar minst i Norrland (15mm), näst minst i Svealand (35 mm, utom Värmland 50 mm) och mest i Götalands mellanbygder (65 mm) (Figur 2.4b).

Nettoinflöde vid markytan

Figur 2.5a Förändring av nettoinflödet vid markytan ~2085 – ~1975 ($\Delta(P-E)$; mm/månad). Torraste delen av respektive regionen (ej Ss)



Figur 2.5b Ackumulering av $\Delta(P-E)$ (mm) Lägsta kurvan är Gmb och , och sedan i tur och ordning uppåt: Nn, Gss, Gns, Ss och Nö

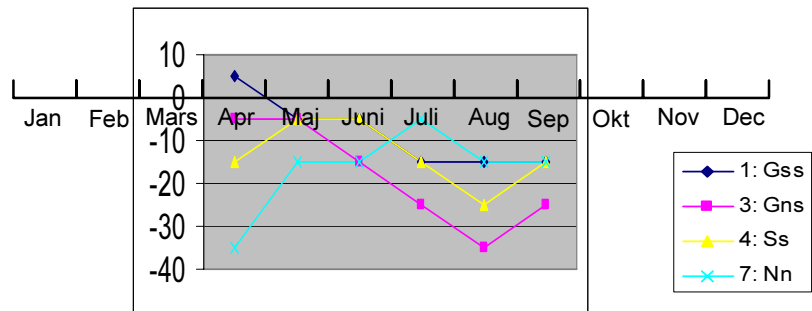


Också avdunstningen påverkas av en klimatförändring och nettoinflödet vid markytan (nederbörd – avdunstning) minskar i Götaland, Svealand och nedre Norrland för hela perioden april till september och minskningen är som störst i juli med ca 25 mm/månad för Götalands mellanbygder och ca 15 mm/månad för Svealand. Övriga delar av året ökar nettoinflödet vid markytan (Fig. 2.5a). Ackumulerat för hela året minskar nettoinflödet med ca 10 mm i Svealand och ca 40 mm i Götalands mellanbygder. För

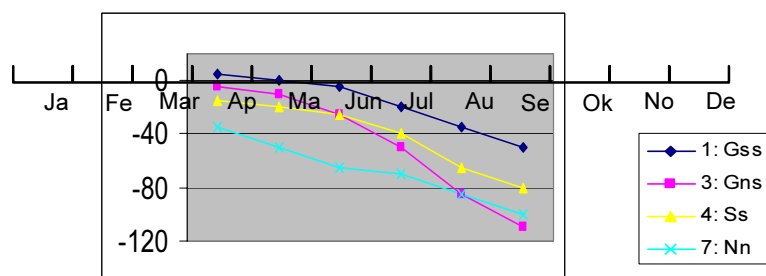
perioden april till september är motsvarande minskningar ca 35 respektive ca 75 mm. Övre Norrland skiljer sig markant från övriga Sverige och får en minskning enbart i juni och juli och för perioden april till september sker ingen ändring jämfört med ~1975 och för hela året ökar nettoinflödet vid markytan med ca 70 mm (Fig. 2.5b).

Avrinning

Figur 2.6a Förändring av avrinningen ~2085 - ~1975 (ΔA ; mm/månad). Torraste delen av respektive regionen (ej Ss)



Figur 2.6b Ackumulering av ΔA (mm). Lägst värde i september är Gns, och sedan i tur och ordning uppåt: Nn, Ss och Gss

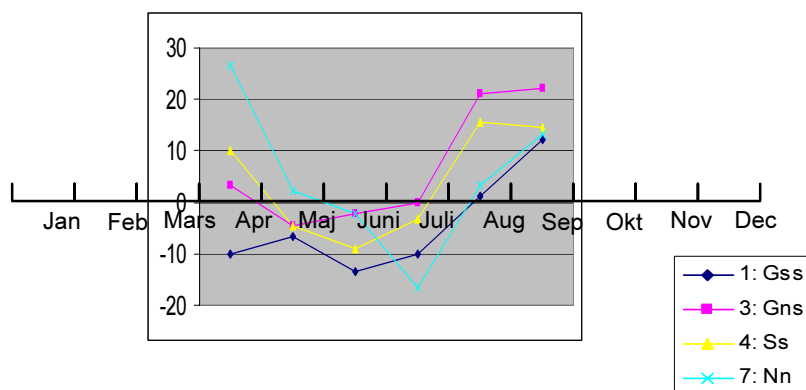


Förändringarna i avrinningen påverkas av förändringarna i nettoinflöde vid markytan och kan antas minska om nettoinflödet minskar och vice versa. Följaktligen minskar avrinningen för alla

månader april till september, med ett undantag för april i Götalands södra slättbygder som uppvisar en svag ökning (Fig. 2.6a). Ackumulerat över hela perioden minskar avrinningen med 50 till 110 mm, minst i Södra Götalands slättbygder och mest i Götalands mellanbygder och nedre Norrland (Fig. 2.6b).

Markvatten

Figur 2.7 Förändring ~2085 - ~1975 av förändring i mängden markvatten (ΔS = skillnaden mellan förändringarna i nettoinflödet av vatten vid markytan ($\Delta(P-E)$) och avrinningen (ΔA)). (mm/månad). Lägst värde i september är Gss, och sedan i tur och ordning uppåt: Nn, Ss och Gns



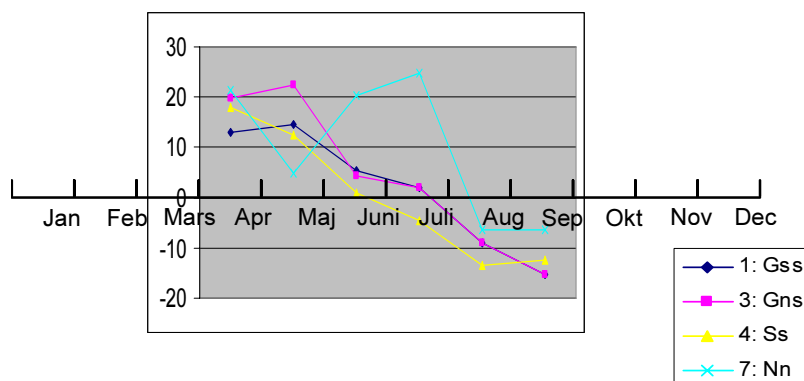
Skillnaden mellan nettoinflödet vid markytan och avrinningen visar hur markvattenförrådet ändrats. Förändringen i denna skillnad från ~1975 till ~2085 kan tolkas på två alternativa sätt. Antigen antar vi att beräkningarna är korrekta, då tyder det på att markvattenförrådet fylls på i april jämfört med ~1975, och mest i nedre Norrland. Under maj, juni och juli torkar marken upp jämfört med ~1975 och i augusti och september sker en större påfyllnad än ~1975. Detta innebär inte att marken behöver vara våtare i t.ex. augusti september ~2085 jämfört med ~1975, utan troligare är att påfyllnaden efter en större upptorkning är större (Fig. 2.7). Sett över hela perioden april till september ser det ut som att det inte blir så stora förändringar i markvattenförrådet (ackumulering av ΔS ; data visas ej). Det blir störst upptorkning (alternativt minst

uppbloötning) i Södra Götaland och minst i nedre Norrland. Övre Norrland får överlägset största uppbloötningen av markprofilen.

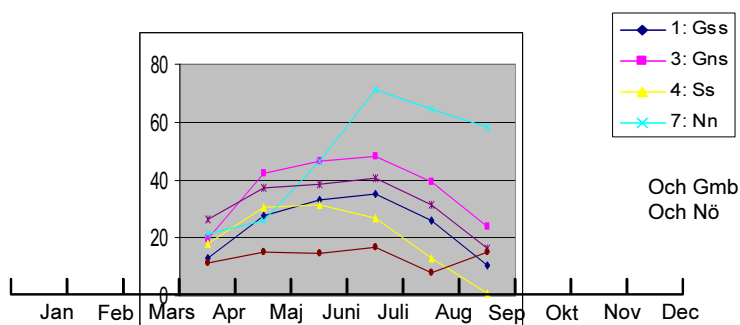
Det andra alternativet att tolka de beräknade förändringarna i markvattenbalansen är att vi antar att det inte ska vara några förändringar t.ex. i april, för att marken är mättad redan idag, och kan inte blir mer mättad. Den beräknade ökningen i markvattenhalt är då ett mått på felet i avläsningen av kartorna, som då skulle kunna uppgå till 25 mm/månad. Kanske ligger sanningen någonstans mitt emellan dessa båda alternativ.

Avdunstning

Figur 2.8a Förändring av avdunstningen ~2085 – ~1975 ($\Delta E = \Delta P - \Delta(P-E)$; mm/månad). Torraste delen av respektive regionen (ej Ss)



Figur 2.8b Ackumulering av $\Delta(E)$ (mm). Lägsta värde i juli är Nö, och sedan i tur och ordning uppåt: Ss, Gss, Gmb, Gns och Nn



Slutligen kan vi utifrån skillnaden mellan förändringarna i nederbörd respektive nettoinflödet vid markytan beräkna avdunstningen. Avdunstningen ökar i april och maj och även lite i juni. I juli är avdunstningen i stort sett oförändrad jämfört med ~1975 och i augusti och september minskar den (Fig. 2.8a). Ackumulerat fram till juni är det frågan om en ökning med 30 mm för Södra Götaland och Svealand till 45 mm för Götalands mellanbygder. För hela perioden april till september är det bara Svealand som inte får någon ökning i avdunstning medan Götaland får öknings på 10 till 25 mm. Norrland faller inte in i det allmänna mönstret och nedre Norrland får en kraftig ökning av avdunstningen i juni och juli och sammanlagt för hela perioden blir det 60 mm. Övre Norrland får en ökning av avdunstningen med 15 mm i april men därefter inga förändringar jämfört med ~1975 (Fig. 2.8b).

Avdunstningen ökar främst i början av säsongen vilket antyder att produktionsökningarna blir högre i grödor som tillväxer tidigt på säsongen och i vallens 1:a skörd. Höstsådda grödor torde gynnas framför vårsådda grödor och speciellt de som skördas sent, t.ex. vårvete, eller de som är vattenstresskänsliga t.ex. havre. Klimat-scenariernas simuleringar av avdunstningen representerar förändringar i avdunstning från stora områden där jordbruksarealen bara är en del. Åkermark har en större vattenhållande förmåga än mark i allmänhet, och därför kanske beräkningarna underskattar avdunstningen från jordbruksmarken vid vattenstress, speciellt i områdena med stor andel skogsmark, såsom Götalands mellanbygder och nedre Norrland, samt kanske speciellt Svealand vars åkermark har hög lerhalt och vattenhållande förmåga.

2.5 Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov

Bedömningen av hur vattentillgången kan komma att ändras i ett förändrat klimat inbegriper ett antal tolkningsproblem. Det första är, som redan sagts, i vilken utsträckning simuleringarna av avdunstning i klimatscenarierna (Fig. 2.8) representerar förändringar i avdunstning från åkermark som har en större vattenhållande förmåga än mark i allmänhet och andra växter. Det andra problemet är i vilken utsträckning förändringarna i avdunstning motsvarar förändringar i transpiration, och det tredje problemet är hur tillväxtförändringar är kopplade till transpirationsförändringar.

Den senare faktorn brukar kallas vattenutnyttjandeeffektiviteten och har i experiment visat sig såväl kunna öka som minska vid en ökad vattenstress.

För att försöka bedöma effekten på tillväxten av förändrade klimatförhållanden har vi använt en tillväxtmodell för gräsvall som testats på fältexperiment i Götaland och Svealand (Eckersten m fl., 2004, in press; Torssell m fl., 2007). Modellen simulerar vädrets effekter på processer för tillväxt, biomassans allokering och bladytans utveckling, återväxt, förnafall, transpiration, markytavdunstning, interceptionsavdunstning, infiltration och perkolation, kappilär uppstigning, avrinning, samt kol-kvävedynamiken i marken och växtens upptag av kväve. Modellen är byggd på samma principer som SOIL-SOILN modellerna (Jansson och Halldin 1979, Johnsson m.fl. 1987, Eckersten och Jansson 1991) och Coup modellen (Jansson och Karlberg, 2001) och är utvecklad som en förenklad version av dessa modeller.

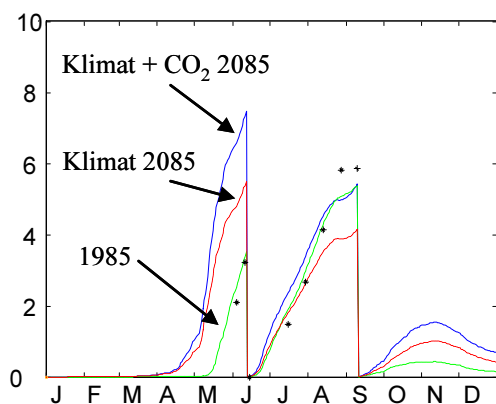
Fem lokaler med odling av gräsvall för vilka modellen testats har studerats: Halmstad (Tönnersa, moig sand), Jönköping (Klevarp, sandig mo), Skara (Lanna, mellanlera), Örebro (Karlslund, mellanlera) samt Uppsala (Kungsängen, styv lera). Effekter av de föreslagna klimatförändringarna (definierade som skillnader i simulerat klimat ~2085 och ~1975) har utvärderats genom simuleringar för några specifika år under perioden 1985–88. Till de observerade dagliga väderförhållandena under dessa år, vilka är indata till tillväxtmodellen, har vi adderat de absoluta förändringarna i temperatur och multiplicerat de relativa förändringarna i nederbörd från klimatförändringsscenarierna (Tabell A2.7a och b, Tabell A2.8a och b). Vi har utvärderat vad effekterna av de föreslagna klimatförändringarna kan bli på vallproduktionen. Vi har testat effekterna av dels förändrad lufttemperatur och nederbörd, dels samma förändringar men också effekter av ökad CO₂-halt (dvs. vi har ökat klyvöppningsmotståndet med 20 % och ökat strålningsutnyttjandeeffektiviteten med 20 %).

Simuleringarna med förändrat klimat kan betraktas som en extrapolering av tillväxten hos dessa observerade fältexperiment in i ett förändrat klimat om vi utgår från rådande teorier om hur klimatet påverkar tillväxten. Det måste dock påpekas att simuleringsresultaten måste tolkas med stor försiktighet. Först och främst har inte modellen testats för klimatförändringssituationer, och för betydande torkstress. Dessutom gäller simuleringarna för specifika lokaler, med specifika markegenskaper och väderför-

hållanden. Även om markegenskaperna i någon mening är karaktäristiska för regionen så är extrapoleringen till medelförhållanden för hela regionen och över tiden mycket osäker. Simuleringarna måste därför ses som ett enstaka urval i den stora datamängd som ska karaktärisera "medelvallen". Modellen simulerar inte effekten av växtens kvävehalt på tillväxten. Vi har därför antagit att växten har samma kvävekonzentrationsnivåer som i dagsläget (1985–88). Utvärderingarna inbegriper ibland både 1:a och 2:a årsvall, även om vi försökt fokusera på 1:a året för att minska inverkan av otestade simuleringar av övervintringsförhållanden i ett förändrat klimat.

I stora drag orsakade den rena klimatförändringen en mycket högre tillväxt under första tillväxtperioden, främst orsakat av en tidigareläggning av tillväxtstarten på våren med en och en halv månad (Fig. 2.9; i praktisk växtodling orsakar detta en tidigareläggning av första skörden, se vidare nedan). Från mitten av juni till augusti (2:a skörd i 1985-års system) orsakade climateffekten en minskning av produktionen av biomassa. Introduktion av CO₂-effekten var lika betydelsefull som climateffekten i 1:a skörden med den i 2:a skörden kompenserade för den av vattenstress orsakade minskning i biomassan. Tillväxten under hösten påverkades positivt av både klimat och CO₂-effekten, ungefär som tillväxten under 1:a-skörden (Fig. 2.9).

Figur 2.9 Simulerad ovanjordisk biomassa hos en gödslad gräsvall på lerig jord i Uppsala (ton torrvikt/ha), dels 1985, dels ~2085 med och utan koldioxideffekt. Punkter är observerade värden 1985



Allmänt blev det en stor tillväxtökning i samtliga fall, undantaget det ogödslade beståndet i Jönköping som ett år uppvisade en stor minskning i andra skörden (Tabell 2.6a och b). Den relativa skördeökningen var i medeltal dubbelt så stor för de ogödslade bestånden (ca 85 %; 105 % i 1:a skörden och 55 % i 2:a skörden) som för de gödslade bestånden (ca 45 %; 80 % i 1:a skörden och 15 % i 2:a skörden). Detta orsakades främst av en högre ökning i 2:a skörden för de ogödslade bestånden vilket kan bero på att dessa pga lägre tillväxtnivåer också hade lägre transpiration och utsattes för en lägre grad av vattenstress. Men vi måste komma ihåg att detta resultat förutsatte att kvävekoncentrationen i växten kunde hållas på samma nivå som 1985 (eller mer korrekt uttryckt, att kvävekoncentrationens effekt på tillväxten förblir oförändrad). För de ogödslade bestånden är det inte troligt att en ökad mineralisering kan komma att förse växten med den extra mängd kväve som skulle behövas för att upprätthålla kvävekoncentrationen vid dagens nivåer. Detta skulle i så fall leda till att simuleringen i Tabell 2.6b överskattar biomassan för ett ogödslat bestånd ~2085 (se vidare avsnittet Kvävebehov, nedan).

De relativa skördeökningarna varierade kraftigt mellan olika platser och var överlag störst i Örebro, och minst för Jönköping, och speciellt mycket varierade de ogödslade bestånden. I Jönköping verkar andra skörden ha varit utsatt för en stark vattenstress, som t o m orsakat en skördeminskning för den ogödslade vallen (Tabell 2.6b). Den stora variationen i skördeförändringar för dessa mycket begränsade antal simuleringar antyder ett behov av ett mycket stort antal simuleringar för att erhålla pålitliga medelvärden liksom karaktäristiska extrema förhållanden.

Tabell 2.6a Simulerad skörd (ton torrsubstans per hektar) för gödslad gräsvall för fem lokaler i Sverige och relativa förändringen i skörd till ~2085 inbegripet koldioxideffekter

	1:a skörd		2:a skörd		Totalt per år	
	1985–88 (ton ts/ha)	Δ~2085 (%)	1985–88 (ton ts/ha)	Δ~2085 (%)	1985–88 (ton ts/ha)	Δ~2085 (%)
Halmstad (moig sand)	4.7	+65	4.6	+20	9.3	+42
Jönköping (sandig mo)	5.0	+75	9.2	+0	14.2	+27
Skara (mellanlera)	4.4	+70	6.3	+15	10.7	+36
Örebro (mellanlera)	6.0	+105	7.3	+35	13.3	+66
Uppsala (styv lera)	4.0	+90	6.4	+15	10.4	+42

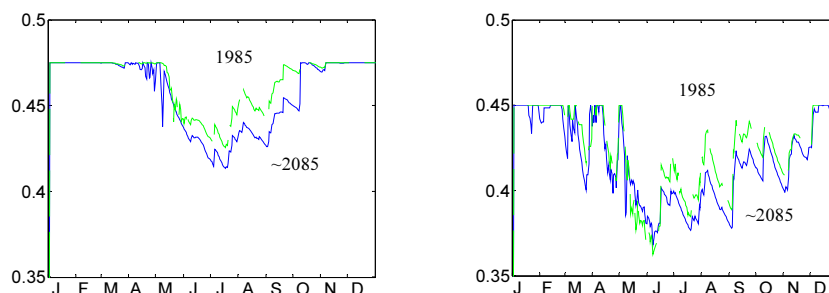
Tabell 2.6b Simulerad skörd för ogödslad gräsvall för fem lokaler i Sverige och relativa förändringen i skörd till ~2085 inbegripet koldioxid-effekter

	<i>1:a skörd</i>		<i>2:a skörd</i>		<i>Totalt per år</i>	
	1985–88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)	1985–88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)	1985–88 (ton ts/ha)	Δ ~2085 (%)
Halmstad	2.0	+105	0.3	+97	2.3	+105
Jönköping	4.4	+20	8.8	-20	13.2	-5
Skara	2.8	+80	1.5	+10	4.3	+56
Örebro	2.0	+170	1.2	+135	3.2	+158
Uppsala	2.1	+155	2.3	+55	4.4	+103

Vattenbehov

Tillväxten påverkar vattenförhållandena. Modellen simulerade kompletta vattenbalanser på dygnsbasis. På årsbasis var bilden den att allmänt orsakade klimatförändringarna en ökning av nederbörden 5–25 %. Detta stimulerade avrinningen som ökade för alla platser (5–50 %) utom för Örebro (-10 %) vars nederbörd ökade minst. Avdunstningen stimulerades av ökad temperatur och tillväxt, en ökning som dock hämmades av det ökade vattenutnyttjande effektiviteten vid förhöjd CO₂-halt. Avdunstningen ökade för alla platser (20–75 mm/år; 5–20 %) och mest för Örebro. Det var alltså en stor skillnad mellan platser vad avser hur den ökade nederbörden allokerades mellan avdunstning och avrinning på årsbasis. Allmänt ökade dock förlusttermerna i vattenbalansen ~2085 förhållandevis mer än nederbörden och markens relativa vatteninnehåll blev i de flesta fall lägre ~2085 än 1985, dvs. marken blev genomgående torrare (Fig. 2.10). Stora delar av perioden från december till mars var hela markprofilen i praktiken mättad. Ett ökat nederbördsöverskott under denna tid kan inte göra marken nämnvärt mer vatteninnehållanden, utan nederbörden orsakar i praktiken ökad avrinning. För torrperioder under denna period kan dock marken tillfälligt torka upp mer ~2085 än 1985 pga ett varmare klimat (Fig. 2.10). Effekten av ökad CO₂-halt på markens vatteninnehåll studerades separat och var mycket liten, vilket tyder på att stimuleringen av avdunstningen pga ökad tillväxt neutraliserades av att växten utnyttjade vattnet effektivare vid ökad CO₂-halt i atmosfären p.g.a. ökat klyvöppningsmotstånd.

Figur 2.10 Simulerad markvattenhalt (-) för 1985 och ~2085 för en gödslad gräsvall på lerig jord i Uppsala (till vänster) och en ogödslad gräsvall på sandig mo i Jönköping (till höger)



Vallsimuleringarna beräknade den potentiella transpirationen, definierad som transpirationen från vallen om markvattentillgången vore optimal för växtens vattenbehov. Också den faktiska transpirationen, som begränsas av låg marktemperatur och låg markvattenpotential, beräknades. Vi har definierat förändringen i vattenstress som förändringen i skillnaden mellan den potentiella och faktiska transpirationen. För det gödslade beståndet i Uppsala (styv lera) 1985 ökade vattenstressen till år ~2085 med 80 mm/år. Ökningen var störst i maj (50 mm) och avtog under sommaren (15 mm i juni, 10 mm i juli och 5 mm i augusti). För att ge ett exempel på betydelsen av vädervariationer mellan år gjordes samma beräkning för 1986. Vattenstressen ~2085 ökade då med 45 mm jämfört med 1986 och fördelade sig mest på maj (30 mm) men sedan varierade vattenstressökningen över sommaren (juni -5, juli +10 och augusti +10 mm/månad). Också plats spelade roll. För Jönköping (sandig mo och 1986 som basår) ökade vattenstressen med bara 15 mm fördelat på maj -5 mm, juni -10, juli +10 och augusti +20 mm/månad. År 1985 i Jönköping hade ett liknande mönster som Uppsala 1985. Noteras bör dock att årsnederbörden var något över normalt dessa år (nederbörden i Uppsala 1985 och 1986 var 565 respektive 535 mm/år mot normalt 530 mm/år (1965–94; Per Nyman SLU, pers. komm.).

Sammantaget tyder simuleringarna på att för dessa få fältexperiment kan avdunstning och avrinning komma att öka mer än nederbörden vid en klimatförändring, vilket leder till att markvattenhalterna sjunker. Hur nederbördsökningen kommer att

fördela sig mellan avdunstning och avrinning verkar vara mycket olika från fall till fall och det kräver en djupare analys för att förstå orsaken till detta. Simuleringarna tyder också på att det kan uppstå en ökad vattenstress ~2085 som är något större än avdunstningsökningen. Hur vattenstressen kommer att fördela sig inom året verkar kunna skilja mycket mellan år. En eventuell bevattning av grödan för att kompensera för grödans vattenstress skulle öka tillväxten ännu mer än vad som redan blev fallet utan bevattning (Tabell 2.6a).

Variation

Dessa få simuleringar kan ses som en extrapolering av ett mycket fåtal fältexperiment och kan inte ge en bild av en allmän nivå på förändringar av avdunstningen, och det går inte heller att uttala sig om hur representativa dessa värden är för extrema år. För detta behövs en mycket mer omfattande analys. Gräsvallssimuleringarna utvärderar effekter av månadsvis förändring av nederbörden för flera kvadratmil stora områden. Allmänt bedöms nederbörden under perioden juli-september minska i Götaland och Svealand. Effekten av detta skulle alltså kunna vara ett ökat bevattningsbehov med 15–80 mm (för några enskilda fall). Om vi dessutom betänker att denna mindre mängd nederbörd faller i form av intensivare nederbörd och därmed under en kortare tidsrymd borde vattenstressen snarare förstärkas än försvagas jämfört med de simulerade värdena, även om marken har en betydande buffrande effekt. Denna intensivare nederbörd kan också indikera en ökad andel nederbörd i form av skurar, vilket skulle kunna tyda på en ökad skillnad i nederbörd mellan enskilda lokaler jämfört med i dagsläget, vilket skulle innebära att vissa lokaler skulle kunna få betydligt större vattenstress, och andra lokaler betydligt mindre vattenstress, än de simulerade värdena. Detta torde leda till att problemen med minskande vattentillgång blir större lokalt än regionalt. För att kvantifiera denna effekt behövs dock att ovan gjorda simuleringar görs för många, många fler platser, år och grödor och att något mått på variabilitet mellan enskilda lokaler beaktas.

Kvävebehov

En effekt av klimatförändringarna är att vattenhalten i marken sjunker och om den sjunker under en viss nivå påverkas den mikrobiella aktiviteten negativt, medan ökad temperatur alltid påverkar den positivt. Modellberäkningarna har visat att den positiva effekten av ökad temperatur och mängd färskt dött organiskt material är väsentligt större än den negativa torkeffekten, räknat på årsbasis och att den årliga kvävemineraliseringen ökar markant. Modellen medger ingen fullständig kvävesimulering (även att kvävebalansen är sluten), eftersom tillväxten inte är dynamiskt kopplad till kvävetillgången. I en korrekt simulering skulle en eventuell brist på kväve hämma tillväxten och växtens storlek och därmed minska kvävebehovet. Om kvävebehovet då blir lägre än tillgången på kväve skulle detta påverka kväueupptaget. I denna studies simuleringar har kvävebehovet dock förblivit stort.

De simulerade ökade skördarna för ~2085 förutsätter alltså att växtens näringsbehov tillgodoses lika bra som 1985. I verkligheten är det inte säkert att så blir fallet. Den ökade tillväxten vid en klimatförändring skapar ett ökat kvävebehov, och en beräkning av differensen mellan ökningen i växtens kvävebehov och ökningen i kvävemineraliseringen är ett sätt att kvantifiera ökningen i kvävebrist. Vi har gjort denna analys för det gödslade beståndet (tillförd kväve var $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$). Vi har skattat växtens behov som den mängd kväve som behövs för att ge skörden en kvävekoncentration av $0.025 \text{ g N per g torrs substans}$ (15.6 % råprotein), vilket motsvara de koncentrationer som uppmättes för 1985 (Tabell 2.7).

Tabell 2.7 Förändrat kvävebehov för en gödslad gräsvall vid ett förändrat klimat fram till ~2085 jämfört med 1985, om vi antar att N-koncentrationen i växten ska förbli på 1985-års nivå. (1 årig vall)

	Ökat ovanjordiskt N behov (kg N/ha/år) Δ ~2085	Ökad mineralisering (kg N/ha/år) Δ ~2085	Underskott (kg N/ha/år)* Δ ~2085
Halmstad	105	15	90
Jönköping	90	95	-5
Skara	145	25	120
Örebro	115	15	100
Uppsala	115	50	65

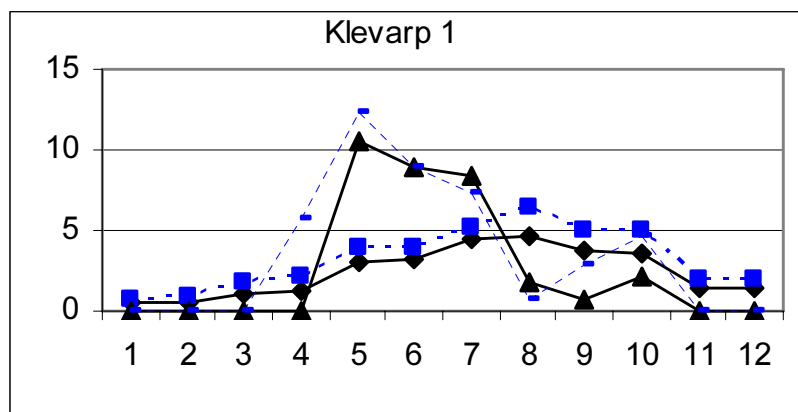
* Notera att ev. underskott för rotsystemet inte ingår.

Kvävebehovet var i medeltal fem gånger större i första än i andra skörd och totalt för året ökade behovet med 110 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Mineraliseringen ökade med i genomsnitt 40 kg N ha⁻¹ år⁻¹ (variationen mellan platser var 15 till 95 kg N ha⁻¹ år⁻¹; Tabell 4), vilket alltså ej täckte det ökade behovet, utan ett underskott uppstod på i medeltal 70 kg N ha⁻¹ år⁻¹. Underskottet varierade mellan olika platser från 40 till 120 kg N ha⁻¹ år⁻¹, Tabell 2.7, och mellan enskilda år från överskott på 40 till underskott på 200 kg N ha⁻¹ år⁻¹, data visas ej). Ökningen av mineraliseringen trots den torrare jorden förklaras av ökad temperatur och större mängd nedbrytbart material. En närmare analys av perioden januari till mars tydde på att ökningen i mineraliseringen till ~2085 något lite översteg ökningen i växtens kvävebehov, medan mönstret i april blev det motsatta och ökningen av kvävebehov kraftigt översteg ökningen i mineraliseringen, och i maj likaså. Därefter var mönstret olika för Jönköping och Uppsala. I Uppsala översteg ökningen av växtens kvävebehov ökningen av mineraliseringen under resten av året, utom i december. I Jönköping ökade behovet och mineraliseringen mer lika och dessutom var behovet mindre än mineraliseringen i augusti, vilket förstärktes för ~2085. (Fig. 2.11–12).

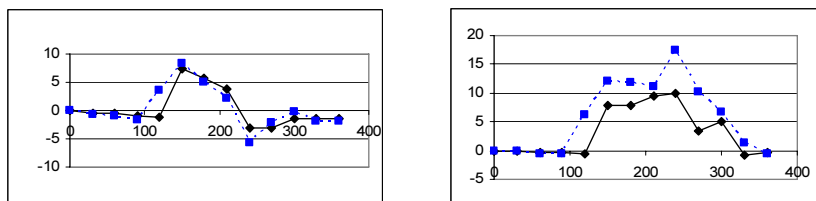
Sammanfattningsvis vill vi dock påminna om att beräkningarna är osäkra därför att det saknas kalibreringsdata för dessa förhållanden och för att tidsanpassningen mellan mineralisering, växtupptag och utlakning är känslig för hur växtdynamiken simuleras och hur markprofilen är representerad. En bra analys av detta kräver ett noggrant modelleringsarbete vilket inbegriper jämfö-

relser med observerade data. Dock tydde vår grova analys på att kvävemineraliseringen ökar, men inte i samma omfattning som den ovanjordiska tillväxtens ökning skulle behöva kväve för att nå dagens proteinhalter. Underskottet varierade från i stort sett noll till $120 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$ för den ovanjordiska biomassan i ett bestånd som gödslats med $200 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ år}^{-1}$. Eventuell ökad gödselmängd skulle dessutom behöva täcka rotbiomassans ökade behov och eventuell ökning av kväveförluster. Från april och framåt ökade växtens kvävebehov mer än mineraliseringen, vilket indikerar ett ökat behov av gödselkväve, alternativt en minskad risk för utlakning. På hösten visade exemplen att ökningen av kvävebehovet kan både vida överstiga och vara mindre än ökningen i mineraliseringen, vilket antyder att tidpunkt för skörd på hösten kan ha ett inflytande på kväveutlakningen på hösten.

Figur 2.11 Växtens kvävebehov (övre linjerna mitt i sommaren) och kvävemineraliseringen under ett år i Jönköping. Helden linje = 1985, Streckad linje = ~2085. Enheter för x-axeln är månad och för y-axeln ($\text{g N m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$)



Figur 2.12 Kvävebehov: Skillnaden mellan växtens kvävebehov och mineralisering ($\text{g N m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$) under ett år. Till vänster Jönköping och till höger Uppsala. Heldragen linje = 1985, Streckad linje = ~2085. Enheter för x-axeln är dagnummer och för y-axeln ($\text{g N m}^{-2} \text{ mån}^{-1}$)



Klövervallar och blandvallar (klöver och gräs) skiljer sig från rena gräsvallar i det att de kan försörja sitt kvävebehov genom fixering av atmosfäriskt kväve. Rent spekulativt skulle en klövervalls biomassaproduktion och vattenbalans principiellt kunna reagera på en klimatförändring på ett liknande sätt som vår gödslade gräsvall när vattensituationen är relativt god. Det varmare klimatet och ökade tillväxten skulle gynna kvävefixeringen och kvävekoncentrationen i växten skulle kunna vara fortsatt hög, precis som vi antog för gräsvallen i simuleringarna. Men vid ökad torkstress skulle inte bara tillväxten hämmas för klövervallen utan också kvävefixeringen. Det är oklart hur detta skulle kunna förstärka begränsningen i tillväxten jämfört med bara vattenstressens direkta effekt på tillväxten.

Alternativa skördeintervall

Det ovan beskrivna 2-skördesystemet (1:a skörd 12:e juni och andra skörd 15:e september) är redan i dag olämpligt med hänsyn till foderkvalitet och ekonomi. Första skörden har i allmänhet tidigarelagts för att betydelsen av högt energiinnehåll har ökat i jämförelse med betydelsen av hög biomassa. Skördetillfället bestäms av en optimering mellan högt energiinnehåll vid tidig skörd och en hög biomassa vid sen skörd. Eftersom energiinnehållet per kg i princip minskar med ökad biomassa innebär den ökade tillväxten för ~2085 att skördetillfällena tidigareläggs för att få motsvarande kvalitet som idag. För att få en uppfattning om hur mycket tidigare det kan bli frågan om ser vi i Fig. 2.9 att biomassa-

tillväxten ligger ca 5 veckor före ~2085 jämfört med 1985. Vi simulerade också ett 3-skördesystem för Uppsala med tre ungefär lika stora skördar. Vattenbalanstermerna förblev i stort sätt oförändrade jämfört med 2-skördesystemet.

2.6 Sammanfattande diskussion

Vårgröda: Vegetationsperioden ~2085 bedöms starta vid ganska lika tidpunkt i Götaland och Svealand, dvs. i första halvan till mitten av februari, en månad senare i nedre Norrland och ytterligare en månad senare i övre Norrland, dvs. i mitten av april. Sista vårfrosten sammanfaller ungefär med vegetationsperiodens start i Götaland och övre Norrland, medan den kommer en månad in i vegetationsperioden i Svealand och en halvmånad i nedre Norrland. I ett mycket fåtal simuleringar antydde tidvis upptorkning av marken redan i januari Götalands södra slättbygder, i början av mars i mellanbygden medan i norra Götaland och Svealand kan detta ske strax efter mitten av mars. Start av vårbruk bedöms till början av mars i södra Götaland och i Götalands mellanbygder, och i slutet av mars i norra Götaland och Svealand, i andra halvan av april i övre Norrland. Skörden bedöms ske i andra halvan av juli i söder, knappt tre veckor senare i Svealand och ytterligare en dryg vecka senare i norr, dvs. en månad senare än i söder.

Till ~2025 har största delen (upptill 80 %) av tidigareläggningen av vegetationsperioden till ~2085 redan skett för Götaland medan för Svealand mindre än hälften. För nedre Norrland är denna tendens till långsammare förändringar ännu tydligare (två veckor). För södra delarna av övre Norrland bedöms däremot hela förändringen redan skett till ~2025. (Tabell A2.2). Om man jämför med observerade förändringar som redan skett under en 23-årsperiod (~1975ERA40 till ~1998ERA40), dvs. tar skillnaden mellan medelvärden för perioden 1991–2005 och perioden 1961–1990, så finner man att de förutsedda förändringarna redan inträffat för sydligaste Götaland, medan tidigareläggningen bara har varit en knapp vecka i övriga Sverige. I inre Götaland och södra övre Norrland har vegetationsperioden start faktiskt senarelagts från ~1975 till 1998 (Tabell A2.2).

Höstgröda: Hur tidpunkten för höstsådd kommer att påverkas är oklart men troligen senareläggs den jämfört med idag. Höst-

grödan tillväxer till början av december i både Götaland och Svealand. I nedre Norrland slutar tillväxten i senare delen av november och i övre Norrland i början av november. Tillväxten börjar igen i februari i Götaland och Svealand, en dryg vecka in i mars i nedre Norrland och i mitten av april i övre Norrland. För Svealand innebär detta att tillväxten startar ca en månad tidigare än ~1975 och att skörden tidigare läggs med ca tre veckor jämfört med idag. Framtill ~2025 har överlag ca en tredjedel av förlängningen av vegetationsperioden på hösten redan skett; betydligt mer i mellersta och västra Götaland och betydligt mindre i övre Norrland (Tabell A2.4). Den observerade redan inträffade förändringar från ~1975ERA40 till ~1998ERA40 visar dock på en liten förkortning av vegetationsperioden på hösten, undantaget vissa delar av Svealand och övre Norrland.

Tillväxt: Med hjälp av en simuleringsmodell simulerades hur tillväxten för ett fåtal vallodlingslokaler i Sverige kan komma att ändras vid en klimatförändring vid några specifika väderförhållanden. Vid en klimatförändring ökade vallens tillväxt i 1:a skörden markant. För ~2085 var den relativa skördeökningen i medeltal dubbelt så stor för de ogödslade bestånden (ca 85 %; 105 % i 1:a skörden och 55 % i 2:a skörden) som för de gödslade bestånden (ca 45 %; 80 % i 1:a skörden och 15 % i 2:a skörden). Detta orsakades främst av lägre tillväxt- och transpirationsökningar för de ogödslade bestånden varvid de utsatts för en lägre grad av vattenstress än de gödslade bestånden. Detta resultat förutsatte att kvävekoncentrationen i växten kunde hållas på liknande nivå som 1985. I fallet med de gödslade bestånden kan detta regleras med gödsling, men för de ogödslade bestånden tydde kvävesimuleringarna på att ökad mineralisering inte kunde förse växten med denna extra mängd kväve fullt ut och de verkliga tillväxtökningarna i de ogödslade bestånden bedöms bli betydligt lägre än de simulerade värdena. Som en följd av tillväxtökningen kommer skörden att tidigare läggas och för den gödslade vallodlingen i Uppsala var det frågan om i storleksordningen en månad.

De föreslagna skördeökningarna stöds av simuleringar gjorda med markanvändningsmodellen ACCELERATES som använt tillväxtmodellen ROIMPEL för att skatta hektarskördeförändringar huvudsakligen som en funktion av ändrade vattenförhållanden (se avsnitt 1.4 ovan). Utgående från klimatförändrings-scenariot med modellen HadCM3 för A2 har dessa beräkningar för ~2050 föreslagit en ökning av vallens tillväxt med 20 % i södra och

35 % i mellersta Sverige jämfört med 2000 (se Tabell 1.17). Dessa odlingar har antagits gödslas på liknande sätt som i våra simuleringar för de gödslade bestånden, dvs. så att den kvävebegränsande effekten på tillväxten förblivit densamma som under dagens förhållanden. Det är dock möjligt att deras vall avser blandvall (gräs och kvävefixerande klöver) istället för gräsvall, vilket dock torde vara av mindre betydelse under antagandet om gödslingen. Deras simuleringar visar på ökande hektarskördar för samtliga undersökta grödor (Tabell 1.17).

Vattenbehov: Samma simuleringar för samma enstaka vallodlingslokaler i Sverige och år, som för tillväxten, tydde på att avdunstningen och avrinningen kan komma att öka mer än nederbörden på årsbasis vid en klimatförändring och att markvattenhalterna därvid sjunker. Avdunstningen i vallsimuleringarna ökade med 20–75 mm/år. Klimatmodellen (dvs. modellen som simulerat klimatscenarierna) föreslog en ökning av avdunstningen under perioden april till september med 10–60 mm/6mån och är alltså i samma storleksordning som de enstaka simuleringarna för vallen med tanke på att mest avdunstning sker på sommaren. Vi borde dock förvänta oss att klimatmodellens simuleringar gav lägre avdunstningsnivåer eftersom de representerar förändringar i avdunstning från stora områden där jordbruksarealen bara är en del, och att åkermarken har en större vattenhållande förmåga än mark i allmänhet. Vid jämförelse av simuleringar med klimatmodellen och vallmodellen måste vi tänka på att vallsimuleringarna inte bara representerar enstaka marktyper utan också bara enstaka års väderförhållanden.

Hur nederbördsökningen kommer att fördelas mellan avdunstning och avrinning verkar vara mycket olika från fall till fall och det kräver en djupare analys för att förstå orsaken till detta. Slutsatsen blir att det är vanskligt att med få observationspunkter uttala sig om en allmän förändring av fördelningen mellan avdunstning och avrinning.

Avdunstningen ökar främst i början av säsongen vilket antyder att produktionsökningarna blir högre i grödor som tillväxer tidigt på säsongen, t ex. i vallens 1:a skörd. Höstsådda grödor torde gynnas framför vårsådda grödor eftersom de kan utnyttja våren effektivare för tillväxt. Med tanke på att skörden troligen tidigareläggs med ca tre veckor blir stråsädesgrödan huvudsakligen utsatt för torka under kärnfyllnadsperioden, även om ingen av de fåtaliga simuleringarna kunde identifiera någon omfattande torka.

Höstgrödan torde gynnas framför den vårsådda grödan även här eftersom den skördas tidigare.

De få försök att kvantifiera ökad vattenstress ~2085 visade på ett ökat vattenbehov på 15–80 mm vilket var mer än den avdunstningsökning som ändå skedde, dvs. den ökade avdunstningen komprimerade för mindre än hälften av ökningen i potentiell transpiration. Hur vattenstressen kan fördelas inom året skiljer sig mycket mellan år. En eventuell bevattning av grödan för att kompensera för grödans vattenstress skulle öka tillväxten ännu mer än vad som redan blev fallet utan bevattning. Bevattningsbehovet torde öka mer lokalt än regionalt, men det saknas omfattande analysarbete för att kunna kvantifiera detta behov.

Kvävebehov: Vår plats- och väderspecifika analys av kväveförhållandena visade att mineraliseringen ökade, men inte i samma omfattning som den ovanjordiska tillväxtens ökning behövde kväve för att nå dagens proteinhalter. För den gödslade gräsvallen varierade underskottet (i ett fall var det ett överskott) och var som mest 120 kg N ha⁻¹ år⁻¹. En ökning av gödslingsmängden skulle dessutom behöva täcka rotbiomassans ökade behov av kväve och eventuell ökning av kväveförluster. Från april och framåt ökar växtens kvävebehov mer än mineraliseringen, vilket indikerar ett ökat behov av gödselkväve, alternativt en minskad risk för utlakning. På hösten visade exemplen att ökningen av kvävebehovet kan både vida överstiga och vara mindre än ökningen i mineraliseringen, vilket antyder att tidpunkt för skörd på hösten kan ha ett inflytande på kväveutlakningen på hösten.

Anpassning: Den första och mest påtagliga behovet av åtgärd är att lägga ett bättre underlag för att föreslå anpassningsåtgärder. Studien har enbart inkluderat simuleringar av ett mycket fåtal vallodlingslokaler i Sverige för några få år, som omöjligen kan ge en bild av vare sig medelförhållanden eller extrem situationer. Trots detta uppvisar simuleringarna en stor variation i vattenförhållanden, vilket indikerar ett stort behov av många fler simuleringar för att täcka in fler marktyper, fler områden, fler år och fler odlingssystem. Den praktiska odlingen kommer troligen att behöva anpassa sig genom att bättre utnyttja väder- och klimatförutsägelser såväl för bestämmande av gödslings- och bevattningsregimer som för planeringen av markanvändningen och ekonomiska nyttan med investeringar i bevattnings- och dräneringsanläggningar. Den strategiska planeringen av svenskt jordbruk skulle kunna bygga upp utvärderingssystem där effekterna av

klimate scenarier på växtproduktionen kan belysas utförligt för olika typer av odlingssystem, marker och områden i Sverige. Potentiella nyttan med en sådan anpassning är hög med tanke på att klimate scenarierna vi nu utvärderat bara är några mycket få av många alternativ och att det därför med mycket stor sannolikhet snart dyker upp nya klimate scenarier vars effekter på jordbruket måste utvärderas.

Referenser

- de Toro, A. & Hansson, P.-A., 2004. Analysis of field machinery performance based on daily soil workability status using discrete event simulation or on average workday probability. *Agricultural Systems* 79:109–129.
- Eckersten, H. & Jansson P-E., 1991. Modelling water flow, nitrogen uptake and production for wheat. *Fertilization Research* 27:313–329.
- Eckersten, H., Torssell, B., Kornher, A., Nyman, P., 2004. Modelling radiation use and regrowth in grass and red clover swards: Method of calibration. *Ecology and Crop Production Science. Report 5. Swedish University of Agricultural Science.* 50 pp.
- Eckersten, H., Torssell, B., Kornher, Boström, U. (in press). Modelling biomass, water and nitrogen in grass ley: Estimation of N uptake parameters. *Eur. J. Agron.* (2007), doi:10.1016/j.eja.2007.02.003.
- Eriksson m.fl. (1999). *Inst. För Markvetenskap SLU.*
- Fogelfors red., 2001. *Växtproduktion i Jordbruket. Natur och Kultur LTs förlag.* 428 sidor.
- Hay R.K.M. och Porter J.R., 2006. *The physiology of crop yield – Second edition. Blackwell publishing Ltd.* 314 pp.
- Jansson, P.E. & Halldin, S., 1979. Model for annual water and energy flow in layered soil. In: Halldin (ed.) *Comparison of forest water and energy exchange models. Int. Soc. Ecol. Modellin (Copenhagen)* pp. 145–163.
- Jansson, P.E. & Karlberg, L., 2001. *Coupled heat and mass transfer model for soil-plant-atmosphere systems. Royal Institute of Technolgy, Dept of Civil and Environmental Engineering, Stockholm* 325 pp.

- Johnsson, H., Bergström, L. & Jansson, P-E., 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18, 333–356.
- Petterson, C.G., Eckersten, H. 2007. Prediction of grain protein in spring malting barley grown in northern Europe. *European Journal of Agronomy* (accepted for publication 2007-04-12).
- SMHI. Sverige Meteorologiska och Hydrologiska Institut.
- Torssell, B., Eckersten, H., Kornher, A., Nyman, P., Boström, U, 2007. Modelling carbon dynamics in mixed grass-red clover swards. *Agricultural Systems* Vol. 94, 2:273–280.

Muntlig kommunikation

- H. Fogelfors, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU
- B. Frankow Lindberg, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU
- P. Nyman, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU
- G. Persson, Rossby Centre, SLU
- C. Åkerberg SLU, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU

3 Växtskadegörare

3.1 Inledning

I denna bedömning av vilken skadegörelse svampar, insekter och virus för närvarande orsakar på våra grödor har hänsyn främst tagits till data från de senaste 20 åren. Detta är av flera skäl. Tidigare saknades ofta tillförlitliga data på förekomst, utbredning och skadegörelse av olika skadegörare. Vi har också fått betydligt bättre kunskap om vilka skördeförlosterna olika skadegörare kan orsaka genom tillgång till nya och effektiva bekämpningsmedel mot svampar och insekter. Under de senaste 20 åren har årliga inventeringar beträffande förekomst av skadeinsekter och växtsjukdomar givit ett mycket gott underlag för att bedöma vilka skördeförlosterna de kan orsaka och därmed vilken ekonomisk betydelse de kan ha i vårt land. Vid bedömning av vilken betydelse skadeinsekter, växtsjukdomar och virus kan ha på 2080-talet har jämförelse gjorts med vilken betydelse skadegörarna har haft under de senaste 20 åren. Om man skulle ha gjort en bedömning av skillnaden mellan situationen omkring ~1975 och ~2085 skulle förmodligen skillnaden ha blivit större.

3.2 Historik

Under de senaste 50 åren har stora förändringar ägt rum inom växtskyddsområdet. De negativa effekter som blev uppenbara på grund av vissa kemiska medel i lantbruket på 1960-talet medförde ökat intresse för nya, effektiva och mer skonsamma kemiska medel mot såväl människan som miljö. På 1970- och 1980-talen kom en rad nya och effektiva medel på marknaden som hade mycket god effekt mot såväl skadeinsekter som svampsjukdomar. Det medförde också att ökad kunskap om vilka skördeförlosterna som olika skadegörare orsakar och detta i sin tur att användningen av kemiska medel ökade avsevärt (Pettersson et al, 1989). Från mitten av 1970-talet ökade användningen markant av kemiska medel i jordbruket (SJV statistik). Beräkningar beträffande den ekonomiska betydelsen av skadegörare i jordbruket och effekter av minskad kemisk bekämpning har belysts (Pettersson, et al., 1989).

Den ökade användningen av kemiska medel medförde också en rad negativa effekter på flora, fauna, dricksvatten och grundvatten.

Flera av de nya bekämpningsmedlen hade också stor effekt på olika nyttodjur till skadeinsekterna. Man kunde också konstatera ökad förekomst av kemiska medel i åar, grundvatten och i sjöar. Den provtagning som regelbundet ägt rum under de senaste 15-20 åren visar klart detta.

Den ökade användningen av kemiska medel i jordbruket och ökad medvetenhet om de negativa effekterna medförde att Statens Jordbruksverk i mitten av 1980-talet utformade en plan om halverad användning av kemiska medel i jordbruket. Målet var att kemikalieanvändningen skulle halveras på 5 år. När det gäller den totala mängden kemiska medel mot svampar, insekter och ogräs nådde man i stort sett målet. Den minskade mängden kemiska medel berodde främst på nya effektiva medel som även i låg dos gav god effekt. Den bekämpade arealen förändrades inte nämnvärt.

Efter den första 5-årsperioden var målsättningen att ytterligare halvera användningen, men man betonade då att risker förknippade med kemikalieanvändningen i jordbruket skulle minska förutom minskad användning. Resultatet blev något minskad användningen av kemiska medel, men den bekämpade arealen var i stort sett densamma som tidigare. En mycket viktig aspekt var att riskerna förknippade med kemikalieanvändningen minskade. Det berodde på en rad olika åtgärder som ökad kunskap hos användarna av kemiska medel, testning av utrustning och olika metoder för att minska risken för läckage av kemiska medel till sjöar och vattendrag.

Förutom rådgivning och kursverksamhet har en ökad satsning på forskning och utveckling för att öka precisionen av insatser medfört att användningen av kemiska medel mot skadeinsekter och sjukdomar är betydligt bättre behovsanpassad än tidigare. Under senare år har man mer och mer betonat integrerat växtskydd vilket innebär att man försöker utnyttja en rad olika metoder för att begränsa skördeförluster av olika skadegörare. Bland sådana metoder kan nämnas användning av motståndskraftiga sorter, en god växtföljd, lämplig odlingsteknik, balanserad gödsling och behovsanpassad bekämpning mot skadegörare. En viktig del i integrerat växtskydd är också effektivt varningssystem för skadeinsekter och växtsjukdomar och tillförlitliga prognosmetoder.

3.3 Nuvarande växtskyddsproblem

Potentiella skördeförlost av skadegörare

Den ekonomiska betydelsen av skadeinsekter, virussjukdomar och svampsjukdomar i olika grödor har beräknats med utgångspunkt från bekämpningsförsök med obehandlade led. Underlaget baserar sig främst på data från perioden 1980–2000.

Tabell 3.1 Potentiella genomsnittliga skördeförlost orsakade av skadegörare och ogräs

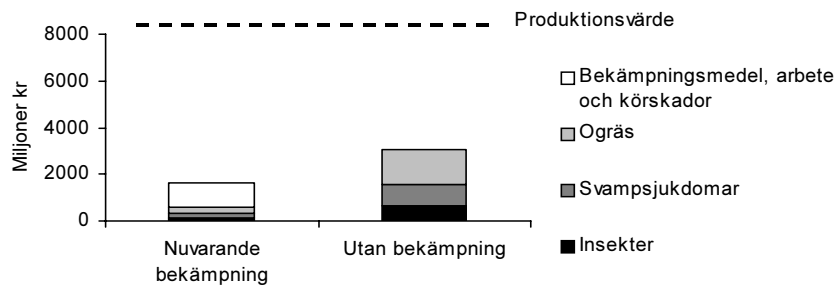
	Insekter och virussjukdomar	Svampsjukdomar
Höstvete	4 %	15 %
Vårvete	8 %	15 %
Råg	4 %	14 %
Korn	10 %	14 %
Havre	13 %	5 %
Rågvete	6 %	12 %
Baljväxter	9 %	5 %
Matpotatis	20 %	35 %
Fabrikspotatis	20 %	5 %
Sockerbetor	5 %	5 %
Höstoljeväxter	5 %	5 %
Våroljeväxter	20 %	10 %

Beräkningarna är baserade på data från olika källor: Insekter och svampsjukdomar: jordbruksinformation från SJV (Djurberg, 2000), försöksrapporter tillgängliga i VäxtEko.

Skadegörare orsakar skördeförlost och/eller kostnader för bekämpning. Även i fält som bekämpats uppstår vissa förluster eftersom bekämpningsmedlen inte alltid är 100 % effektiva. Figur 3.1 visar ett exempel på en beräkning av den ekonomiska betydelsen av skadegörare i svensk växtodling med eller utan bekämpning. En exakt beräkning av vilka skördeförlost som uppstår trots bekämpning är svår att göra, men det här exemplet bygger på antagandet att bekämpning sker i 90 % av de fält som drabbas av

angrepp, och att bekämpningseffekten är 90 %. Värdet av de potentiella skördeförlusterna har beräknats som en multiplikativ effekt av skadegörare och ogräs med utgångspunkt från data i tabell 3.1. Möjligheterna att minska skördeförlusterna genom förändrade odlingsåtgärder har inte beaktats.

Figur 3.1 Beräkning av genomsnittliga aktuella och potentiella kostnader orsakade av skadegörare och ogräs i stråsäd, oljeväxter, baljväxter, potatis och sockerbetor åren 1994-1999. Utsädesburna sjukdomar, liksom skadegörare i vall och köksväxter ingår inte i beräkningen



Användning av kemiska medel

Användningen av kemiska medel i jordbruket ökade under 1970–1990. Under 1994–1998 uppgick försäljningen av bekämpningsmedel till c:a 1600 ton. Den bekämpade arealen var omkring 3,7 miljoner ha, men det inkluderar också att vissa arealer har bekämpats mer än en gång (Tabell 3.2 och 3.3).

Tabell 3.2 Försäljning av bekämpningsmedel till jordbruket, genomsnitt åren 1994-1998 (sammanställning av jordbrukets kostnader för växtskyddsmedel år 1998, www.sjv.se)

	<i>Totalt</i>	<i>insektsmedel</i>	<i>svampmedel</i>	<i>Betningsmedel</i>	<i>ogräsmedel</i>
Såld kvantitet (ton)	1590	22	200	77	1291
Värde (milj. Kr)	696	50	114	69	463

Tabell 3.3 Bekämpad areal, genomsnitt åren 1994–1998 (SCB, 2000)

	<i>Totalt</i>	<i>insektsmedel</i>	<i>svampmedel</i>	<i>Ogräsmedel</i>
Doser ¹ (milj. Ha)	3,7	0,5	1,2	2,0
Kostnad ² (milj. kr)	370	50	120	200

¹ vissa arealer sprutas mer än en gång.

² räknat med 100 kr/ha för arbete och körsador.

Betydelsefulla skadegörare

I de olika grödorna förekommer en rad olika växtsjukdomar, skadeinsekter och ogräs som har mycket stor ekonomisk betydelse med nuvarande bruksmetoder och klimatförhållanden. Den potentiella skördeförlusten pga skadegörare kan uppskattas till ca 3 miljarder kronor årligen.

Stråsäd

I stråsäd förekommer ett flertal olika skadeinsekter som kan orsaka mycket stora skördeförluster i både höstsäd och vårsäd. Det föreligger emellertid stora skillnader i angrepp mellan olika år och olika områden, men också mellan olika fält inom samma region.

De stora skillnader som förekommer mellan olika år och mellan områden torde till stor del bero på skillnader när det gäller temperatur, nederbörd och andra väderparametrar. De skillnader som förekommer mellan fält inom samma region torde i första hand bero på skillnader i odlingsteknik, växtföljd och sortval.

I stråsäd är bladlössen några av de mest betydelsefulla skadeinsekterna. Havrebladlus och sädesbladlus är de vanligaste arterna i vårt land, även om vissa andra arter kan förekomma. Totalt förekommer mer än 500 olika bladlusarter i Sverige av vilka mer än 40 arter har relativt stor ekonomisk betydelse. Under år med starka angrepp av havrebladlus i vårsäden kan skörden reduceras med 20–50 % i vissa fält. Sammantaget skulle förlusterna under ett år kunna uppgå till mellan 300 och 400 miljoner kronor enbart i vårsäden om ej några motåtgärder sattes in.

Enstaka år har stora invasioner av bladlöss från länder på andra sidan Östersjön medfört mycket starka angrepp främst i de östra delarna av vårt land. Så var det under 2002, då mer än 70 procent av vårsädesarealen behövde behandlas mot havrebladlusen för att

minska skördeförlusterna. Bladlössen fångades i de sugfällor som finns i de Östra delarna av Sverige bl.a. på Ultuna och vid Kalmar. Under 2 dagar i början av maj förde vindarna med sig havrebladlöss från östra Lettland eller Nordvästra Ryssland till de östra delarna av Sverige. Det visar de trajektorieberäkningar som utförts i samarbete med SMHI.

Förutom de direkta skador som bladlössen orsakar kan de också sprida rödsotvirus, som främst är ett problem i vårsåden under nuvarande klimatförhållanden. Under enstaka år har mycket starka angrepp av rödsotvirus noterats främst i de södra och mellersta delarna av landet. Förmodligen sprids ibland rödsotvirus med bladlöss som med vinden förts in i landet från områden på andra sidan Östersjön (Haegermark, 1991).

Under milda höstar och vintrar har man emellertid kunnat notera relativt starka angrepp av rödsotvirus även i höstsäd och då särskilt i södra Sverige. Detta torde främst bero på att bladlössen, vektorerna gynnas och de kan under lång tid på hösten infektera höstsåden. Under våren sker sen ytterligare spridning inom fältet och resultatet kan bli mer eller mindre stora fläckar i fälten med starka rödsotvirusangrepp.

Under vissa år på 1900 talet har höstvetet drabbats i stor omfattning av vetedvärgsjuka. Senast förekom starka angrepp i Mälarenregionen 1997–1998 med mycket stora skördeförluster som följd. I många fält halverades skörden vid starka angrepp (Lindblad & Sigvald, 2004; Sigvald, 2007). Orsaken var en virussjukdom, som sprids med en insekt, den randiga dvärgstriten. Orsakerna till de starka angreppen är ej klarlagda, men förmodligen hade odlings-teknik, odlingsstruktur och vädret stor betydelse. Under hösten 2006 har stor förekomst av den randiga dvärgstriten noterats i många områden i Mellansverige och man kan befara att angreppen åter kan öka. Hur stor betydelse klimatet har för denna insekts utbredning är svårt att bedöma.

Andra betydelsefulla insekter i stråsäd är vetemyggor, fritflugor, olika tripsarter och sädesbladbagge. Flera av de nämnda skadegörarna påverkas starkt av olika väderfaktorer som nederbörd och temperatur (Larsson, 2005). Även nematoder har stor betydelse i stråsåden, särskilt i mottagliga sorter.

I stråsåden förekommer en rad olika svampsjukdomar som framför allt under nederbördsrika år kan orsaka stora förluster. I höstvetet har främst olika bladfläcksvampar som brunfläcksjuka och vetets bladfläcksjuka, brunrost, stinksot, dvärgstinksot och gräs-

mjöldagg stor betydelse. I vårsäd kan kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka orsaka mycket stora förluster under nederbördsrika somrar. Även flera utsädesburna sjukdomar som olika sotsvampar, kan ha stor betydelse i vårsäden, men dessa påverkas kanske inte i lika hög grad av olika väderfaktorer för sin utveckling och skadegörelse.

I höstvete kan skördereduktionen vid starka angrepp av bladfläcksvampar uppgå till mellan 15–40 % i enstaka fält, men igenomsnitt blir förlusterna betydligt lägre. För att minska skördeförlusterna utförs ofta en bekämpning med kemiska medel. Förebyggande åtgärder som lämplig växtföljd och odlingsteknik och användning av friskt utsäde är angeläget för att minska risken för angrepp (Berggren Gustafsson & Djurle, 1993).

Vissa svampsjukdomar som fusarium kan också medverka till försämrad kvalitet av kärnan och förekomst av mykotoxiner. Under nederbördsrika somrar har också relativt stor förekomst av mjöldryga konstaterats i brödspannmålen. Detta har medfört att skörden kasserats som brödsäd.

Potatis

I potatis förekommer också ett flertal skadegörare, som kan orsaka stora skördeförluster vid starka angrepp. Potatisbladmögel, lackskorv och olika virussjukdomar som potatisvirus Y och Moptop har mycket stor betydelse. För att minska risken för potatisbladmögel sker behandling med kemiska medel ett flertal gånger under säsongen. I södra Europa med ett mer gynnsamt klimat för potatisbladmögel utförs fler bekämpningar än i Sverige. Man har dock kunnat notera under de senaste 20 åren att angreppen tycks komma tidigare på säsongen än för ett 30 tal år sen och därmed har antalet bekämpningar ökat (Andersson, B. & Sandström, M., 2000).

En rad olika insekter som stritar, stinkflyn och tripsar kan orsaka stora förluster vid starka angrepp i potatis och förlusterna kan uppgå till ca 10 ton per ha om inte motåtgärder sätts. Potatisvirus Y (PVY) som sprids med olika bladlusarter kan orsaka mycket stora förluster för utsädesodlare. Förutom olika bladlusarter har flera andra faktorer stor betydelse som t.ex. förekomst av smittkällor, sort, sättidpunkt och tidpunkt för skörd (Sigvald, 1984; 1985; 1986; 1987). Om man sätter ett starkt smittat utsäde

kan skörden bli ca 50 % jämfört med användning av friskt utsäde. Under 2006 var spridningen av PVY mycket omfattande varför det under 2007 föreligger brist på friskt potatisutsäde. Potatisens blad-rullsjuka som främst sprids med persikbladlöss är en virussjukdom på potatis som för närvarande ej har så stor betydelse i vårt land, men orsakar stora problem för utsädesodling av potatis på kontinenten där klimatet är mildare.

Även stjälbakterios, ringröta, potatiskräfta och nematoder är också betydelsefulla skadegörare i potatis. Stjälbakterios gynnas av nederbördsrika och varma somrar, medan nematoderna främst gynnas av högre temperatur. Nya potatissorter är resistent mot nematoder och potatiskräfta. Ringröta kan vålla mycket stora problem om den inte upptäcks i potatisutsädet. Ökad import av potatisutsäde kan öka risken för att denna sjukdom får ökad spridning.

Som nämnts har många skadegörare stor betydelse i potatisodlingen och det gäller inte minst vid utsädesproduktion av potatis. En viktig grundförutsättning för en god skörd är ett friskt utsäde. I vårt land med det nordliga läget har förutsättningarna varit gynnsamma för en sådan produktion och det gäller kanske främst de norra delarna av landet där de bästa klasserna av utsädespotatis produceras. Förutsättningarna kan emellertid förändras i samband med ett varmare klimat, som gynnar en rad olika vektorer för virussjukdomar på potatis. Detta är något som bör beaktas vid bedömning av hur det framtida klimatet påverkar utsädesproduktion av potatis.

Oljeväxter, baljväxter och sockerbetor

I oljeväxterna kan bomullsmögel, *Sclerotinia sclerotiorum* (Twengström, 1999) och svartfläcksjuka, *Alternaria brassicae* orsaka mycket stora förluster vissa år, i enstaka fält upp till 50 %. Bland insekterna har rapsbaggar, *Meligethes aeneus* och jordloppor störst betydelse. Under senare år har resistens mot kemiska medel konstaterats hos rapsbaggar, vilket medfört mycket dåliga effekter vid kemisk bekämpning.

Även virussjukdomar kan drabba oljeväxterna. Undersökningar i södra Sverige visar att c:a 50 procent av plantorna var smittade med *beet western yellow virus* (BWYV) i enstaka höstoljeväxtfält i Skåne (Sigvald, R., 2005). Särskilt stor risk för virus i oljeväxter

föreligger under år med milda höstar och vintrar, vilket gynnar vektorerna, bladlössen. Några av de mest betydelsefulla vektorerna är persikbladlusen *Myzus persicae*, ärtbladlusen, *Acyrtosiphon pisum*, havrebladlusen, *Rhopalosiphum padi* och sallatsbladlusen, *Cavariella aegopodi* samt ytterligare ett 10 tal arter. Under den milda hösten 2006 kunde man i södra Sverige konstatera förekomst av vingade bladlöss under hela november med hjälp av den sugfälla som finns installerad på Alnarp.

I ärt är det främst bladlöss och ärtvecklare som är de mest betydelsefulla insekterna och i sockerbetor olika bladlusarter samt insekter i samband med uppkomsten, dvs. i sockerbetornas tidiga utvecklingsstadier. Vissa virussjukdomar på sockerbetorna kan vissa år bli betydelsefulla, förmodligen på grund av spridning med vingade bladlöss från kontinenten. Den mest betydelsefulla bladlusarten är persikbladlusen, *Myzus persicae*.

3.4 Vädrets inverkan på skadegörare

Vädret inverkar på flera sätt på skadegörarnas utveckling. Temperatur, nederbörd, luftfuktighet, solstrålning, vind och snötäcke påverkar förekomst och utbredning av olika skadeinsekter och växtsjukdomar.

Insekters eller svampars klimatkrav varierar mellan olika faser i dess utveckling. En insektslarv kan t.ex. ha en helt annan temperaturkänslighet än den fullvuxna insekten. Ofta utvecklas insekten hastigare från ägg till fullbildad ju högre temperaturen är upp till en viss nivå, men vid mycket höga temperaturer kan dödligheten öka. I vårt land torde inte höga temperaturer vara en begränsande faktor utan temperaturen torde i regel ligga under den optimala för insekters reproduktion och utveckling. Temperaturen påverkar också insekternas flygaktivitet och därmed också utbredningsområde. Även svamparnas utveckling påverkas av temperaturen, men deras utveckling påverkas i ännu högre grad av nederbörd och luftfuktighet.

Mellan olika år och olika regioner i vårt land föreligger stora skillnader i angrepp. Det finns en rad olika förklaringar till detta. Förutom odlingsteknik, val av sorter och gröda, skillnader i resistens mot skadegörare kan olika väderfaktorer inverka. Vi känner väl till att regniga och fuktiga år gynnar bladmögel på potatis vilket kan ge upphov till starka angrepp av brunröta. Även

bladfläcksvampar på stråsäd gynnas av regniga somrar. Ofta medverkar varma och torra somrar till ökad population av insekter.

Indirekt kan också *väderleken* påverka skadegörelsen på grödorna med hänsyn till hur grödans känsliga stadium sammanfaller med skadegörarens utveckling. Fritflugans, *Oscinella frit* angrepp i havre är ett exempel. Sen sådd kan medföra att havrens känsliga stadium sammanfaller med fritflugans svärmning (Lindblad, M. & Sigvald, R., 1996;1999).

Sen sådd av havre ökar också risken för starka angrepp av rödsot under år med riklig förekomst av havrebladlöss, som är vektor för rödsotvirus. Tidig infektion av rödsotvirus i förhållande till havrens utveckling orsakar mycket stora skördeföruster jämfört med sen infektion (Bisnieks, et al, 2005). Risken för angrepp av olika svampsjukdomar på höstsäd ökar vid tidig sådd av höstvetete eller höstråg eller vid mycket milt väder under hösten som gynnar ex rostsvampar och mjöldagg.

Väderlekens direkta inflytande på skadegörarna har givetvis störst betydelse. Både skadeinsekter och skadesvampar såväl i plantan som utanför plantan, i beståndet, i luften ovanför grödan, nere i marken eller på en helt annan växt t.ex. en mellanvärd påverkas av olika väderfaktorer.

För att de fullbildade insekterna skall *flyga* krävs en viss minimitemperatur. Så är det hos de vingade bladlössen, men temperaturtröskeln varierar mellan olika arter av bladlöss men också mellan olika former av samma art. T.ex. för havrebladlusens (*Rhopalosiphum padi*) vårmigranter är temperaturtröskeln 14–19 °C (tröskel ca 17°C), medan höstmigranterna kan flyga vid en lägre temperatur mellan 6–3°C (tröskel ca 10°C) (Wikteli, 1981).

Likaså växlar klimatkraven hos svamparna i olika stadier av dess *livscyklar*. Det finns flera exempel på detta bland våra vanliga skadesvampar på kulturväxterna. Både stråknäckarsvampen, *Pseudocercospora herpotrichoide* och sköldfläcksjuka, *Rhynchosporium secalis* är mycket beroende av temperatur, luftfuktighet och nederbörd för sin utveckling.

De komponenter som har störst inverkan på en växtsjukdoms utveckling och spridning är patogen, värdväxt och miljö. Därtill kommer människans förmåga att förstå och påverka förloppen. De växtsjukdomar som främst sätts i samband med vädrets inflytande är de *luftburna sjukdomarna*, som utvecklas i växtens "gröna delar" och lätt kan få epidemiska proportioner. Det gäller t.ex. potatisbladmögel. På 1840-talet drabbades potatisodlingarna på Irland av

mycket starka angrepp av potatisbladmögel och skörden blev angripen av brunröta. Resultatet blev att ca 1 miljon människor dog av svält och något mer än 1 miljon människor utvandrade bl.a. till USA.

Jordburna sjukdomar sprider sig långsamt och är väl buffrade mot plötsliga väderförändringar. Man kan ändå förmoda att långsiktiga väderförändringar (klimatförändring) kan påverka deras uppträdande.

Vindens betydelse

Både svampsjukdomar och insekter kan med vindarna föras långa sträckor. Det innebär att nya arter kan introduceras där de förut ej haft någon betydelse. Det finns en rad exempel på detta. I Sverige introducerades dvärgstinksot för ca 50 år sen (Jonsson, 1992). Det finns två möjligheter för sjukdomen att introduceras, dels via utsäde och dels med vindens hjälp. Det är troligt att svampens sporer spridits från länder sydost om Östersjön till Sverige. I slutet av 1960-talet färgades snön brun i de östra delarna av södra och mellersta Sverige under senvintern 1969. Jordpartiklarna kom förmodligen från områden i Ukraina eller närliggande länder. Även konidier av gräsmjöldagg på stråsäd kan med vindens hjälp spridas över stora avstånd. Däremot sprids ej sporer av vissa bladfläcksvampar som t.ex. kornets bladfläcksjuka över så stora avstånd. Under gynnsamma förhållanden med fuktig och regnig väderlek under sommaren kan emellertid spridningen ske över relativt stora avstånd genom att svampen genomgår ett flertal livscyklar eller generationer.

Flera exempel på insekter som med vindens hjälp sporadiskt förekommer i vårt land är t.ex. kålmalen. Under år 1995 förekom relativt starka angrepp i Mellansverige och norra Sverige. I mitten av juni detta år noterades relativt starka angrepp av kålmalens larver på vårraps, vårrybs och andra kålväxter (Waern & Ekbom, 1995). Man kunde konstatera relativt gott om fullbildade kålmalar i den sugfälla som finns installerad på Gotland i slutet av maj. I Finland hade man kunnat notera ett moln av dessa insekter på väderradar. I St. Petersburgregionen hade man också noterat starka angrepp av kålmalens larver. Det är något oklart varifrån dessa fullbildade kålmalar kom ifrån, men man kunde observera att i Sverige

drabbades ungefär samma regioner av kålmal under år 1995 som av det radioaktiva molnet från Tjernobyl år 1986.

I södra Sverige drabbas ibland sockerbetorna av virussjukdomar. Det föreligger ett starkt samband mellan sydliga vindar och angrepp av virus på sockerbetorna i södra Sverige (Wikteliuss, 1980). Orsaken är att den främsta vektorn för virus på sockerbetor är persikbladlusen. Med vindens hjälp förs den in i södra Sverige från kontinenten. Dessa persikbladlöss kan då vara smittade med virus som sedan kan föras över till sockerbetorna i Sydsverige. Även tidiga angrepp av rödsotvirus i stråsäd, bl.a. havre har förmodligen vissa år spridits med havrebladlöss från länder syd - ost om Östersjön till de sydöstra delarna av vårt land (Haegermark, 1991).

Under år 1973 kom en invasion av koloradoskalbaggar till främst södra Sverige, men enstaka fynd konstaterades också i norra Götaland (Gränsbo, 1974). Ett omfattande utrotningsprogram genomfördes och efter några år kunde ej nya fynd konstateras i Skåne eller andra delar av södra Sverige. Vid en ökad medeltemperatur kommer koloradoskalbaggarna att etableras och man kommer att behöva sätta in kemisk bekämpning i potatisodlingarna för att begränsa skördeförlusterna.

3.5 Effekter på skadegörare och gröda vid förändrat klimat

Vid försök att bedöma betydelsen av skadegörare vid ett förändrat klimat utgår vi först från att nuvarande odlingsmetoder, odlingsstruktur och grödfördelning består.

Insekter

Flertalet skadeinsekter gynnas av varmare och torrare väderlek, medan svampsjukdomar gynnas om väderleken under växtsäsongen blir regnigare och fuktigare. Ett flertal faktorer påverkar förekomst och utbredning av skadegörare i vårt land som temperatur, nederbörd, luftfuktighet, vind, strålning och snötäcke. Hur förekomst och utbredning av insekter kan påverkas vid ett förändrat klimat har bl.a. diskuterats av Solbreck (1993).

Geografisk utbredning

Antalet insektsarter, och därmed antalet skadegörande arter, kan förväntas öka med stigande temperaturer (Sutherst et al., 2007; Harrington and Woiwod, 1995). Den geografiska utbredningen av insekter i norra Europa begränsas i många fall av deras övervintringsmöjligheter. Förutom genom direkt dödlighet till följd av låga temperaturer kan övervintringen begränsas av att växtsäsongen är för kort för att insekterna ska hinna lagra upp tillräckligt med näring för att överleva vintern. I och med att utbredningen av insekter i Europa förändras om klimatet blir varmare ökar också risken för invasioner av skadeinsekter från kontinenten. Många insekter kan förflytta sig långa sträckor och orsaka skador även i områden där de inte kan övervintra.

Förändringar i tillväxt och överlevnad

Insekters utveckling är direkt temperaturberoende. Med ökande dygnstemperaturer kommer utvecklingen från ägg till vuxen att gå fortare. En längre växtsäsong ger också möjlighet till utveckling under en längre tid på året. Temperatur påverkar också andra populationsreglerande faktorer som överlevnad, migration och förökning.

Ett varmare klimat kommer att påverka antalet generationer en insekt kan utveckla under en växtsäsong. Det gäller speciellt i tempererade områden där insekterna i regel utvecklas under optimal temperatur större delen av året. Generationslängden blir i regel kortare och det medför att de hinner bygga upp en allt större population under säsongen om värdväxter finns tillgängliga. Man har gjort beräkningar för flera insektsgrupper som visar hur antalet generationer ytterligare kommer att öka vid en ökad temperatur av 2 grader (Yamamura and Kititani, 1998). För bladlössen skulle det betyda ytterligare 4–5 generationer, för tripsar och flugor 2–3 och för fjärilar 1–2 generationer ytterligare.

Varmare klimat kommer att förlänga den period för insekter under vilken temperaturen är över tröskelvärde för utveckling, reproduktion och aktivitet. Detta kan medföra att insekterna startar sin aktiva period tidigare under säsongen och att de gynnas i högre grad än grödan. Samtidigt kan de vara aktiva längre under säsongen. Vilka effekter ett varmare klimat med några graders

högre temperatur medför kan vara svårt att bedöma, eftersom många insekter också påverkas av dagslängden och inträder i diapaus beroende på fotoperiodens längd (Harrington, 2002). Inom detta område har vi inte tillräcklig kunskap för att bedöma effekterna.

Man bedömer också att flera insektsarter, som begränsas i sin utbredning kommer att sprida sig närmare polerna och till högre nivåer på vilka de kan överleva. I tempererade områden har man beräknat att en ökning av temperaturen med en grad C motsvarar en förflyttning med c:a 200 km eller 140 m i altitud (Parry et al., 1989). Om detta kommer att inträffa eller ej beror naturligtvis också på tillgång till föda på de nya lokalerna. Det är inte självfallet att en skadeinsekt i ett område kommer att bli ett problem i det nya området. Å andra sidan kan en insekt som inte är ett problem i ett visst område bli en skadeinsekt i det nya området bl. a beroende på avsaknad av naturliga fiender (Harrington, 2002).

Högre C/N kvot i växter kan innebära större insektsskador eftersom insekterna måste äta mer för att få samma mängd kväve, men kan också öka plantans motståndskraft (Goudriaan and Zadoks, 1995). Förökning och överlevnad hos många gnagande insekter (t.ex. fjärilslarver) försämras med stigande CO₂-halt, medan experiment med bladlöss visar att deras förökningstakt ökar (Awmack et al., 1996; Awmack and Harrington, 1998; Jones et al., 1998). Bladlössens produktion av honungsdagg, och därmed förekomsten av sotdaggsvampar, ökar också med stigande CO₂-halter. Med varmare klimat kommer grödor som idag endast är av marginell betydelse (t.ex. majs) att kunna odlas i ökad omfattning. Likaså kommer flera grödor som nu endast odlas i södra Sverige att kunna odlas i större dalar av landet. Detta medför att inhemska skadegörare som idag är av mindre betydelse, liksom nyintroducerade skadeinsekter, svampsjukdomar och ogräs, kan få ökad betydelse.

Vindens betydelse

Det är svårt att bedöma huruvida vinden kommer att medverka till ökad förekomst av vissa skadegörare i vårt land. Det hänger framför allt samman med frekvens vindar från sydväst till sydost som kan föra med sig insekter och svampsporer till vårt land. Det är troligt att flera skadegörare (speciellt bladlusarter) kommer att

etablera sig kanske framför allt i de södra delarna av landet både beroende på ökande frekvens vindar från sydväst till sydost och högre temperatur som gör att de kan klara övervintringen. Risken ökar också för massinvasioner av insekter som koloradoskalbagge (vilket hände i mitten av 1970-talet) och bladlöss (vilket hände 1985 och 2002).

Exempel på framtida skadeinsekter

Koloradoskalbagge

Koloradoskalbaggen är den mest betydelsefulla skadegöraren i potatis där den kan orsaka stora skador. Den etablerades i Europa på 1920-talet och har sedan dess spritt sig till stora delar av Europa. I delar av södra Sverige, liksom i Storbritannien, finns det redan i dagsläget vissa möjligheter för att insekten skulle kunna etableras. Koloradoskalbaggen är en karantänskadegörare för vilken speciella regler gäller om den skulle uppträda i Sverige. Spridningen begränsas genom övervakning och bekämpning om angrepp uppstår. I mitten av 1970-talet invaderades södra Sverige av koloradoskalbaggar från kontinenten (Gränsbo, 1974; Johansson, 1974) och det är troligt att de kan etablera sig i dessa trakter vid ett varmare klimat. Med stigande temperaturer kommer väsentligt större områden att bli gynnsamma för insektens överlevnad (Baker et al., 1996; Baker et al., 1998) och risken för etablering i Sverige ökar betydligt. I nordvästra Ryssland och södra Finland har koloradoskalbaggen ökat i omfattning under senare år.

Bladlöss

Bladlössen är några av de mest betydelsefulla skadeinsekterna på våra grödor både som direkta skadegörare genom saftsugning och indirekt genom spridning av virussjukdomar. Dessa kommer förmodligen att vara några av de skadegörare som kommer att få en allt större betydelse på flertalet av våra grödor. Vid ett varmare klimat kommer bladlössen att gynnas på flera olika sätt som antal generationer, spridning med vindar och övervintring (Harrington, 2002). Flera betydelsefulla bladlusarter på våra grödor kommer förmodligen att kunna övervintra i södra och mellersta Sverige på ogräs och olika grödor utan äggstadium. Det innebär att en bladluspopulation kommer att utvecklas och migrera från

vintervärden till olika odlade som vilda växter och en population kommer att fortsätta sin utveckling på de växter de övervintrat.

Några arter som troligen kommer att få större betydelse som direktskadegörare är havrebladlusen och sädesbladlusen på stråsäd, persikbladlusen i potatis, oljeväxter och sockerbetor samt betbladlusen i åkerböna och sockerbetor. Utöver dessa arter som också medverkar till ökad risk för virus spridning kommer troligen ett flertal ytterligare bladlusarter att medverka till spridning av olika virussjukdomar i stråsäd, potatis, oljeväxter och sockerbetor. Vi känner för närvarande till ett 40-tal olika arter som är vektorer för olika virussjukdomar på våra grödor.

Flera exempel på hur varmare klimat kan påverka när bladlössen börjar uppträda under säsongen finns bl. a från England. Man har där analyserat dataset från sugfällor (12 meter höga insektsfällor) från 1964 och 30 år framåt (Woiwod and Harrington, 1994). Man bedömer att denna grupp av insekter är bland de mest känsliga indikatorerna för temperaturförändringar beroende på deras låga tröskelvärde för utveckling och korta generationstid. En ökad temperatur kommer troligen i hög grad att gynna dessa insekter.

I England finns ett system med sugfällor för insekter sedan 40 år tillbaka (Rothamsted Insect Survey). Dessa insektsfällor töms dagligen och bladlössen identifieras. Data från dessa utnyttjas i olika analyser över hur klimatet kan påverka bl.a. förekomst och utbredning av olika bladlusarter. Liknande sugfällor finns i flertalet länder i Europa. I ett EU projekt i vilket Sverige deltagit har ett 20-tal länder medverkat med 80 sugfällor totalt. Information om projektet finns på följande hemsida: <http://www.iacr.bbsrc.ac.uk/examine/>. Data över bladlusförekomsten från sugfällor från medverkande länder lagras i en databas i Storbritannien och utnyttjas för olika studier relaterat till klimatförändringar. Från Sverige har SLU i Uppsala deltagit i projektet.

För många bladlusarter är det ett starkt samband mellan förekomst av de första vingade bladlössen i sugfällorna och vintertemperaturen (Harrington, 2002). Analyserna visar att vårmigrationen startat tidigare ju mildare vintern varit. Den tidigare migrationen kommer att medföra betydligt starkare angrepp av bladlöss i olika grödor om inte tidpunkten för vårsådd kommer att bli avsevärt tidigare. Såtidpunkten på våren påverkas inte enbart av temperaturen i ett framtida varmare klimat utan också av nederbörden. Prognoserna pekar mot ökad nederbörd under våren vilket torde försvåra en tidig vårsådd, vilket främst gäller för

mellersta Sverige. Detta medför i sin att bladlössen gynnas mer än grödan, vilket torde öka problemen med direktskador av bladlöss och rödsotvirus i vårsäd som havre och korn.

Insektsöverförda virussjukdomar

Bladlöss är viktiga vektorer för virussjukdomar på växter. I Sverige övervintrar bladlössen främst som ägg, men med varmare klimat kan de också komma att övervintra som vuxna. Risken för spridning av virussjukdomar ökar då betydligt. Flera studier har också visat att det finns ett samband mellan milda vintrar och spridning av virussjukdomar i stråsäd, potatis och sockerbetor (Thomas, 1989; Carter and Harrington, 1991; Harrington et al., 1995). Varmare vintrar medför både tidigare utflygning till grödorna och att antalet bladlöss ökar (Harrington and Woiwod, 1995).

Undersökning av samband mellan 35 års data av bladlusfångst i sugfällor och temperaturen under januari – februari visade relativt starkt samband mellan medeltemperaturen under dessa månader och tidpunkt för första fångst av vingade persikbladlöss. Vid en ökning av temperaturen med 4°C skulle man fånga persikbladlössen ungefär en månad tidigare jämfört med dagens klimat (Harrington, 2002). Man kan förmoda att liknande förhållanden kan komma att råda i vårt land och att en förhöjd temperatur kan medföra avsevärt ökad risk för spridning av virussjukdomar i främst potatis, men även höstoljeväxter och vårsäd torde drabbas. Förmodligen kan också spridningen av virusgulsot i sockerbetor öka.

Rödsot är en virussjukdom som orsakar stora skador i höstvetete i Storbritannien och på kontinenten, men i Sverige är starka angrepp av rödsotvirus ovanligt i höstsäd eftersom väderleken efter uppkomsten på hösten normalt är för kylig för att spridning ska ske. Året efter den ovanligt varma hösten 1999, med medeltemperaturer i september upp till 4°C över det normala, förekom dock smittade plantor i många höstvetefält och då främst i södra Sverige. Under den milda hösten 2006 torde risken för rödsotvirus i höstsäd ha varit relativt stor i södra Sverige. Havrebladlöss förekom så sent som under hela november i Skåne. Detta konstaterades tack vare den sugfälla för insekter som finns placerad på SLU, Alnarp. I England bedömde man risken som mycket stor för rödsotvirus i

höstsåden under hösten 2006 och där har man rekommenderat odlarna att behandla höstsåden med insektsmedel mot bladlössen för att förhindra virusspridningen.

Virus i höstoljeväxter torde också öka vid ett varmare klimat i framtiden. Flera olika bladlusarter är vektorer för dessa virus-sjukdomar av vilka Beet Western Yellow Virus tycks vara den vanligaste i södra Sverige (Sigvald, 2005). Orienterande undersökningar i södra Sverige visar att 50 % av plantorna kan vara virusmittade i enstaka höstoljeväxtfält. Det kan medföra en skördeförlust på 15 %, men vi har ej tillräckligt underlag i Sverige för att bedöma vilken betydelse virus i höstoljeväxter kan ha och vilken risk som föreligger i framtiden. Persikbladlusen, ärtbladlusen och havrebladlusen är några av vektorerna och dessa gynnas av varmare klimat. Förmodligen kommer betydelsen av virusjukdomar i höstoljeväxter att öka betydligt i framtiden. Även virusjukdomar på sockerbeta och andra virusjukdomar på stråsäd än de ovan nämnda att få större betydelse i framtiden. Men flera faktorer som odlingsteknik och odlingsstruktur torde också inverka på förekomsten av olika virusjukdomar på våra grödor. Vetedvärgsjuka och dvärgskottsjuka på stråsäd samt olika virusjukdomar på potatis kan komma att få ökad betydelse förutom nya insektsöverförda virusjukdomar som kan komma in i landet och etableras om lämpliga värdväxter förekommer.

Sedan mitten av 1980-talet har bladlusmigrationen studerats i Sverige bl.a. med hjälp av sugfällor liknande de i England. Under de första åren var syftet i första hand varit att belysa risken för virusspridning i potatis (Sigvald, 1986; 1987). Under senare år har undersökningar också utförts för att utveckla prognosmetoder för betydelsefulla bladlusarter på kulturväxterna. Det gäller sådana arter som havrebladlusen, sädesbladlusen, ärtbladlusen, betbladlusen, kålbladlusen och salladsbladlusen. I samband med dessa studier har vindens och temperaturens betydelse på bladlusarternas aktivitet kunnat belysas. För att kunna belysa olika insekters utbredning och förekomst är det angeläget att ett system för fångst av insekter etableras och upprätthålls. Långa dataserier beträffande förekomst av insekter i sugfällor erbjuder unika möjligheter att studera effekter av varmare klimat på olika arters förekomst och utbredning (Harrington, 2002). Detta har man visat genom de studier som utförts i England.

Svampsjukdomar

I områden med ökad nederbörd och luftfuktighet kommer många svampsjukdomar att utvecklas snabbare och orsaka större förluster. Varmare och/eller torrare väderlek missgynnar däremot betydelsefulla patogener som bladfläcksvampar i stråsäd, men andra arter, t.ex. rostsvampar, kan få ökad betydelse (Jahn et al., 1996).

Tabell 3.4 Några exempel på temperaturkrav m.m. hos några patogener på kulturväxterna

Patogen	Temp. °C			Kommentarer	Ref.
	Min.	Opt.	Max.		
<i>Stagonospora nodorum</i> (Brunfläcksjuka)	4	15-25, 20-27	32	Gäller groning och infektion. Gynnas av regnig och blåsigt väderlek.	Berggren.,1993. Weise, 1987.
<i>Puccinia recondita f.sp. tritici</i> (Brunrost)		15-22		Sprids vid torrt väder men infektion gynnas av fritt vatten, exempelvis nattfukt.	Weise, 1987.
<i>Erysiphe graminis f.sp. tritici</i> (Gräsmjöldagg)	5	20	25	Optimum för epidemisk spridning, 15-22 °C. Sprids vid torrt väder men infektion gynnas av fritt vatten, exempelvis nattfukt.	Sundheim, 1982. Weise, 1987.
<i>Pseudocercospora herpotrichoides</i> (Stråknäckare)	0	10-15	20	Gynnas vid temperaturer under 15°C och hög luftfuktighet. Konidieproduktion är maximal vid 10°C.	Sundheim, 1982.
<i>Microdochium nivale</i> (Snösmögel)	-6	21	28	Vid odling in vitro. Gynnas av tät gröda och långvarigt snötäcke.	Sundheim, 1982.
<i>Phytophthora infestans</i> (Potatisbladmögel)		21 (15-25)		Gynnas av perioder med hög luftfuktighet, regn och relativt varm väderlek.	Andersson & Sandström, 2000. Hooker, 1981.
<i>Aphanomyces eutheiches</i> (Årtrotöröta)	4	28	32	Vid odling in vitro. Dålig dränering dvs hög markfukt gynnar svampen.	Hagedorn, 1984.
<i>Sclerotinia sclerotiorum</i> (Bomullsmögel)	0	10-20	25	Gynnas av regn före och vid blomning.	Twengström, 1999.
<i>Drechslera teres</i> (Kornets bladfläcksjuka)	8	15-25	33	Konidier sprids vid regnigt och blåsigt väder.	Mathre, 1982.
<i>Rhynchosporium secalis</i> (Sköldfläcksjuka)		15-18		Konidier sprids vid regnigt och blåsigt väder.	Sundheim, 1982.
<i>Alternaria solani</i> (Torrfläcksjuka)		28 (19-23)	32	Myceltillväxt in vitro är maximal vid 28°C, Konidiebildning är maximal vid 19-23°C. Gynnas av omväxlande torrt och fuktigt väder.	Hooker, 1981.

Potatisbladmögel

Potatisbladmögel är den mest betydelsefulla skadegöraren i potatis, och bekämpningen mot denna sjukdom svarar för en stor del av användningen av bekämpningsmedel i Sverige.

Slutsatser beträffande *temperatures effekt* på potatisbladmögel varierar mellan olika studier. Jahn et. al (1996) använde en empirisk

modell grundad på inventeringsdata och fann att risken för potatisbladmögel minskar med stigande temperaturer. Kaukoranta (1996) använde en mekanistisk simuleringsmodell och kom fram till motsatta slutsatser. Han fann att betydelsen av potatisbladmögel ökar eftersom ett varmare klimat medför att grödans mottagliga period förlängs och det första angreppet kan förväntas komma tidigare. Simuleringar visar att en ökad temperatur upp till ca 20°C starkt minskar tiden från att bladmögelangreppen startar till det 50 % av bladen är angripna (GiLB, 2000). Vid ytterligare förhöjd temperatur ökade tiden igen. Ökad *bladfuktighet* och varaktighet av bladfukt minskade tiden till det 50 % av bladen var angripna av potatisbladmögel.

Med *historiska data från Finland* har man jämfört angreppen av potatisbladmögel under perioden 1933–1962 med perioden 1983–2002 (Hannukkala et al., 2007). Risken för angrepp var betydligt högre under perioden 1983–2002 än perioden 1933–1962. Angreppen började också 2–4 veckor tidigare. Dessa förändringar förklarade man främst med gynnsammare klimat för potatisbladmögel under den senare perioden. Man menade också att växtföljd och ev. marksmitta inte hade så stor inverkan på de tidigare och starkare angreppen. Till följd av detta har man behövt utföra kemisk bekämpning mot potatisbladmögel betydligt oftare under den senare perioden än vad man gjorde tidigare.

I *Sverige* torde effekterna av en klimatförändring bli likartade som i Finland. Vi kan förvänta oss betydligt starkare och tidigare angrepp i ett framtida varmare klimat än vad som nu föreligger. Observationer under den senaste 10-årsperioden pekar också mot detta. Det kan dock föreligga stora skillnader mellan olika regioner i Sverige beroende på nederbörd, temperatur och vegetationsperiodens längd. Förmodligen kan behovet av kemisk bekämpning öka med 30–50 % med nuvarande sortmaterial och odlingsteknik, främst i mellersta och norra Sverige.

Stråsäd och oljeväxter

Högre temperaturer kommer troligen att öka förekomsten av vissa svampsjukdomar såsom rostsjukdomar. I områden med minskad nederbörd torde förekomsten av några sjukdomar i stället minska t.ex. kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. För oljeväxter gäller detta bomullsmögel, svartfläcksjuka och klumprotsjuka, även

om en ökad frekvens av oljevästodling kan öka förekomsten av dessa sjukdomar. Ökad nederbörd flera år i rad kan också öka förekomsten genom smitta på halmrester t.ex. vid odling av vete efter vete.

Andra skadegörare

Andra skadegörare som nematoder på potatis torde också gynnas av ökad temperatur i framtiden. Potatiscystnematoden kan få fler generationer per säsong vilket skulle kunna öka angreppen och därmed skördeförlusterna (Carter et al., 1996). Detta kan dock motverkas av ökad användning av resistent sorter.

I stråsåden torde olika rotsvampar öka i omfattning vid ett varmare klimat. För närvarande är betingelserna för utveckling och spridning i vårt land i regel under de optimala. Hur stor betydelse dessa svampar kan ha i framtiden hänger också samman med tillgång till resistent sortmaterial. Det finns indikationer på att vissa rotsvampar kan bli mycket allvarliga framöver på grund av att sortmaterialet är mycket mottagligt.

Ändrad synkronisering mellan grödors och skadegörares utveckling

Växter är oftast mottagliga för angrepp av skadegörare under begränsad period av sin utveckling. Ett förändrat klimat innebär att synkroniseringen mellan grödans känsliga stadium och förekomsten av skadegörare ändras. Det kommer att påverka både förekomst och utbredning av skadegörare och odlingsperiod av olika grödor. Nederbörd, temperatur och solstrålning i det framtida klimatet kommer att medföra senare sådd av höstsäd och höstoljeväxter vilket i sin tur påverkar skadegörarnas etablering under hösten. Förmodligen kommer skadeinsekter, svampsjukdomar och virussjukdomar att gynnas mera än grödan med förlängd period för spridning och etablering i olika grödor.

Vårsådden kommer att kunna ske tidigare än nu, men tidpunkten för skadegörarnas utveckling bedöms tidigareläggas ännu mer (jmf Tabell 2.3). Detta innebär att det förmodligen blir större problem med vissa sjukdomar och insekter i de vårsådda grödorna som havre, korn, vårvete, åkerböna, ärt, sockerbetor och

våroljeväxter. Detta torde även gälla tidpunkt för sättnings av potatis.

Svampsjukdomar

Mildare vintrar och kortare period med snötäcke medför att betydelsen av övervintringssjukdomar i stråsäd minskar. Det gäller t.ex. snömögel (*Fusarium nivale*), medan däremot stråknäckarsvampen gynnas av milda regnrika fuktiga höstar, vintrar och vårar. Snötäckets varaktighet har stor betydelse för dvärgstinksot som är en betydelsefull sjukdom på höstvetete. Långvarigt snötäcke ökade risken för dvärgstinksot (Jonsson, 1992). Även temperaturen påverkar förekomsten av dvärgstinksot. Flertalet svampsjukdomar gynnas i hög grad av nederbörd, temperatur och luftfuktighet.

Ökad tillväxt av grödorna med stigande CO₂-halt ger tätare bestånd vilket gynnar många sjukdomar (Coakley et al., 1999). Ökad CO₂-halt kan också leda till snabbare tillväxt och ökad förökning av svampsjukdomar, men växtens motståndskraft mot infektioner ökar också (Coakley et al., 1999; Chakraborty et al., 2000). En högre C/N kvot i marken medför långsammare nedbrytning av växtmaterial vilket ökar överlevnaden av patogener som överlever på skörderester. Några exempel på svampsjukdomar som förmodligen kommer att få ökad betydelse är potatisbladmögel, olika bladfläcksvampar och rostsvampar på stråsäd, svampsjukdomar som bomullsmögel på oljeväxter.

Flera svampsjukdomar på vårsäden torde gynnas mer än grödan under våren. Förmodligen kommer gräsmjöldagg och vissa rostsvampar att få ökad betydelse. I områden med relativt hög nederbörd under vår och försommar torde olika bladfläcksvampar på stråsäd att få ökad betydelse. Även beträffande potatisbladmögel torde angreppen komma tidigare i plantans utveckling än vad som nu är fallet.

Den längre vegetationsperioden under hösten medför att vissa svampsjukdomar på stråsäd som rostsvampar och gräsmjöldagg kommer att gynnas mera än grödan. En längre period för infektion under hösten innebär ökad risk för angrepp och förmodligen med ökat behov av kemisk bekämpning mot svampsjukdomar på höstsäden som följd. Även höstoljeväxterna kan drabbas i större omfattning av vissa svampsjukdomar som kålbladmögel och bomullsmögel. Det medför troligen ökat behov av kemisk

bekämpning av höstoljeväxter på hösten om inte mer resistent sorter kommer till användning

Insekter och virussjukdomar

Flera olika skadeinsekter kommer att gynnas mera än grödan under våren på grund av att nederbörden förväntas öka. Ett sådant exempel är fritfluga i främst havre, men även korn och vårvete kan drabbas. Fritflugan övervintrar som larv i gräsmarker, vallar och höstsäd. Utvecklingen under våren startar vid temperaturer över +7–8 grader C. Vid omkring 70–80 daggrader brukar de fullbildade flygorna flyga ut till de nysådda vårsädesfälten för att lägga ägg på de späda plantorna (bastemperatur +8 grader C). Men stråsåden är endast mottaglig i tidigt stadium fram till att 4 blad vuxit fram (åldersresistens). Därefter är grödan mer eller mindre resistent. Det innebär att fritflugan kommer att ha en längre period för äggläggning under våren i framtiden vilket kommer att medföra starkare angrepp i vårsåden. Förmodligen för detta med sig behov av ökad kemisk bekämpning eftersom det nuvarande sortmaterialet i stort sett saknar resistens mot fritflugan förutom den nämnda åldersresistensen. Man skulle kunna minska risken genom användning av tidiga sorter med hastig utveckling under våren.

Även höstsåden torde drabbas i större omfattning av fritflugans angrepp under hösten. Sätidsförsök med höstvete visar tydligt att tidig sådd medför mycket starka angrepp och stora skördeföruster. Den förväntade senare såtiden torde gynna fritflugan mera än grödan eftersom den minskande solstrålningen under hösten medför att man inte kan utföra höstsådden så sent att fritflugan ej är aktiv under grödans mottagliga stadium. Detta torde medföra ökad risk för angrepp i höstsäd och för att minska risken torde ökad kemisk bekämpning bli följden.

Förutom fritflugan torde också insekter som den randiga dvärgstriten gynnas. Den orsakar skador främst genom spridning av en virussjukdom, vetedvärgsjuka. Under hösten kommer den förmodligen att få ökad betydelse. Mot både fritflugan och randig dvärgstrit har betning av utsädet med insekticider god effekt. Emellertid måste man mycket tidigt bedöma behovet av betning, så den hinner utföras i god tid före höstsådden. Det kräver tillförlitliga prognosmetoder. Vissa möjligheter finns att utnyttja ett

nätverk av sugfällor, vilka även registrerar förekomst av fritflugor under sensommar och höst.

Rödsotvirus torde gynnas både i höstsäd och i vårsäd. Senare sådd av vårsäd i förhållande till bladlössens utveckling och migration medför att de kommer att infektera vårsäden i ett tidigare utvecklingsstadium och med följd starkare angrepp. Havrebladlusen och sädesbladlusen som är de viktigaste vektorerna kommer förmodligen att kunna övervintra på gräs och höstsäd utan att genomgå äggstadiet. Detta får också till följd en tidigare utveckling av bladlössen i förhållande till grödans utveckling vilket i sin tur ökar risken för starka angrepp.

Höstsäden kommer förmodligen att drabbas i mycket stor omfattning av rödsotvirus i det framtida klimatet. Bladlössen kommer att gynnas mera än grödan och detta innebär att bladlössen kommer att ha en betydligt längre period på hösten att infektera grödan. Dessutom ökar risken för sekundär spridning av rödsotvirus i fälten under hösten på grund av förökning och spridning av bladlöss inom fältet.

För att minska risken för stora skördeförluster kan man använda insektsbetat utsäde eller behandla höstsäden med kemiska medel. För att kunna behövsanpassa användningen av kemiska medel mot bladlössen under hösten skulle man behöva utveckla liknande prognosmetoder som man har utvecklat i England. Det finns möjligheter till detta bl.a. genom att utnyttja sugfällor för insekter.

3.6 Regionala skillnader vid ett förändrat klimat

Mellan olika delar av landet kommer det förmodligen att föreligga skillnader i angrepp av svampar, virus och insekter på olika grödor beroende på nederbörd, temperatur och vegetationsperiodens längd. I tidigare avsnitt har förekomsten av olika skadegörare belysts främst med hänsyn till skillnader mellan nuvarande angrepp och förväntat vid ett framtida klimat. Under avsnittet om ändrad synkronisering mellan olika grödors och skadegörares utveckling har också några exempel tagits upp beträffande regionala skillnader. I detta avsnitt tas ytterligare några exempel upp för att belysa vilka skillnader som kan förekomma i angrepp mellan södra, mellersta och norra Sverige.

Insekter och virussjukdomar

Det varmare klimatet kommer att medföra att många insektsarter kommer att få ökad betydelse både som direkta skadegörare, men också indirekt genom deras förmåga att sprida virussjukdomar.

Med sydliga eller syd-ostliga vindar torde koloradoskalbaggen föras in i de södra delarna av landet under den närmaste 30 års-perioden. Vintrarna kommer att vara tillräckligt varma för att den skall kunna övervintra. I södra Sverige torde koloradoskalbaggen i potatis få större betydelse än i mellersta och norra Sverige, men förmodligen blir vintrarna tillräckligt milda för att den skall kunna övervintra i Mälarenregionen. I norra Sverige torde den få måttlig betydelse.

Olika bladlusarter kommer att kunna övervintra utan att genomgå äggstadiet. Detta medför att risken för direkta skador kommer att öka såväl som risken för spridning av olika virus-sjukdomar. Förmodligen kommer bladlössen att gynnas mera än de vårsådda grödorna beroende på att de kommer att utvecklas tidigare än nu i förhållande till grödans utveckling. Detta har betydelse på flera sätt. De direkta skadorna kommer att bli större av olika bladlusarter. Risken för spridning av olika virussjukdomar torde också öka.

Störst problem med både direkta och indirekta skador av bladlössen torde det bli i områden med relativt torrt och varmt väder under försommaren. Skadorna torde bli större i de södra och mellersta delarna av landet än i de norra delarna. Särskilt starka angrepp kan förekomma i de sydöstra delarna av Sverige. I strå-såden är det främst havrebladlusen och sädesbladlusen som får ökad betydelse, men förmodligen kommer också majsbladlusen att öka i omfattning om odlingen av majs blir omfattande. Det innebär att rödsotvirus kommer att bli betydligt vanligare i höstsåden med stora skördeförluster som följd om ej motåtgärder sätts in. Detta gäller främst södra och mellersta Sverige.

Betydligt större problem torde det också bli med persik-bladlusen, som kommer att kunna övervintra i fält på olika grödor och ogräs. Det medför att både direkta skador och indirekta kommer att öka. När det gäller spridningen av virussjukdomar torde det främst bli större problem i höstoljeväxter och i potatis (potatisens bladruvsjuka). Störst problem torde det bli i de södra delarna av landet jämfört med de mellersta och norra och särskilt

stora problem i områden med relativt torrt och varmt väder under vår och försommar.

Förekomsten av fritfluga torde öka främst i höstsäd, men även vårsåden torde drabbas i större omfattning än nu beroende på något senare sådd i framtiden i förhållande till fritflugans utveckling under våren. Riklig nederbörd under senvintern och våren kan försena vårsådden, men ändå gynna fritflugans utveckling. I sådana områden kan angreppen bli något starkare jämfört med områden med tidig vårsådd. De geografiska skillnaderna torde inte påverkas nämnvärt jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med mycket gräsmark och vallar brukar populationen av övervintrande fritflugor vara mycket hög och det är främst i sådana områden som stor risk för angrepp föreligger.

Utsädesproduktionen av potatis kan påverkas avsevärt. Under nuvarande förhållanden produceras de högsta klasserna i norra Sverige, där virusspridningen normalt är mycket liten. Under vissa år har mycket omfattande spridning av potatisvirus Y ägt rum främst i de södra och mellersta delarna av landet beroende på mycket stor förekomst av bladlöss, vektorer. I norra Sverige brukar förekomsten av bladlöss vara mycket liten, vilket gynnat utsädesproduktion av hög kvalitet. Förmodligen kommer förekomsten av bladlöss att bli betydande även i norra Sverige i ett framtida varmare klimat. Risken är då stor att utsädesodlingarna kommer att drabbas. För att minska risken för virusspridning vore det önskvärt att inrätta någon form av utsädesreservat inom vilka vanliga bruksodlingar med stor andel virussmittade plantor begränsas.

Svampsjukdomar

Vissa geografiska skillnader torde också föreligga beträffande förekomst av svampsjukdomar. Flertalet svampsjukdomar torde få ökad betydelse på stråsåden och det gäller särskilt rostsvampar och gräsmjöldagg, som gynnas av högre temperatur, men inte är speciellt beroende av mycket hög luftfuktighet. Det innebär att sådana sjukdomar torde bli mer allvarliga i de södra och mellersta delarna av landet jämfört med de norra delarna.

När det gäller olika svampsjukdomar på höstsåden är det troligt att rostsvampar och gräsmjöldagg får längre period för infektion på hösten och att de gynnas mera än grödan. Även stråknäckaren kommer att gynnas av mildare och fuktigare höstar, vintrar och

vårar, vilket innebär att angreppen kommer att bli starkare i höstsåden. Förmodligen får stråknäckaren större betydelse i de södra och mellersta delarna av landet jämfört med de norra delarna.

Olika bladfläcksvampar på vårsåden torde inte gynnas i så stor utsträckning jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med relativt stor nederbörd under våren kan angreppen bli något starkare än nu, men den förväntade relativt torra försomrarna torde missgynna dessa bladfläcksvampar som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. I norra Sverige torde dessa svampar få ökad betydelse.

På höstsåden är det troligt att angreppen av olika bladfläcksvampar som brunfläcksjuka och vetets bladfläcksjuka kommer att öka något. Men den relativt torra våren och försommaren i det framtida klimatet torde missgynna sådana bladfläcksvampar och då främst brunfläcksjuka.

Potatisbladmögel torde få ökad betydelse i framtiden och då särskilt i områden med relativt varmt och fuktigt väder under vegetationsperioden. Det innebär att angreppen kommer att bli förhållandevis något strakare i de mellersta och norra delarna av landet jämfört med nuvarande förhållanden.

3.7 Effekter av förändrad odlingsstruktur och arealfördelning vid förändrat klimat

Man kan förmoda att nya grödor kommer att odlas i vårt land i samband med varmare klimat. Det gäller kanske främst majs och solros. Vissa grödor kommer också att odlas i större omfattning än nu som t.ex. vårraps och höstraps. Man räknar också med att höstsåden kommer att öka i omfattning medan vårsåden kommer att minska något. Den förändrade odlingsstrukturen, nya grödor och förändrad areal av de nu odlade grödorna kommer att medverka till förändringar beträffande förekomsten av skadeinsekter och växtsjukdomar. I oljeväxter torde utökad areal av vår- och höstraps medverka till större problem med vissa skadinsekter och växtsjukdomar. Det gäller kanske främst vissa växtföljdsjukdomar som bomullsmögel, klumprotsjuka och *Verticillium*, men även svartfläcksjuka gynnas om vår- och höstraps odlas inom samma område. Även vissa insekter torde öka i omfattning. Det gäller t.ex. rapsbaggar, kålbladlöss, rapsvivar, rapsjordloppa och gallmyggor.

Odling av majs kommer att medverka till "grön brygga" när det gäller spridning av rödsotvirus. Majs kan fungera som smittkälla för spridning av rödsotvirus från vårsäd till höstsäd. Odling av majs innebär att bladlössen som sprider rödsotvirus har möjlighet att livnära sig på majsens innan de flyger till den nysådda höstsäden och där kan infektera grödan. Förutom ökad risk för spridning av de nu vanligaste vektorerna, havrebladlusen och sädesbladlusen torde ett varmare klimat även gynna majsbladlusen, *Rhoplosiphum maidis*, som är en mycket betydelsefull vektor för rödsotvirus (Harrington, 2002). En av virusstammarna beträffande rödsot sprids mycket effektivt av majsbladlusen. Bladlusen är för närvarande relativt ovanlig i Nordeuropa, men kommer förmodligen att bli allt vanligare vid ett varmare klimat. Den torde övervintra på gräs och olika stråsädesslag. Sammantaget innebär detta att vi kan förvänta oss betydligt starkare angrepp av rödsotvirus i det framtida klimatet och det gäller då även de stammar som är vanliga på majs. Ökad majsodling torde gynna vissa svampsjukdomar som t.ex. fusarium arter, vilka på senare tid orsakat toxinbildning i bl.a. höstvete.

För övriga grödor som potatis, ärt och sockerbetor torde odlingsstruktur och odlad areal inte förändras i sådan omfattning att skadegörarproblemet blir större än vad som beskrivits i föregående avsnitt.

3.8 Konsekvenser och anpassningsmöjligheter

Nya grödor i de södra delarna av landet och ökad odling av befintliga grödor längre norrut i landet kommer med all säkerhet att påverka skadegörarnas utbredning och angrepp på grödorna. Nya insekter t.ex. i potatis som koloradoskalbaggen kommer att medföra ökat behov av kemisk bekämpning om man ej accepterar lägre skörd. I detta avsnitt har bedömningarna gjorts utifrån liknande odlingsstruktur, arealfördelning och priser som idag.

Insekter

Ökade angrepp av olika bladlusarter i olika grödor och ökad spridning av virussjukdomar medför större skördereduktion än för närvarande. Flera bladlusarter torde kunna övervintra i olika grödor

och på ogräs vilket kan medföra tidigare och starkare angrepp. Det gäller bl.a. sädesbladlusen i stråsäd och persikbladlusen på potatis och sockerbetor. Eventuellt kan nya arter också etablera sig i landet, men i dagsläget är det svårt att bedöma vilken effekt detta kan få. Växtproduktionen är relativt sårbar för bladlusangreppen, som kan medföra mycket stor skördereduktion vid starka angrepp. Förutom nämnda insekter finns ytterligare ett antal på olika grödor som kan tänkas få ökad betydelse. Behovet av varningssystem och prognosmetoder för behovsanpassad användning av bekämpningsmedel kommer troligen att öka.

Starkare angrepp av virussjukdomar på höstoljeväxter i södra Sverige och av t.ex. rapsjordloppan kan också medföra större skördeförluster om ej motåtgärder sätts in. Omfattande spridning av virussjukdomar på potatis kan under vissa år medföra att det blir brist på friskt potatisutsäde. Man kan då utnyttja relativt starkt smittat utsäde med lägre skörd som följd eller importera friskt utsäde från andra länder. I norra Sverige torde virusspridningen få ökad betydelse vilket kan påverka utsädesproduktion av de bästa klasserna. För att minska risken för utsädesproduktion kan man inrätta speciella utsädesreservat.

Svampsjukdomar

Förutom ökade angrepp av insekter torde också angreppen öka av olika svampsjukdomar som gräsmjöldagg och rostsjukdomar. Särskilt under milda höstar och vintrar gynnas dessa svampsjukdomar på höstsäden. Vid ökad nederbörd kan också angreppen öka av vissa svampsjukdomar som brunfläcksjuka och axfusarios, vilket medför att skörden kan bli olämplig till brödsäd. Det innebär att det kan bli brist på brödspannmål av viss önskvärd kvalitet. Även mjöldryga, *Claviceps purpurea* på höstsäd torde öka i omfattning. Detta kan orsaka ökat importbehov av vissa kvaliteter under enstaka år.

På potatis kommer särskilt potatisbladmögel att bli ett större problem för odlarna. Under vissa år kan angreppen bli så starka att viss brist på inhemskt odlad potatis kan uppstå. Det finns då ofta möjligheter att importera potatis. Även ökade problem med stjälbakterios på potatis torde bli följderna av varmare och fuktigare klimat.

På oljeväxterna kommer förmodligen bomullsmögel och klumprotsjuka leda till starkare angrepp och större förluster. Detta kan medföra försämrad lönsamhet av odlingen och minskad areal, så att mer vegetabilisk olja måste importeras än vad som är aktuellt i dagsläget.

Det finns flera möjligheter för jordbruket att anpassa sig till de nya förhållanden som kommer att råda vid ett förändrat klimat när det gäller ökade problem med insekter, svampsjukdomar, virusjukdomar och ogräs i våra olika grödor. Val av gröda, sort, odlingsteknik, växtföljd, näringstillförsel, utsädeskvalitet, kemisk bekämpning och odlingsstruktur är några faktorer att beakta. Det är därför angeläget med ökade forskningsinsatser för att belysa möjligheterna att utnyttja och förbättra nämnda metoder.

Det finns flera möjligheter till anpassning av växtproduktionen till förändrat klimat och ökade angrepp av skadeinsekter. På kort sikt skulle ökad insats av kemiska medel minska skördeförlusterna. Av flera skäl är det inte önskvärt med ökad användning av kemiska medel i jordbruket. Negativa effekter på flora och fauna och ökad risk för att grundvatten, dricksvatten och åar skall förorenas är några exempel. Under senare år har ett flertal rapporter kommit som visar ökad förorening av bekämpningsmedel i dricksvatten.

För att på sikt minska skador av olika insekter i grödorna bör man så långt möjligt anpassa odlingssystemen så att skadegörarna missgynnas, utnyttja motståndskraftiga sorter, använda lämplig växtföljd och odlingsteknik samt utnyttja biologiska medel. För lantbruksgrödor finns för närvarande endast ett fåtal biologiska medel godkända, men ytterligare medel torde bli tillgängliga i framtiden.

Det finns andra möjligheter att begränsa skador av olika svampsjukdomar än kemisk bekämpning. Användning av friskt utsäde, motståndskraftiga sorter, utnyttja lämplig växtföljd och odlingsteknik är några exempel. Även användning av biologiska medel torde få allt större betydelse. I dag utnyttjas bl.a. biologiska betningsmedel mot utsädesburna svampsjukdomar på stråsäd. Dessa medel har effekt mot flera betydelsefulla sjukdomar.

Ett förändrat klimat innebär sammantaget att växtproduktionen blir relativt känslig för svampangrepp. I dagsläget är vi relativt väl förskonade från flera skadegörare tack vare det nordliga läget, men vid varmare klimat och i områden med ökad nederbörd kommer problemen att bli mer omfattande.

3.9 Sammanfattning

Effekter av skadegörare på grödor vid förändrat klimat
Bladlössen torde få ökad betydelse i vårt land. För närvarande övervintrar de i stort sett endast som ägg på olika vintervärdar. Vid en ökad temperatur på 3–4 grader C torde ett flertal bladlusarter kunna övervintra på olika grödor och ogräs. Så är det för närvarande i Storbritannien och på kontinenten. Av de mer än 500 olika bladlusarter som för närvarande påträffats i vårt land har ett 40-tal ekonomisk betydelse på våra grödor. Det är troligt att flera av dessa får ökad betydelse både som direkta skadegörare och indirekt genom spridning av olika virussjukdomar med större skördeförluster som följd.

För närvarande har rödsotvirus, som främst sprids med havrebladlöss och sädesbladlöss måttlig betydelse i vårsäden, men den torde få ökad betydelse, kanske främst i höstsäden. Även i oljeväxter förekommer virussjukdomar som sprids med bladlöss, men för närvarande har dessa virussjukdomar liten betydelse. Vid varmare klimat som gynnar persikbladlusen, som är en betydelsefull vektor torde medföra starkare angrepp av virussjukdomar i höstoljeväxter.

I stråsäd kommer förmodligen flera sjukdomar att öka i omfattning som rostsjukdomar och gräsmjöldagg. I områden med ökad nederbörd under vår och försommar torde medföra ökade angrepp av flera bladfläcksvampar i vårsäd, som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka.

I potatis torde angreppen av potatisbladmögel öka, särskilt i områden med ökad nederbörd. Även virussjukdomar kan få ökad betydelse i potatis och kanske främst potatisens bladrullsjuka som sprids med persikbladlusen, men även i framtiden torde potatisvirus Y vara den mest betydelsefulla virussjukdomen på potatis. Den kan nämligen spridas med ett 40-tal olika bladlusarter, som kommer att gynnas av det varmare klimatet.

Flera insekter som idag ej förekommer i vårt land kan komma att etablera sig i de södra delarna av landet. Det gäller t.ex. koloradoskalbaggen, som förekommer i potatisodlingar bl.a. i Tyskland, Polen och Balticum. Med vindarna kan den föras in till södra Sverige och klimatet torde i framtiden ej vara någon begränsande faktor för etablering. Även majsbladlusen, som är en betydelsefull vektor för rödsotvirus i både höst- och vårsäd

kommer förmodligen att få ökad betydelse. Det gäller särskilt vid omfattande majsodling.

I oljeväxterna kan svampsjukdomar som bomullsmögel och svartfläcksjuka få ökad betydelse. Bland insekterna kan nämnas rapsjordloppan, som för närvarande främst förekommer i de södra delarna av landet. I sockerbetor kommer förmodligen vissa virussjukdomar att öka i omfattning och då främst sådana som sprids med persikbladlöss.

Skillnader i angrepp mellan olika delar av landet

Mellan olika delar av landet kommer det förmodligen att föreligga skillnader i angrepp av svampar, virus och insekter på olika grödor beroende på nederbörd, temperatur och vegetationsperiodens längd.

Insekter och virussjukdomar

Det varmare klimatet kommer att medföra att många insektsarter kommer att få ökad betydelse både som direkta skadegörare, men också indirekt genom deras förmåga att sprida virussjukdomar.

I södra Sverige torde koloradoskalbaggen i potatis få större betydelse än i mellersta och norra Sverige, men förmodligen blir vintrarna tillräckligt milda för att den skall kunna övervintra i Mälarenregionen. I norra Sverige torde den få måttlig betydelse.

Olika bladlusarter kommer att kunna övervintra utan att genomgå äggstadiet. Detta medför att risken för direkta skador kommer att öka såväl som risken för spridning av olika virus-sjukdomar. Förmodligen kommer bladlössen att gynnas mera än de vårsådda grödorna beroende på att de kommer att utvecklas tidigare än nu i förhållande till grödans utveckling.

Störst problem med både direkta och indirekta skador av bladlössen torde det bli i områden med relativt torrt, soligt och varmt väder under försommaren. Skadorna torde bli större i de södra och mellersta delarna av landet än i de norra delarna. Särskilt starka angrepp kan förekomma i de sydöstra delarna av Sverige. I stråsäden är det främst havrebladlusen och sädesbladlusen som får ökad betydelse, men förmodligen kommer också majsbladlusen att öka i omfattning. Det innebär att rödsotvirus kommer att bli

betydligt vanligare i höstsåden med stora skördeförluster som följd.

Betydligt större problem torde det också bli med persikblad-lusen, som kommer att kunna övervintra i fält på olika grödor och ogräs. Det medför att både direkta skador och indirekta kommer att öka. När det gäller spridningen av virussjukdomar torde det främst bli större problem i höstoljeväxter och i potatis (potatisens bladruillsjuka). Störst problem torde det bli i de södra delarna av landet jämfört med de mellersta och norra och särskilt stora problem i områden med relativt torrt och varmt väder under vår och försommar.

Förekomsten av fritfluga torde öka främst i höstsäd, men även vårsåden torde drabbas i större omfattning än nu beroende på något senare sådd i framtiden i förhållande till fritflugans utveckling under våren. Riklig nederbörd under senvintern och våren kan försena vårsådden, men ändå gynna fritflugans utveckling. I sådana områden kan angreppen bli något starkare jämfört med områden med tidig vårsådd. De geografiska skillnaderna torde inte påverkas nämnvärt jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med mycket gräsmark och vallar brukar populationen av övervintrande fritflugor vara mycket hög och det är främst i sådana områden som stor risk för angrepp föreligger.

Utsädesproduktionen av potatis kan påverkas avsevärt. Under nuvarande förhållanden produceras de högsta klasserna i norra Sverige, där virusspridningen normalt är mycket liten. Under vissa år har mycket omfattande spridning av potatisvirus Y ägt rum främst i de södra och mellersta delarna av landet beroende på mycket stor förekomst av bladlöss, vektorer. I norra Sverige brukar förekomsten av bladlöss vara mycket liten, vilket gynnat utsädesproduktion av hög kvalitet. Förmodligen kommer förekomsten av bladlöss att bli betydande även i norra Sverige i ett framtida varmare klimat. Risker är då stora att utsädesodlingarna kommer att drabbas. För att minska risken för virusspridning vore det önskvärt att inrätta någon form av utsädesreservat inom vilka vanliga bruksodlingar med stor andel virussmittade plantor begränsas.

Svampsjukdomar

Vissa geografiska skillnader torde också föreligga beträffande förekomst av svampsjukdomar. Flertalet svampsjukdomar torde få

ökad betydelse på stråsäden och det gäller särskilt rostsvampar och gräsmjöldagg, som gynnas av högre temperatur, men inte så beroende av mycket hög luftfuktighet. Det innebär att sådana sjukdomar torde bli mer allvarliga i de södra och mellersta delarna av landet jämfört med de norra delarna och det torde främst gälla för höstsäden med längre infektionsperiod på hösten. Även stråknäckaren kommer att gynnas av mildare och fuktigare höstar, vintrar och vårar, vilket innebär att angreppen kommer att bli starkare i höstsäden, särskilt i de södra och mellersta delarna av landet.

Olika bladfläcksvampar på vårsäden torde inte gynnas i så stor utsträckning jämfört med nuvarande förhållanden. I områden med relativt stor nederbörd under våren kan angreppen bli något starkare än nu, men den förväntade relativt torra försomrarna torde missgynna bladfläcksvampar som kornets bladfläcksjuka och sköldfläcksjuka. I norra Sverige torde dessa svampar få ökad betydelse.

På höstsäden är det troligt att angreppen av olika bladfläcksvampar som brunfläcksjuka och vetets bladfläcksjuka kommer att öka något i områden med ökad nederbörd. Den relativt torra våren och försommaren i det framtida klimatet torde missgynna sådana bladfläcksvampar och då främst brunfläcksjuka i de södra delarna av landet.

Potatisbladmögel torde få ökad betydelse i framtiden och då särskilt i områden med relativt varmt och fuktigt väder under vegetationsperioden. Det innebär att angreppen kommer att bli förhållandevis något strakare i de mellersta och norra delarna av landet jämfört med nuvarande förhållanden.

Effekter och sårbarhet i jordbruket

Ett varmare klimat torde ge ökad tillväxt av olika grödor samt möjlighet att odla nya grödor i södra Sverige. Klimatet torde också påverka förekomst och utbredning av skadegörare på olika grödor. Många skadedjur och sjukdomar hålls idag nere på en relativt låg nivå genom de klimatförhållanden som nu råder. Ökad förekomst kan motverkas med ökad användning av kemiska medel, men detta är ej önskvärt ur många aspekter. Negativa effekter på flora och fauna, föroreningar i åar, dricksvatten och grundvatten är några exempel. Det torde det åtgå större insatser än idag för att kunna förebygga angrepp av skadegörare. Förbättrad odlingsteknik, ökad

användning av resistenta sorter och en god växtföljd torde därför få ökad betydelse.

Det finns goda möjligheter att belysa hur ett förändrat klimat kan tänkas påverka både skadegörarna på våra grödor och växtproduktionen. Sverige med sitt nordliga läge och stora klimatvariationer inom landet och extrema dagslängd under sommaren har unika möjligheter att studera insekters och växtsjukdomars utbredning i relation till klimatet för att kunna bedöma effekten av det framtida klimatet. Det är då mycket angeläget att ta till vara de långa dataserier som nu finns tillgängliga och stimulera till ytterligare sådana serier för analys, utveckling och validering av modeller relaterade till väderdata. Det är också angeläget att studera hur extrem-värden beträffande väder påverkar produktion eller förekomst av skadegörare.

Utveckling av tillväxtmodeller för olika grödor skulle kunna ge underlag till vilka effekter klimatförändringen kan ha på växtproduktionen. Till dessa modeller bör också kopplas modeller för olika skadegörares utveckling. Ett förändrat klimat med högre temperatur och i flera områden ökad nederbörd torde gynna flertalet skadeinsekter och växtsjukdomar på våra grödor. Samtidigt torde grödorna utvecklas tidigare än vad som sker för närvarande. Synkronisering mellan skadegörarens och grödans utveckling är angeläget att studera för att kunna förstå och förklara eventuella förändringar i skadegörarförekomsten i det framtida klimatet.

Även undersökningar för att belysa hur ökad temperatur, vindförhållanden, tillgång på värdväxter och dagslängd påverkar olika insektspopulationers utveckling och utbredning torde ge underlag för bedömning av vilka effekter det framtida klimatet kan ha. Det är troligt att ytterligare insektsarter kommer att etablera sig i vårt land och att befintliga arter får en nordligare utbredning. Detta skulle kunna studeras med hjälp av de sugfällor som finns installerade på flera lokaler i Sverige.

Det finns goda möjligheter att belysa vilka effekter klimatförändringarna kan få på olika skadeinsekter och sjukdomar. I Sverige har data samlats in mer eller mindre regelbundet under de senaste 30-åren. Genom att göra dessa lättillgängliga från en databas skulle man kunna erhålla ett underlag för forskare, rådgivare och beslutsfattare att bättre bedöma utbredningen av skadegörare.

3.10 Referenser

- Andersson, B., & Sandström, M. 2000. Bladmögel och brunröta på potatis. Faktablad om växtskydd. Jordbruk 39 J. SLU.
- Anonymous, 2000. Climate Change and Agriculture in the United Kingdom. MAFF publications, London, <http://www.maff.gov.uk>. 65 pp.
- Awmack, C.S., Harrington, R., 1998. Aphid pest potential at elevated CO₂. In: The 1998 brighton conference – Pests & Diseases, Brighton, UK, 16–19 November 1998, 967–972. British Crop Protection Council.
- Awmack, C.S., Harrington, R., Leather, S.R., Lawton, J.H., 1996. The impacts of elevated CO₂ on aphid-plant interactions. In: Implications of "Global environmental change" for crops in Europe, Cambridge, UK, 1–3 april 1996, Aspects of Applied Biology.
- Baker, R.H.A., Cannon, R.J.C., Walters, K.F.A., 1996. An assessment of the risks posed by selected non-indigenous pests to UK crops under climate change. In: Implications of "Global environmental change" for crops in Europe, Cambridge, UK, 1–3 april 1996, Aspects of Applied Biology.
- Baker, R. H. A., MacLeod, A., Cannon, R. J. C., Jarvis, C. H., Walters, K. F. A., 1998. Predicting the impacts of a non-indigenous pest on the UK potato crop under global climate change: reviewing the evidence for the Colorado beetle, *Leptinotarsa decemlineata*. In: The 1998 Brighton conference - Pests & Diseases, Brighton, UK, 16-19 November 1998, 967–972. British Crop Protection Council.
- Berggren Gustafsson, B. & Djurle, A., 1993. Vetets brunfläcksjuka. Faktablad om växtskydd, Jordbruk 12 J. SLU.
- Carter, N., Harrington, R., 1991. Factors influencing aphid population dynamics and behavior and the consequences for virus spread. In: Harris, K. F., Advances in Disease Vector Research, Springer, New York,
- Chakraborty, S., Tiedemann, A.V., Teng, P.S., 2000. Climate change: potential impact on plant diseases. Environmental Pollution 108, 317–326.
- Coakley, S.M., Scherm, H., Chakraborty, S., 1999. Climate change and plant disease management. Annual Review of Phytopathology 37, 399–426.

- Downing, T.E., Harrison, P.A., Butterfield R.E., Lonsdale, K.G. (Eds.), 2000. Climate Change, Climatic Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment. Research Report No. 21, Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, 446pp
- Djurberg, A. 2000. Hur påverkar sänkta priser bekämpningsbehovet i spannmål och oljeväxter. Jordbruksinformation 7, SJV.
- GiLB, Global Initiative on Late Blight, Newsletter, December, 2000 – No. 12
- Goudriaan, J., Zadoks, J.C., 1995. Global climate change: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. *Environmental Pollution* 87, 215–224.
- Gränsbo, G., 1974. Koloradoskalbaggen. Växtskyddsnotiser, Nr 2, 1974.
- Haegermark, U., 1991. Invasion av havrebladlöss (*Rhopalosiphum padi* L.) 1988 från Balticum till Sverige? Växtskyddsnotiser, Nr 1, 1991.
- Hagedorn, D., J. 1984. Compendium of pea diseases. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.
- Hannukkala, A. O., T Kaukoranta, A. Lethinen and A. Rahkonen, 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933–2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation, *Plant Pathology* 56, 167–176.
- Harrington, R., Bale, J.S., Tatchell, G.M., 1995. Aphids in a changing climate. In: Harrington, R. and Stork, N. E., *Insects in a changing climate*, Academic, London,
- Harrington, R., 2002. Insect Pests and Global Environmental Change. In Volume 3, *Causes and consequences of global environmental change*, pp 381–386 edited by Prof Ian Douglas. In *Encyclopedia of Global environmental Change*, Editor-in-Chief: Ted Munn.
- Harrington, R., Woiwod, I.P., 1995. Insect crop pests and the changing climate. *Weather* 50, 200–208.
- Harrison PA, Butterfield RE & Downing TE, 1995. Climate change and agriculture in Europe – assessment of impacts and adaptations. Research Report 9, Environmental Change Unit, University of Oxford, Oxford, UK. ca 400 pp.

- Hooker, W., H. 1981. Compendium of potato diseases. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.
- Jahn, M., Kluge, E., Enzian, S., 1996. Influence of climate diversity on fungal diseases of field crops – evaluation of long-term monitoring data. In: Implications of "Global environmental change" for crops in Europe, Cambridge, UK, 1–3 april 1996, Aspects of Applied Biology.
- Johansson, K., 1974. Övervintringsförsök med koloradoskalbaggen vintern 1972 – 1973. Växtskyddsnotiser Nr 2, 1974.
- Jones, T.H., Bezemer, T.M., Knight, K.J., Newington, J.E., Thompson, L.J., 1998. The effect of elevated atmospheric carbon dioxide on aphids and Collembola: an ecotron experiment. In: The 1998 brighton conference – Pests & Diseases, Brighton, UK, 16–19 November 1998, 967–972. British Crop Protection Council.
- Jonsson, L., 1992. Dwarf bunt (*Tilletia contraversa* Kuhn) in winter wheat in Sweden: relationship to climate (1951-1987), climate, survey results and cultivation measures (1967–1987). Journal of Plant Diseases and Protection, 99 (3), 256–265, 1992
- Kaukoranta, T., 1996. Impact of global warming on potato late blight: risk, yield loss and control. Agricultural and food science in Finland 5, 311–327.
- Larsson, H., 2005. Aphids and Thrips: The Dynamics and Bio-Economics of cereal Pests. Doctoral Thesis No. 2005:119, Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, SLU.
- Lindblad, M. & Sigvald, R., 1996. A Degree – day model for regional prediction of first occurrence of frit flies in oats in Sweden. Crop Protection Vol 15, No 6:559–565.
- Lindblad, M. & Sigvald, R., 1999. Frit fly infestation of oats in relation to growth stage and weather conditions at oviposition, Crop Protection 18 517–521.
- Lindblad, M. & Sigvald, R., 2004. Temporal spread of wheat dwarf virus and mature plant resistance in winter wheat. Crop Protection 23 (2004) 229–234.
- Mathre, D., E. 1982. Compendium of barley diseases. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.

- Parry, M L, Carter, T R, and Porter, J H 1989. The Greenhouse Effect and the Future of UK Agriculture, *J. R. Agric. Soc.*, 150, 120–121.
- Patterson, D.T., Westbrook, J.K., Joyce, R.J.V., Lindgren, P.D., Rogasik, J., 1999. Weeds, insects and diseases. *Climatic change* 43, 711–727.
- Sigvald, R., 1984. The relative efficiency of some aphid species as vectors of potato virus Y0 (PVY0). *Potato Research* 27, 285–290.
- Sigvald, R., 1985. Mature plant resistance of potato plants against potato virus Y0 (PVY0). *Potato Research* 28, 135–143.
- Sigvald, R., 1986. Forecasting the Incidence of Potato Virus Y0. In: McLean, G. D., Garrett, R. G. & Ruesink, W. G. (Eds), *Plant Virus Epidemics: Monitoring, Modelling and Predicting Outbreaks*. Academic Press, Sydney. p. 419–441 (bokkapitel).
- Sigvald, R., 1987. Aphid migration and the importance of some aphid species as vectors of potato virus Y0 (PVY0) in Sweden. *Potato Research* 30, 267–283.
- Sigvald, R. 2005. Virus i höstoljeväxter. Faktablad om växtskydd, Jordbruk 126 J
- Sigvald, 2007. Vetedvärgsjuka i höstvet, Faktablad om växtskydd, Jordbruk
- Solbreck, C., 1993. Predicting insect faunal dynamics in a changing climate – a northern European perspective. In: *Impacts of climatic change on natural ecosystems, with emphasis on boreal and arctic/alpine areas*. Eds: Holten, J. I., Paulsen, G. & Oechel, W. C., Norwegian Institute for Nature Research (NINA), and the Directorate for Nature Management (DN), Trondheim, Norway. 185 p.
- Sundheim, L. 1982. Sjukdomar på korn og engvekster. Landbruks-handeln, Ås, Norge.
- Sutherst, R.W., Baker, R.H.A., Coakley, S.M., Harrington, R., Kriticos, D.J. and Scherm, H. (2007). Pests under global change – meeting your future landlords? Chapter 17 (pp 211–226) in Canadell, J.G., Pataki, D. and Pitelka, L. (Eds) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. The IGBP Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 336pp.
- Canadell, J.G., Pataki, D. and Pitelka, L. (Eds) *Terrestrial Ecosystems in a Changing World*. The IGBP Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 336pp.
- SCB, 1998. Jordbruksstatistisk årsbok 1998.

- SCB, 2000. Jordbruksstatistisk årsbok 2000.
- Sundell, B. 1977. Växtskadegörare i jordbruket. Delrapport 1: Ekonomisk värdering av förluster. Rapport från institutionen för ekonomi och statistik, Lantbrukshögskolan, nr 109.
- Sveriges National Atlas, 1992. Jordbruk. Red. Clason Å., Granström, B. Almqvist & Wiksell, Stockholm. 128 sidor.
- Thomas, T., 1989. Sugar beet in the greenhouse - a global warming warning. Br. Sugar 57
- Twengström, E. 1999. Bomullsmögel. Faktablad om växtskydd, jordbruk. SLU.
- Waern, P. & Ekbom, B., 1995. Kålmal (*Plutella xylostella*) som skadedjur i våroljeväxter. Växtskyddsnotiser Nr 4, 1995.
- Weise, M., V. 1987. Compendium of wheat diseases. Second edition. The American Phytopathological Society, ST. Paul, Minnesota, USA.
- Wikteliuss, S., 1981. Studies on aphid migration with special reference to the bird cherry oat aphid, *Rhopalosiphum padi* (L.). Växtskyddsrapporter, avhandlingar 5. Institutionen för växt- och skogsskydd, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 1981.
- Wikteliuss, S., 1980. Vindspridning av insekter. Forskning och Framsteg, Stockholm 1980, 1–9.
- Woiwod, I P and Harrington, R, 1994. Flying in the Face of Change – The Rothamsted Insect Survey, in Long Term Research in Agricultural and Ecological Sciences, eds R A Leigh and A E Johnston, CABI, Wallingford, 321–342.
- Växteko (<http://sll.bibul.slu.se/>)
- Yamamura, K and Kiritani, K (1998) A simple method to Estimate the Potential Increase in the Number of Generations Under Global Warming in Temperate Zones, *Appl. Entomol. Zool.*, 289–29

Muntlig kommunikation

Desirée Börjesdotter, HIR, Malmöhus

4 Ogräs

Kontrollen av ogräsen utgör en ekonomiskt viktig del av växtodlingen. Enbart användningen av herbicider (kemiska bekämpningsmedel) uppgick till ca 415 milj kr år 2000 (Tabell 4.1). Det utgör 1,5 % av jordbrukets totala insatsmedel och 59 % av dess bekämpningsmedelsanvändning. Till detta kommer kostnader i form av direkt mekanisk ogräsbekämpning samt andra jordbearbetningsåtgärder (plöjning, stubbearbetning och såbäddsberedning) som delvis är motiverade av ett behov av att kontrollera ogräsförekomsten. Indirekt orsakar ogräsen kostnader genom att växtföljden måste anpassas till gårdens faktiska eller potentiella ogräsproblem. En växtföljd dominerad av höstsådda grödor gynnar förekomsten av vinterannuella (höstgroende) ogräs som stimuleras till groning i samband med höstsådden. Detta gäller t.ex. åkerven, sandlost och renkavle som alla är besvärliga gräsogräs i områden som domineras av höstsädesodling. På motsvarande sätt gynnas sommarannuella (vårgroende) ogräs av en växtföljd med alltför stort inslag av vårsådda grödor. Flyghavre är exempel på en ogräsart som starkt gynnas av återkommande vårsäd (Tabell 4.2).

Tabell 4.1 Försåld mängd bekämpningsmedel inom svenskt jordbruk

<i>Bekämpningsmedel</i>	<i>milj kr</i>
Betningsmedel	62,8
Fungicider	173,4
Herbicider	413,5
Insekticider	45,4
Övriga	2,0
Summa	697,1
(Totalt, insatsmedel	27 858)

Tabell 4.2 Förekomst av flyghavre på gårdar med olika andel vårsäd i växtföljden

Andel vårsäd (%) av odlad areal	Andel gårdar (%) med förekomst av flyghavre	
	Torps församling	Stöde församling
<20	0	0
20-40	8	2
40-60	18	19
60-80	15	17
>80	40	25

Resultat av enkät i två församlingar. Från Godhe (1977).

Vad gäller den ekologiska odlingen begränsar ogräsen ännu mera tydligt friheten att odla de grödor som har svag konkurrensförmåga. Till exempel är den blygsamma odlingen av ekologiska sockerbetor och oljevaxter till stor del beroende på de stora insatser som måste göras mot ogräsen. I denna rapport har ingen åtskillnad gjorts mellan effekten av klimatförändringar på ogrässituationen i konventionell och ekologisk odling, och inget försök har gjorts att uppskatta eventuell förändring av respektive andelar av arealen.

I jämförelsen av ogrässituationen i olika europeiska länder har jag använt den försålda mängden herbicider relaterat till den odlade arealen som ett enkelt mått på bekämpningsbehovet. Rapportens avslutande diskussion utgör ett försök att bedöma hur en framtida klimatförändring kommer att påverka ogräsfloras sammansättning, och hur samspelet med ändrade grödor, odlingssystem och odlingsåtgärder leder till ett ändrat bekämpningsbehov.

4.1 Ogräsfloras artsammansättning

Ett vegetationssamhälles artsammansättning har beskrivits som en effekt av olika såll (Lamberts et al., 1998):

1. Det historiska sållet omfattar spridningen till lokalen, en grundförutsättning som oftast bara tillfälligt fungerar som ett hinder. Naturliga spridningsvägar av frön och vegetativa spridningsorgan överskuggas ofta av effekten av mänsklig aktivitet i form av transporter.

2. Det fysiologiska sållet sorterar bort arter som saknar en fungerande anpassning till klimatet. Vegetationsperioden måste vara tillräckligt lång för att tillåta att artens livscykel hinner fullbordas och nya spridningsorgan bildas. Alternativt är arten tillräckligt hårdig för att övervintra som groddplanta och hinna fullborda livscykeln följande år. För att plantan ska övergå från vegetativ tillväxt till regenerativ utveckling måste kravet på fotoperiod (långdagsväxt, kortdagsväxt respektive dagsneutral växt) uppfyllas.
3. I det biotiska sållet sorteras de arter bort som inte klarar konkurrensen med omgivande vegetation och angrepp från herbivorer och andra skadegörare.

För en art ska kunna etablera sig som ett framgångsrikt ogräs måste ytterligare ett säll passeras, nämligen en anpassning till de odlingsåtgärder som är förknippade med växtodlings- systemet. Framförallt är tidpunkten för groddplantans uppkomst helt avgörande för möjligheten att överleva jordbearbetningen i samband med sådd och undvika alltför stark konkurrens från en kraftig, väletablerad gröda. Ogräsfrönas gröningsvila i kombination med krav på tillräckligt hög temperatur och, ofta, en ljusstimulans för groning är anpassningar som är gemensamma för flertalet av de vanligaste ogräsarterna.

Ogräsflorans förändring

Jämfört med sydligare länder i Europa utgör de perenna arterna en relativt liten, men mycket betydelsefull, andel av den svenska ogräsfloran. Andelen gräsogräs är också betydligt lägre. Samtliga ogräs av betydelse i Sverige är utan undantag C3-växter. I Tabell 4.3 framgår att få av våra ogräsarter är specifikt knutna till konkurrenssvaga, radsådda grödor. Enda undantaget är nattskatta, *Solanum nigrum*, som här förekommer främst i potatis och fältgrönsaker. Med framtida klimatförändringar kan vi räkna med att ett antal av de arter som nämns i Tabell 4.3, men som inte betraktas som ogräs i Sverige, får möjlighet att etablera sig.

Tabell 4.3 Förekomst av de viktigaste ogräslarterna i Nord-, Väst- och Centraleuropa (enkät utförd av Schroeder *et al.*, 1993) i olika typer av grödor. Siffrorna betecknar % av maximal förekomst. Asterix betecknar arter som tillhör de 58 vanligast förekommande i svensk växtodling. Tabellen modifierad från Håkansson (2003)

Art	Potatis, sockerb., grönsaker	Vår- säd	Majs, sorghum	Höst- säd	Fleråriga grödor	Totalt	Fotosyntes- system
Sommarannueller							
<i>Abutilon theophrasti</i>	2	2	18	2	8	5	C3
Svinamarant	29	6	60	3	46	26	C4
Malörtsambrosia	6	2	16	3	6	6	C3
Vägmålla	35	12	51	6	31	26	C3
*Flyghavre	25	60	29	27	15	29	C3
*Åkerbinda	48	41	53	27	42	42	C3
*Svinmålla	82	49	80	27	42	59	C3
Blodhirs	16	4	53	4	40	19	C4
Hönshirs	43	16	84	4	42	35	C4
*Åkerkårel	13	22	11	13	23	15	C3
*Jordrök	44	31	27	20	35	33	C3
*Hampdån	39	59	27	28	17	35	C3
Gängel	38	6	51	4	31	26	C3
*Trampört	57	45	49	33	40	46	C3
*Åkerpilört	63	45	53	27	40	48	C3
Grå kavelhirs	16	8	56	7	27	19	C4
*Nattskatta	51	12	67	6	29	34	C3
*Svinmolke	40	20	36	17	29	30	C3
*Åkerspergel	31	29	29	18	25	27	C3
Vinterannueller							
*Renkavle	14	25	10	50	11	23	C3
*Åkerven	4	24	4	46	4	17	C3
*Lomme	41	29	33	50	11	23	C3
*Snärjmåra	52	55	34	71	46	54	C3
*Rödplister	38	47	31	59	42	44	C3
*Harkål	21	22	22	21	19	21	C3
*Åkerförgätmigej	24	29	18	43	15	27	C3
*Vitgröe	64	51	49	59	52	58	C3
*Våtarv	83	73	56	81	60	75	C3
*Penningört	42	39	27	48	36	42	C3
*Åkerviol	45	51	24	66	25	46	C3

Art	Potatis, sockerb., grönsaker	Vår- säd	Majs, sorghum	Höst- säd	Fleråriga grödor	Totalt	Fotosyntes- system
Stationära perenner							
Ängssyra	3	6	4	3	21	6	C3
*Kruskräppa	8	10	16	12	38	14	C3
*Tomtskräppa	7	6	13	9	42	13	C3
*Maskros	16	12	18	13	65	21	C3
Krypande perenner med stoloner							
*Revmörblomma	11	8	11	10	40	14	C3
Krypande perenner med rhizomer							
<i>Cynodon dactylon</i>	4	4	20	2	23	8	C4
Jordmandel	7	2	13	2	6	6	C4
*Kvickrot	50	52	58	58	60	55	C3
*Åkerfräken	31	24	33	22	47	30	
Vattenpilört	26	22	33	16	29	24	C3
<i>Sorghum halepense</i>	3	2	27	2	13	7	C4
Krypande perenner med rotutlöpare							
*Åkertistel	39	53	36	49	52	45	C3
Åkervinda	23	22	47	20	77	32	C3
Bergsyra	11	14	16	12	27	14	C3
*Åkermolke	36	31	33	22	42	33	

Direkt inverkan av klimatförändringar på ogräsfloras sammansättning

Temperatureffekt

Enligt klimatmodellerna förväntas medeltemperaturen under vintermånaderna öka med 3,5–5,5°C till ~2085. Arter med mindre vinterhårdiga egenskaper kan därmed förväntas överleva som groddplantor i större utsträckning. Några tänkbara exempel på sådana arter är renkavle, *Alopecurus myosuroides*, och bägar-nattskatta, *Solanum physalifolium*.

Renkavle är företrädesvis höstgroende men utbredningen är i dagsläget begränsad till Skåne, Halland och Gotland. Försök visar att den geografiska utbredningen är till stor del begränsad av svag övervintring (Milberg & Andersson, 2005). Mildare vintrar borde innebära att arten kan spridas norrut.

Bägarnattskatta förekommer som ogräs endast i Skåne, Blekinge och Gotland. Arten räknas som vårgroende men har en sen och relativt utdragen uppkomstperiod med viss groning även på sensommaren. Eventuellt kan mildare vinterklimat medföra att ett mindre antal plantor övervintrar. Eftersom bägarnattskattan är mottaglig för potatisbladmögel, *Phytophthora infestans*, (Andersson 2003) skulle denna smitta kunna föras vidare och tidigt på säsongen infektera potatisbestånd.

Generellt medför högre temperatur en snabbare fenologisk utveckling hos växter. Detta, i kombination med förväntad längre vegetationsperiod, skapar möjlighet för arter som tidigare inte hunnit fullfölja sin livscykel att etablera sig i Sverige. Exempelvis kan detta gälla för småflen, *Phalaris minor*, som i nuläget inte förekommer i den svenska floran. Småflen betraktas som ett av de allvarligaste ogräsproblemen i asiatiska odlingssystem dominerade av vete- och risproduktion och har relativt nyligen uppmärksamats som nytt "superogräs" i Irland (Anonym, 2004).

Nederbördseffekt

Klimatmodellerna pekar på en relativt kraftig minskning av nederbörden under månaderna juni – september, framförallt i Götaland och Svealand. Torra förhållanden i kombination med högre temperaturer kan öka konkurrensförmågan hos arter med fotosyntessystem C4. Dessa har en mekanism som ökar det partiella koldioxidtrycket, vilket minimerar fotorespirationen och ger en högre fotosyntesaktivitet vid höga temperaturer än C3-växter. Det högre CO₂-trycket medför dessutom att bladens klyvöppningar är mindre vilket minskar transpirationen och ökar det effektiva utnyttjandet av vatten. Som en konsekvens har C4-växterna en konkurrensfördel på varma platser och torr jord. I vegetationssamhällen med både C3- och C4-växter har de förra en fördel tidigt på säsongen med låga temperaturer och hög jordfuktighet, medan förhållandet är det motsatta under högsommaren.

Exempel på C4-växter som eventuellt skulle gynnas i svensk växtodling är hönshirs, *Echinochloa crus-galli*, och svinamarant, *Amaranthus retroflexus*. Båda dessa arter förekommer i dag som tillfälliga ogräs i södra Sverige, men nästan enbart i grödor som majs och sockerbetor med stort radavstånd och därmed dålig konkurrensförmåga gentemot ogräs (jmf Tabell 4.3). Med förvän-

tat torrare och varmare somrar ökar dessa arters möjligheter att etablera kraftiga ogräspopulationer i södra Sverige samt även förekomma mer eller mindre sporadiskt i Mellansverige. Mot detta talar att båda arterna betecknas som kvantitativa kortdagsväxter med fördröjd fenologisk utveckling vid ökade dagslängder (Huang *et al.* 2000; Swanton *et al.* 2000). Ytterligare geografisk spridning norrut kan alltså hämmas av för sen frösättning.

Effekter av ökad CO₂-halt

Den nuvarande CO₂-koncentrationen är suboptimal för fotosyntes i C3-växter. En ökad koncentration skulle öka nettofotosyntesen genom minskade förluster i fotorespirationen. Eftersom fotorespirationen ökar med temperaturen skulle en ökad CO₂-halt gynna C3-växter framförallt vid hög temperatur. Hos C4-växter däremot har CO₂-ökningen liten betydelse för nettofotosyntesen (Patterson, 1995).

Sammanfattningsvis bör den direkta fysiologiska effekten av ökad CO₂-halt gynna främst C3-växter, men konsekvenserna för klimatet, d.v.s. högre temperatur och torrare förhållanden, talar för större fördelar för C4-växter (Patterson, 1995).

Indirekt effekt av klimatförändringar på ogräsfloras sammansättning

Effekter av ändrat grödval

Längre växtsäsong och högre temperatur skapar möjligheter att i större utsträckning odla sent mognande grödor som majs och sojaböna i Sverige. Båda dessa arter odlas med stora radavstånd och har, framför allt tidigt på säsongen, dålig konkurrensförmåga gentemot ogräs. Sammantaget utgör detta en fördel för ogräsarter med sen utveckling och dålig konkurrensförmåga. Exempelvis är det tänkbart att hönshirs och svinamarant, som i Europa är mest frekventa i majs och sorghum (se Tab?), gynnas av odlingen av dessa grödor.

Effekter av ändrade växtföljder

Vattenunderskottet under sommarmånaderna kommer sannolikt att missgynna vårsäd och våroljeväxter och leda till större andel höstsådda grödor. Återkommande höstsådd utan avbrott för vårsådd gynnar kraftigt ogräsarter som är anpassade till uppkomst på hösten och övervintring som groddplanta.

Sammanfattning – förändringar i ogräsfloran

- ✓ Arter som betraktas som allvarliga ogräs men vars utbredning är begränsad till sydligaste Sverige kan förväntas spridas norrut. Dit hör t.ex. renkavle (*Alopecurus myosuroides*), sandlosta (*Bromus sterilis*), luddlosta (*Bromus hordeaceus*) och bägar-nattskatta (*Solanum physalifolium*).
- ✓ Arter som betraktas som allvarliga ogräs i våra sydliga och östra grannländer, men bara sporadiskt förekommer som åkerogräs i Sverige, kan förväntas etablera livskraftiga bestånd. Exempel utgörs av hönshirs (*Echinochloa crus-galli*), svinamarant (*Amaranthus retroflexus*), malörtsambrosia (*Ambrosia artemisiifolia*), kavelhirs (*Setaria viridis*) och blodhirs (*Digitaria sanguinalis*).
- ✓ Arter som är nya för den svenska floran, men kända som ogräs i andra delar av Europa, kan invandra. Småflen (*Phalaris minor*), jordmandel (*Cyperus esculentus*), *Abutilon theophrasti*, *Cynodon dactylon* och *Sorghum halepense* utgör exempel på sådana arter.
- ✓ Mer omfattande odling av grödor med svag konkurrensförmåga och/eller lång växtsäsong gynnar ogräsarter med motsvarande växtsätt. Delvis kan det kompensera för den långsammare utveckling som de långa dagarna orsakar i kortdagsväxterna.
- ✓ Ändrade växtföljder med större andel höstsådda grödor gynnar vinterannuella ogräs, inte minst gräsogräs som renkavle och sandlosta.

4.2 Klimatförändringens effekt på bekämpningsbehovet

Behovet av bekämpning av åkerogräs kan åtminstone delvis sägas speglas av användningen av kemiska ogräsmedel (herbicer). Tabell 4.4 visar den försålda mängden herbicer per arealenhet av brukad åkermark för ett antal europeiska länder. Data visar tydligt att användningen av herbicer är relativt låg i Norden jämfört med de sydligare länderna och genomsnittet för EU:s dåvarande 15 länder. Även i jämförelse med Danmark är hektardosen lägre i Sverige. Denna skillnad består även om vall- och grönfoderodling (ca 34 % av arealen) undantas från beräkningen.

Tabell 4.4 Försäljning av herbicer (aktiv substans; genomsnitt 1997–2001) i EU och enskilt för sju medlemsländer, samt andel höstsådd areal (%)

	<i>Försåld mängd (kg ha⁻¹)</i>	<i>Andel höstsådd (%)</i>
Storbritannien	3,7	
Nederländerna	2,7	14
Frankrike	1,9	42
Tyskland	1,4	57
Danmark	0,9	38
Sverige	0,5 (0,75*)	17
Finland	0,4	6
EU (15 medlemsländer)	1,6	

* = beräkning med vall- och grönfoderodling undantagen.

Skillnaden i herbicidförsäljning kan antas ha ett flertal orsaker, relaterade till faktiskt bekämpningsbehov men eventuellt också till politiska beslut om restriktioner. Ett större bekämpningsbehov i våra södra grannländer kan bero på samspel mellan ogräsfloras sammansättning, odlingssystem och odlingsåtgärder, enligt nedan.

Artrikare ogräsflora

En mer divers ogräsflora kräver herbicer med effekt mot ett större antal arter, ofta uppnådd genom ökad dos. Odlaren kan även tvingas utföra upprepade bekämpningsinsatser om uppkomsttid-

punkterna varierar mellan ogräsarterna. Hos de arter som ingår i den nuvarande svenska ogräsfloran är tidpunkten för uppkomst vanligtvis synkroniserad med tidpunkten för vår- respektive vårsådd. Bland undantagen finns dock nattskatta (*Solanum nigrum*) och bägarnattskatta (*S. physalifolium*) vars uppkomst sker relativt sent (juni–juli) och utdraget. Dessa arter utgör allvarliga problem i framförallt konkurrenssvaga fältgrönsaker i södra Sverige (Andersson, 2007).

Glemnitz *et al.* (2000) genomförde en undersökning av ogräsfloran längs en nord-sydlig gradient i Sverige, Tyskland, Ungern och Italien. Skillnaden i årsmedeltemperatur var ca 1,5°C mellan de undersökta regionerna. Det totala antalet ogräsarter sjönk från 165 till 78 från det sydligaste till det nordligaste inventerade området. Om det finns ett samband mellan ogräsfloras diversitet och herbicidanvändning kan det utgöra en del av förklaringen till den större herbicidförsäljningen i sydligare länder.

Herbicidresistens

Herbicidresistenta eller -toleranta ogräsarter, kräver högre doser för effektiv bekämpning. Antal fall av konstaterad herbicidresistens är betydligt lägre i de nordiska länderna än i de viktigaste jordbruksländerna i övriga Europa (se Tabell 4.5). En del av förklaringen är troligen att färre studier har genomförts här, men en del av förklaringen kan också vara en mer ensidig odling, alternativt spridning av resistent populationer från områden med intensiv och ensidig odling. Några av de arter där flest fall av resistens konstaterats tillhör de som kan förväntas öka i Sverige som en effekt av klimatförändringarna (svinamarant, renkavle, hönshirs, blodhirs; se kommentarer ovan).

Konkurrenssvaga grödor

Odling av en större andel grödor med svag konkurrensförmåga gentemot ogräs utgör en viktig förklaring. Den synergistiska effekten av herbicidbehandling och konkurrens visades tydligt av Håkansson (2003). Medan många ogräsplantor som växte utan konkurrens överlevde en normal herbiciddos dödades de allra flesta när de växte i ett normal kornbestånd. Slutsatsen blir att en gröda

som odlas med stort radavstånd och/eller har en långsam etablering kräver en högre herbiciddos för samma ogräseffekt. Den större arealen av grödor som t.ex. majs i sydligare länder bidrar därför till det större bekämpningsbehovet.

Höstsädesdominerade växtföljder

Som framgår av Tabell 4.4 är andelen höstsådda grödor (främst stråsäd) betydligt större i Danmark, Tyskland och Frankrike än i Sverige. En växtföljd med, som i Tysklands fall, mer än 50 % höstsådd gynnar kraftigt de vinterannuella ogräsen. Inte minst gräsogräs som renkavle, åkerven och sandlosta får möjlighet att bygga upp mycket kraftiga populationer. Eftersom de två förra är kända för att lätt utveckla herbicidresistens bidrar denna typ av växtföljd till ökad herbicidanvändning.

Odlingssystem med reducerad jordbearbetning

Andelen areal i Sverige som brukas med plöjningsfri odling kan uppskattas till 10 % (Arvidsson, muntlig information), medan den är betydligt högre i Storbritannien (20-30%), Tyskland (20 %) och Frankrike (18 %) enligt ECAF (hemsida för The European Conservation Agriculture Federation). Effekten av plöjningsfria odlingssystem på ogräsförekomsten är något oklar, men framförallt de perenna arterna förefaller gynnas. Kostnaden per ha för kemisk bekämpning ökade i medeltal över nio år med 25 € i höstvet, 50–70 € i höstkorn, 50–70 € i höstraps och 50 € i sockerbetor, i tyska försök (Anonym, 2006).

Tabell 4.5 Konstaterade fall av herbicidresistens

	<i>Antal fall</i>	<i>Arter (exempel)</i>
Frankrike	31	Renkavle, svinamarant, kolvhirs
Storbritannien	24	Renkavle, svinmålla, baldersbrå
Tyskland	19	Renkavle, svinamarant
Polen	9	Svinamarant, hönshirs, blodhirs
Nederländerna	7	Renkavle, svinmålla, korsört
Sverige	7	Renkavle, åkerven, åkertistel, våtarv
Norge	5	Svinmålla, vitgröe, våtarv
Danmark	1	Våtarv

Efter WeedScience.com (hemsida) och Liv Åkerblom-Espeby (muntlig information).

4.3 Sammanfattande diskussion

Effekten av framtida klimatförändringar på bekämpningsbehovet av ogräs i Sverige

Den ovanstående beskrivningen av ogräsfloran och ogräskontrollen i Europa kan fungera som utgångspunkt när vi diskuterar tänkbara effekter av klimatförändringar på ogräskontrollen. Den enkla tolkningen skulle kunna vara att se förändringar i framtidens ogrässituation som en effekt av temperaturen, och därmed sätta likhetstecken mellan områden i dag och i framtiden med samma årsmedeltemperatur. Denna tolkning är delvis giltig som en prediktion av hur de fysiologiska begränsningarna för en art ändras i en region, även om den inte tar hänsyn till effekten av långa dagar på en kortdagsväxt. På samma sätt skulle man kunna överföra bekämpningsbehovet (förenklat uttryckt i herbiciddos per ha) till regioner med motsvarande temperatur. Denna typ av resonemang ger dock en bristfällig bild av den förväntade ökningen av bekämpningsbehov. En mer komplicerad och realistisk tolkning tar hänsyn till de samspel som finns mellan ogräsfloras sammansättning, grödval, växtföljd, odlingssystem och odlingsåtgärder. Med utgångspunkt från tidigare resonemang kan vi räkna med ett ökat bekämpningsbehov under följande förutsättningar:

Andelen konkurrenssvaga grödor, t.ex. majs och solros, förväntas öka i södra Sverige. Den svagare konkurrensen i kombination med det gynnsammare klimatet medför att ogräsfloran blir mer artrik. Detta ställer större krav på breda verkningsmekanismer

hos herbicider och i vissa sammanhang högre doser. Den svagare konkurrensen i sig gör också att dosen vid kemisk bekämpning måste höjas för att uppnå samma kontrolleffekt som i ett slutet stråsädesbestånd

Nya arter i ogräsfloran med senare och mer utdragen uppkomst medför att såväl mekaniska som kemiska bekämpningar måste upprepas, i synnerhet i grödor med stora radavstånd och sen utveckling. Under torra förhållanden gynnas C4-ogräs i konkurrensen med C3-grödor, vilket eventuellt kan kräva större bekämpningsinsats.

Nederbördsfattiga somrar med vattenunderskott i marken kommer sannolikt att medföra att andelen höstsådda grödor ökar. Detta kommer att starkt gynna vinterannuella ogräs. Samtidigt finns det starka tecken som tyder på att den plöjningsfria odlingen ökar i omfattning. Detta kommer ytterligare att gynna arter som renkavle, åkerven och sandlost. När det gäller de två förstnämnda utgör risken för herbicidresistens ett allvarligt problem. Denna risk ökar kraftigt med andelen höstsådd och leder till ett större bekämpningsbehov.

Referenser

- Anonym (2006) KASSA. Sharing Knowledge on Sustainable Agriculture. Brussels 20–21 February 2006. The European platform.
- Andersson B., Johansson M. & Jönsson B. (2003) First report of *Solanum physalifolium* as a host for *Phytophthora infestans*. Plant diseases 87, 1538.
- Andersson L. (2007) Nattskatta gror sent. Potatis & grönsaker 7, 40–41. Under tryckning.
- Anonym (2004) Crop Protection 2004, 17 april: http://www.farmersjournal.ie/cp2004/canary_grass.pdf
- ECAF (citerat 2007-03-27) <http://www.ecaf.org/Life.htm>
- Godhe N-I (1977) Flyghavre i Medelpad, Västernorrlands län. Sveriges lantbruksuniversitet, inst. f. växtodlingslära. Examensarbete 679.
- Glemnitz M., Czimer G., Radics L. & Hoffmann J. (2000) Weed flora composition along a north – south gradient in Europe. Acta Agronómica Óváriensis 42 (2). Abstract.

- Huang J.Z., Shrestha A., Tollenaar M., Deen W., Rahimian H. & Swanton C.J. (2000) Effects of photoperiod on the phenological development of redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). *Canadian Journal of Plant Science* 80:929-
- Håkansson S. (2003) Weeds and weed management on arable land. An ecological approach. CABI Publishing, Wallingford.
- Lambers H., Chapin III F.S. & Pons T.L. (1998) Plant physiological ecology. Springer-Verlag, New York.
- Milberg P. & Andersson L. 2006. Evaluating the potential northward spread of two grass weeds in Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 56, 91–95.
- Patterson, D.T. (1995) Weeds in a changing climate. *Weed Science* 43, 685–701.
- Schroeder D., Mueller-Schaerer H. & Stinson C.A.S. (1993) A European weed survey in 10 major crop systems to identify targets for biological control. *Weed Research* 33, 449–458.
- Swanton CJ, Huang JZ, Shrestha A, Tollenaar M, Deen W & Rahimian H, 2000. Effects of temperature and photoperiod on the phenological development of barnyardgrass. *Agronomy Journal* 92:1125–1134.
- WeedScience.com (citat 2007-03027) International survey of herbicide resistant weeds. Funded and Supported by the Herbicide Resistance Action Committee (HRAC), the North American Herbicide Resistance Action Committee (NAHRAC), and the Weed Science Society of America (WSSA). Homepage <http://www.weedscience.org>

Muntlig information

Johan Arvidsson, forskare, inst. f. markvetenskap, SLU.
Liv Åkerblom-Espeby, doktorand, inst. f. växtproduktionsekologi, SLU.

5 Kvalitet

5.1 Bakgrund

Kvaliteten på skördade växtprodukter beror av ett samspel mellan växtens ärftliga egenskaper (genotypen), d.v.s. art och sort, och dess omgivande miljö, både under odlingen, vid skörd och under lagring. Olika ämnen i växten syntetiseras och lagras in vid olika stadier i plantans utveckling. Både starten och längden av dessa stadier påverkas av omgivningsfaktorer såsom fuktighet, temperatur, ljus, syre- och koldioxidtillgång, patogeninfektioner och toxiska ämnen. Förekomst och mönster i omgivningsfaktorernas växlingar, såsom markfaktorer, konkurrens, samverkan eller infektion av andra organismer, har också stor inverkan på skördeproduktens innehåll, mängd och sammansättning av olika substanser, näringsämnen likaväl som oönskade ämnen.

Olika ämnens förekomst i växten styrs i olika grad av gener respektive miljö. Förekomst av de ämnen som är till största delen sortstyrda, beror alltså mest på vilka arter och sorter som överhuvudtaget kan förädlas fram för odling i vissa miljöer, vid klimatförändringar för nya klimatzoner. Förekomst av de ämnen som är mera miljöstyrda beror både av art eller sort och på omgivningsfaktorerna i samspel, ibland framförallt på omgivningsfaktorerna. Vilken kvalitet som eftersträvas beror i sin tur på för vilket ändamål växten odlas. Som resultat av klimatförändringar kan grödornas odlingsområden komma att förskjutas och förutsättningarna för viss kvalitet inom ett visst geografiskt område kan då förändras på sätt vi får svårt att förutse utan forskning inom området.

5.2 Kvalitetskrav för svenska växtprodukter i dagens jordbruk

Grödor som odlas för produktion av livsmedelsråvara, t.ex. brödvete, malkorn eller gryn havre har sina specifika kvalitetskrav. Fodergrödor har sina krav beroende på djurslag. Idisslare, t.ex. nöt och får, har andra krav än häst eller enkelmagade djur såsom svin eller fjäderfä. Produktion av råvara till bränsle eller teknisk användning kan ställa andra speciella krav på sort och omgivning

under odling, skörd och lagring. Kvalitetskraven definieras enligt användningsområde enligt:

- Livsmedelsråvara, t.ex. brödvete, gryn Havre, spannmål till barnmat, malkorn, matolja av raps m fl oljevaxter.
- Foder, dvs. kraftfoder såsom stråsäd med högt energiinnehåll (stärkelse) och proteinfoder, dvs. oljeväxt- och baljväxtprodukter till idisslare (t.ex. nöt och får), häst eller till enkelmagade djur (t.ex. svin och fjäderfä).
- Teknisk råvara, t.ex. oljor med speciell fettsyrasammansättning; biologiskt nedbrytbara, farmaceutiska, kosmetiska, färg-, träkonservering-, skär- och smörjoljor
- Bränsle- och energigrödor, såsom oljevaxter till RME (rapsmetylester), vete till etanol, havre, salix och energigräs till eldning eller biogas

För avnämarna definieras därefter mer specificerade kvalitetskrav varav de viktigaste är:

- Näringsmässiga, t.ex. innehåll och sammansättning av protein, fett, kolhydrater, vitaminer och mineraler mm, smältbarhet
- Sensoriska, dvs. smak, lukt, färg, konsistens
- Frihet från oönskade ämnen, t.ex. toxiner från växten eller från patogener och från bekämpningsmedelsrester
- Hygieniska, dvs. ej bakterier och smittämnen
- Fysikaliska, t.ex. kärnstorlek, jämnhet, skador
- Teknisk användbarhet i process, t.ex. skalbarhet, bakkingskvalitet, friskhet m.m. för potatiships och malt till öl och whisky
- Hållbarhet, lagringsduglighet

Den kemiska sammansättningen i växtprodukter kategoriseras sedan ytterligare:

- Innehåll av proteiner, fett, stärkelse, socker
- Aminosyrasammansättning i proteiner, fettsyrasammansättning, stärkelsens sammansättning
- Innehåll av bioaktiva ämnen såsom β -glukan, vitaminer, antioxidanter
- Mineralinnehåll
- Innehåll av oönskade ämnen: tungmetaller, toxiner, smittämnen och pesticidrester och deras nedbrytningsprodukter

Kvalitetskrav för grödor i dag

De viktigaste grödorna i svensk växtodling idag är stråsäd (vår- och höstvet, vårkorn och till viss del höstkorn, havre, råg, rågvete och ensilagemajs), oljeväxter (höst- och vårraps, samt vörrybs), potatis, sockerbeter och baljväxter). Vallfoderväxter behandlas på annan plats i rapporten. Dessa gröders odlingsområden kan komma att förskjutas pga klimatförändringar och förutsättningar för viss kvalitet inom ett visst geografiskt område kan då förändras. Vissa nischgrödor kan få utökat odlingsområde och nya grödor kan eventuellt bli odlingsbara.

Vad gäller stråsäd används i första hand vårvete, men också höstvet som kvarnråvara till bröd, gryn och barnmat, och båda grödorna odlas också till foder och etanolproduktion. Vårkorn används till malt, mervärdesmat och foder medan höstkorn framförallt fungerar som fodersäd. Havre är livsmedelsråvara till gryn, barnmat och mervärdesmat samt råvara till foder och bränsle. Råg odlas i Sverige främst för brödproduktion, men till viss del som foder, medan rågvete och ensilagemajs är foderråvaror.

Oljeväxter utgörs främst av höst- och vårraps samt vörrybs och utgör råvara till bl.a. matolja, men också till foder, bränsle och tekniska produkter.

Potatis odlas som råvara till ny- och matpotatis, färdigprodukter, foder och stärkelse.

Sockerbeter odlas framförallt för sockerframställning, biprodukter blir till foder.

Av baljväxterna odlas främst örter och örkerböna för användning till kokning, grönsak och foder, medan brun (grön) böna odlas i liten omfattning för kokning och som grönsak.

Vete

För brödvete krävs kvaliteter med stora, fullmatade, jämna, friska kärnor som ger en toxfri råvara med hög utmalningsgrad. Proteinhalten måste vara hög, för vårvete mer än 12 procent och höstvet mer än 11 procent, med rätt aminosyresammansättning dvs. hög andel gluteniner som ger starkt gluten. Ett högt falltal är nödvändigt för god bakkingskvalitet, över 220 s som indikerar väl bibehållen stärkelse. Likaså krävs ett lågt Cd-innehåll, mindre än 100 ppm för vuxna och under 20 ppm för vete till barnmat. Ett

högt E-vitamininnehåll är också önskvärt. Idag kan endast relativt mjuka veten odlas i Sverige, hårdare vetesorter för pastaproduktion och baguetteliknande bröd kräver ett torrare, varmare klimat och måste importeras.

Vete till foder kräver också jämna, friska kärnor utan patogenangrepp (toxiner), ett så högt stärkelseinnehåll som möjligt, medan proteininnehållet är mindre viktigt då stärkelseinnehållet som utgör energikällan, prioriteras. Ett högt E-vitamininnehåll är också önskvärt.

För etanolvete är kvalitetskraven något mer begränsade. Stora, jämna kärnor och högt stärkelseinnehåll = energi samt lågt proteininnehåll till fördel för stärkelseinnehållet är viktigt.

Korn

Vårkorn som används till maltproduktion måste utgöras av jämna, friska, oskadda kärnor. Sprickor är ett problem med okänd orsak, som kan innehålla patogener och i sin tur ge feljäsning och toxiner i ölen. För en god ölqualität är det nödvändigt att 91 procent av kärnorna är större än 2,5 mm och att proteininnehållet är mellan 9,5–11,5 procent för lagom mängd skum och ett klart öl. Grobarheten måste överstiga 95 procent för att garantera en tillräckligt hög amylasaktivitet. Falltalet måste vara högt för visa på ett bibehåll, högt stärkelseinnehåll som bör överstiga 60 procent för bra extraktutbyte (hög alkoholhalt).

Till livsmedel krävs likaså kornråvara med jämna, friska, oskadda kärnor. Ett gryende intresse finns, men ännu inga krav på förädling på sorter med förhöjd amyloshalt, dvs. långsammare kolhydrater, hög β -glukanhalt som kan sänka kolesterolhalten i blodet och hög E-vitaminhalt.

Kvalitetskrav på foderkorn är högt stärkelseinnehåll för att ge mycket energi. Intresse finns för sorter med långsamma kolhydrater till nöt för minskad NH_4 -avgång, liksom för ett högt E-vitamininnehåll.

Havre

På havre som livsmedelsråvara finns kraven lättskalade, jämna, stora, friska, oskadda kärnor med lågt kadmiuminnehåll, mindre än 20 ppm i barnmat. Skalningbarheten och Cd-halten är sortfrågor. Ett högt proteininnehåll – havre har näringsmässigt bäst aminosyrasammansättning av cerealierna – högt β -glukaninnehåll och E-vitamininnehåll är önskvärt. Havre innehåller också andra antioxidanter som kan vara hälsobefrämjande och därmed önskvärda, t.ex. avenantramider, vars innehåll delvis styrs av odlingsmiljön.

Havre som foderråvara har krav på högt proteininnehåll, högt fetthinnehåll (gäller främst hästfoder och är sortbundet) samt gärna högt E-vitamininnehåll. Andra antioxidanter kan vara av intresse.

Oljeväxter; raps och rybs

Vår- och höstraps samt vårrys i de sydligaste odlingsområdena är de för närvarande största oljeväxtgrödorna.

Som livsmedelsråvara, främst till matolja, är kraven ett vatteninnehåll på högst 9 procent, oljeinnehåll över 40 procent och klorofyllinnehåll mindre än 20 ppm. Produkten ger annars en grön olja med låg stabilitet, dvs. lättare härskning. Renheten i fröråvaran måste bestå av mindre än 4 procent ogräsfrön och gröna växtdelar. Fria fettsyror (FFA = free fatty acids), ska ha ett lågt värde, eftersom ett högt värde indikerar skador, fältgroning, frost (döda frön) eller för hög torktemperatur efter skörd.

Sortmaterialet indelas i:

1. enkellåga sorter, dvs. erukasyrainnehåll (C22:1) mindre än 2 %. (En hög halt är olämplig för hjärtatanses ohälsosam.)
2. dubbellåga sorter, kallas också Canola, har ett lågt erukasyrainnehåll, och mindre än 15 mikromol glukosinolater (svavelhaltiga ämnen, typiska för kålväxter) i avfettad torrs substans.
3. trippellåga sorter som förutom ovanstående också har en låg fiberhalt och är gulfröigt, till skillnad från resten av sortmaterialet som är svart. Eftersom grobarhet och avkastning är lägre i trippellåga sorter än i övriga, har de trippellåga ännu inte slagit igenom i odlingen.

Till friteringsoljor används sorter med mer än 5 procent av den stabila oljesyran (C18:1), och med mindre än 5 procent av den lätthärsknade linolensyran (C18:3).

Till tekniska oljor, t.ex. hydraulolja, smörjolja till motorsåg, med fördelen att vara biologiskt nedbrytbara, odlas sorter med erukasyrahalt runt 50 procent. Dessa kan inte användas för human-konsumtion.

Rapsolja används också som bränsle, framförallt rapsmetylester, RME, som är förestrad rapsolja.

Potatis

För att användas som livsmedel krävs potatis av god kokkvalitet vad gäller konsistens och färg, god lagringsduglighet, toxfrihet, speciellt glukalkaloider som är typiska för potatisväxter och låg halt reducerande socker, då hög halt ger mörk färg vid fritering.

Som fabrikspotatis krävs sorter med hög stärkelsehalt.

Till foder krävs en råvara med högt energiinnehåll (stärkelse) och toxfrihet (glukoalkaloider).

Sockerbeta

Livsmedelsråvaran måste ha hög sockerhalt, mer än 15 %, lågt blåtal, dvs. 10–20 mg N/100 g och god lagringsduglighet.

Till foder används restprodukter från sockertillverkningen, som inte har specificerade kvalitetskrav.

Ärter och bönor

Till livsmedel behövs friska, jämna frön med jämn och kort kokbarhet och låg halt tanniner, som är antinutritionella ämnen typiska för ärtväxter och som ger problem med gasbildning i mage och tarm. Alltför höga halter kan ge förgiftningar.

Foderråvaran kräver hög proteinhalt och likaså låg tanninhalt.

Nischgrödor och ensilagemajs

Grödor som idag är nischgrödor, men som kanär tänkasbara att få ökad betydelse är lin, hampa, solros, krambe, oljedådra, amarant, bovete och quinoa. Ensilagemajs , som inte kan betraktas som en nischgöda, kommer troligen att få ökad betydelse och flytta sin nordgräns högre upp i landet.

5.3 Konsekvenser av klimatförändringar till ~2085 på olika grödor

Vårvete

Betydligt varmare klimat under inlagrings- och mognadsförloppen kan påverka vetets bakningsegenskaper negativt. Tre dagar med medeltemperatur över 30°C kan påverka proteinernas bakningsegenskaper och ge ökad risk för försämrade degstyrka (Randall & Moss 1990). Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten genom en kraftigt förkortad inlagringsperiod samt genom mer kol som ger kolhydrater framför protein. Förhöjd CO₂-halt kan minska proteinhalten i vete med upp till 13 procent (Hocking & Meyer 1991; Conroy m.fl.1994; Rogers m.fl. 1996a) och ge sämre degextensibilitet (tänjbarhet) och sämre brödvolum (Blumentahl et al. 1996). Regnskurar vid värmeböljor under mognaden kan ge stärkelsen dåliga bakningsegenskaper genom att kraftigt försämma falltalet (ett mått på viskositeten, dvs. hur nedbruten stärkelsen är, i en blandning av mjöl och kokande vatten, mått i sekunder då en stav får falla genom blandningen) då gröningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Även andra ämnen i vetekärnan, t.ex. vitamininnehåll kan eventuellt påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbörds-mönster. Dessa problem kan antas förekomma främst i Götaland och Svealand.

De nya arter av skadegörare och ogräs som kan förväntas vandra in pga klimatförändringar kan kraftigt påverka både avkastning och kvalitet i negativ riktning. Detta gäller direkta skador på plantan och kärnan som kan bli förkrympt, men också hygieniskt med bakterier och andra smittämnen i kärnan (extra allvarligt vid livsmedels- foder- och utsädesproduktion) och högre risk för toxiner från skadegörare samt risk för bekämpningsmedelsrester i

skördeprodukterna efter intensivare kemisk kontroll av skadegörare och ogräs. De förväntade torrare förhållandena under juni-juli kan dock ge sämre utvecklingsmöjligheter för patogener och i så fall minska riskerna för riktigt stora problem. Hårdare vetesorter kan odlas i ett varmare klimat så importen av dessa kan komma att minska.

I Norrland är risken för vårfrost större och bakslag för grödan kan komma att utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet. Skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, kan fortfarande vara lägre än områdena söderut. Eventuellt kan risken för vårfrost med tillhörande bakslag för grödan utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet. Möjligen kan också skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, vara lägre än områdena söderut, liksom de är idag.

Höstvete

Samma kvalitetsproblem med proteinets och stärkelsens baktings-egenskaper som i vårvetet kan också uppkomma i höstvetet framförallt i landets södra hälft. Dock bör det tidigare utvecklade höstvetet lida mindre risk för detta än vårtvetet, då inlagringsperioden ligger tidigare och temperaturerna då inte hunnit bli för höga. Även andra ämnen i vetekärnan, t.ex. vitamininnehåll kan eventuellt också påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster. Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrad kvalitet kan också bli desamma i höstvete som i vårvete, men höstvetets tidigare utveckling bör även i dessa fall vara en fördel, jämfört med vårvetet.

I Svealand och Norrland är risken för utvintring större. Utvintring pga isbränna (dåligt snötäcke) kan ge ojämnt bestånd med grönskott och mer ogräs att bekämpa, ojämn mognad och därmed sämre kvalitet bl.a. i utmalningen. Snötäcke utan tjäle, då temperaturen varit för hög för att tjäla, kan komma att ge större problem med fusariuminfektioner i höstvetet och därmed mycket potenta toxiner i vetekärnan. Grödans nordgräns bör dock förskjutas uppåt med de mildare vintrarna. Ett problem med både avkastning och kvalitet kan bli en försvagad gröda, när den respirerar sent på hösten med mycket få ljustimmar för fotosyntes.

Korn

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten som måste ligga inom 9,5–11,5 procent för god maltkvalitet, genom en kraftigt förkortad inlagringsperiod, samt genom mer kol som ger kolhydrater framför protein. Samtidigt kan detta också försämra grobarheten som måste vara över 95 procent för att få nödvändig hög amylasaktivitet i malten. Kraftiga lokala regnskuror vid värmeböljor under mognaden juli–aug kan ge kraftigt försämrat falltal då gironingsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Stärkelseinnehåll i maltkorn behöver vara över 60 procent för bra extraktutbyte (% alkohol). Kraftiga lokala regnskuror kan under samma tid också underlätta för svampinfektioner som kan ge feljäsning i ölen och toxiner olämpliga i råvara till både malt, övriga livsmedel och foder, samt göra att β -glukan, som är starkt önskvärt i övriga livsmedel av korn utom öl och ej heller i foder till fjäderfä där det istället utgör problem, kan börja brytas ned och förstöras. Även andra ämnen, t.ex. vitamininnehåll i kornkärnan kan påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster. Dessa problem kan antas bli störst i södra hälften av landet.

Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrad kvalitet kan också bli liknande i vårkorn som i vår- och höstvet. Vårkorn som varande en vårgröda och därmed har en senare utveckling än en höstsådd gröda, kan få en nackdel av detta pga för varm och kort inlagringstid. Höstkorn som idag är en liten gröda i Sverige, kan därför komma att få en större betydelse i framtiden och få en nordgräns högre upp än idag, men dess utvintringsbenägenhet kommer fortfarande troligen att vara en nackdel.

I norra Sverige är risken för vårfröst större och bakslag för grödan kan komma att utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet. Skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, kan fortfarande vara lägre än områdena söderut.

Havre

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten genom en kraftigt förkortad inlagringsperiod samt genom mer kol som ger kolhydrater framför protein, men också förändra havre-

kärnans förhållande mellan protein, stärkelse och olja. Fettsyrasammansättningen som är värdefull i havrelivsmedel, kan också förändras av förhöjda temperaturer och ge högre halter fettsyror med högre smältpunkt, på bekostnad av dem med lägre smältpunkt som också är nutritionellt att föredra. Regnskurar vid värmeböljor under mognaden kan ge kraftigt försämrat falltal då gröningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Även β -glukan, som är starkt önskvärd i övriga livsmedel av havre, men ej i foder till fjäderfä där det istället utgör problem i matsmältningen, kan börja brytas ned och förstöras. Även andra ämnen i havrekärnan kan påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmonster, t.ex. innehållet av vitaminer och antioxidanter såsom avenantramider, en ämnesgrupp där forskningsresultat tyder på vissa hälsobefrämjande egenskaper t.ex. vad gäller kolesterol i blodet. Möjligheter att odla längre norrut med annat ljusklimat kan ge förändrat antioxidantinnehåll.

Framtida tidiga vårar kan ge större problem med fritfluga i havre, då vippan förstörs av flugan och avkastningen samt även kärnkvaliteten försämras avsevärt pga tomma vippor eller förkrympta kärnor.

Eventuellt kan hösthavre, som idag inte odlas i Sverige pga dålig vinterhårdighet, bli en gröda för framtida svenskt jordbruk med mildare vintrar. Snötäcke utan tjäle, då temperaturen varit för hög för att tjäla, kan dock troligen ge stora problem med fusarium-infektioner i hösthavre och därmed mycket potenta toxiner i kärnan. Fusarium och dess toxiner är redan idag ett problem i vårhavre. Hösthavre blir troligen inte en gröda för övre Norrland. Eventuellt kan risken för vårfrost orsaka problem.

Vårrops

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan hos oljeväxter i likhet med havre ge minskad proteinhalt, förändra förhållandet mellan protein, stärkelse och olja samt ge förändrad och oönskad fettsyrasammansättning. Problemen med skadegörare, bekämpning och försämrad kvalitet kan också öka som i andra vårgörödor. Problem med bomullsmögel kan dock förväntas minska pga nederbördsunderskottet. I oljeväxter är rapsbaggen ett stort problem som kan antas öka och bekämpning är svår, då kemikalier också påverkar de nödvändiga pollinatörerna samt kan ge rester i livsmedel och foder.

Kraftiga regnskurar vid starka värmeböljor under mognaden kan resultera i sönderslagna skidor med kraftig drösning som följd. Fröna utgör då ogräsproblem i efterkommande grödor, speciellt i nya oljeväxtgrödor där den önskade kvaliteten kan vara en annan t.ex. innehåll av erukasyra, glukosinolater och fibrer. Även andra ämnen i frö och planta kan påverkas av förhöjda temperaturer och förändrat nederbördsmonster, t.ex. innehållet av glukosinolater, vitaminer eller klorofyll, där mer än 20 ppm klorofyll ger en grön och lätthärsknad olja. I Norrland kan risken för vårfrost med tillhörande bakslag för grödan bli större medan skadegörartrycket fortfarande kan bli mindre än längre söderut.

Höstraps

Högre temperaturer under inlagrings- och mognadsförloppen i april-juli, samt nederbördsunderskott från början av juni fram till skörd, men med risk för lokalt kraftiga regnskurar kan påverka rapsens kvalitetsegenskaper negativt. Dock bör den tidigare utvecklade höstrapsen lida mindre risk för detta än vårrapsen, pga en längre och svalare inlagringsperiod. Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan minska proteinhalten, förändra förhållandet mellan protein, stärkelse och olja samt ge förändrad och oönskad fettsyrasammansättning.

Problemen med skadegörare, bekämpning och försämrad kvalitet kan också öka även i höstraps. I oljeväxter är rapsbaggen redan ett stort problem och bekämpning är svår, då kemikalier också påverkar de nödvändiga pollinatörerna samt kan ge rester i livsmedel och foder. Dock kommer troligen problemen vara mindre i höstraps än i vårraps även fortsättningsvis. Problemet med regnskurar vid värmeböljor under mognaden är principiellt detsamma som för vårraps.

I Svealand kan problemen med utvintring vara stora, och i Norrland ännu större.

Potatis

Sättning av potatis kan komma att ske ca 4 veckor tidigare än idag, men måste anpassas efter när marken bär och efter bladmögel-situationen och i Svealand och Norrland efter sista vårfrosten. För

god skörd och kvalitet blir det mycket viktigt att utnyttja tidig säsong innan nederbördsunderskott och bladmögelinfektion slår till. Om tillräckligt med vatten finns att tillgå bevattnas grödan. Ökad UV-B-instrålning kan ge sämre potatiskvalitet (Tevini & Teramura 1989). Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrad kvalitet kan bli allvarliga. Hösttemperaturerna ökar liksom nederbörden, vilket gör sen skörd mycket problematisk och risk för ökad glukokaloidhalt i knölarna blir högre.

För att få virusfri utsädespotatis kommer norrländska odlingar bli allt viktigare och en organisation kring hur dessa ska hållas så fria från smitta som möjligt kommer att behövas, eftersom bladlössen och därmed virusspridningen kan förväntas öka.

Sockerbeta

Precis som för potatis blir det viktigt att utnyttja tidig säsong för tillväxt innan nederbördsunderskott slår till i juni/juli. Ökad UV-B-instrålning kan ge sämre sockerbetskvalitet (Tevini & Teramura 1989). Tillväxtsäsongen förlängs pga av högre temperaturer på hösten och tillsammans med en förhöjd CO₂-halt kan detta resultera i betydligt högre avkastning och sockerhalt samt en framflyttad nordgräns. Sen skörd kan dock avsevärt försvåras pga mer regn på hösten. Lagring av skördade betor blir dessutom svårare i hög hösttemperatur, eftersom förruttnelse startar. Ökad generell bekämpning mot skadegörare kan bli fallet, med ökad risk för bekämpningsmedelsrester i råvaran.

I landets norra odlingsområden är det högre risk för att vårfrost kan orsaka bakslag för grödan med större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet som följd. Skadegörartrycket och därmed bekämpningstrycket och risker förenade med detta, kan fortfarande vara lägre än i områdena söderut.

Ärtor och bönor

Förhöjd temperatur och CO₂-halt kan ge minskad proteinhalt pga förkortad inlagringsperiod och mer kolhydrater på bekostnad av protein. Alltför höga temperaturer ger små, skrynkliga frön med försämrad grobarhet. Hårda regnskurar vid förväntat kraftiga

värmeböljor under mognaden kan resultera i sönderslagna baljor och därmed infektioner och försämrad kvalitet. Även andra ämnen i fröet kan påverkas av förhöjda temperaturer och förändrat nederbördsmönster. Tidiga sorter blir än viktigare, då tidig säsong med markfukt bör utnyttjas och eftersom sen skörd blir problematisk pga väta. Med tidig sort och dito skörd, kan avkastning och kvalitet öka med högre temperaturer och CO₂-halt. Odlingsgränsen bör kunna förskjutas norrut. Problemen med skadegörare, bekämpning och försämrad kvalitet kan öka även i ärter och bönor. I Norrland blir problemen med höga temperaturer mindre liksom problemen med ökat skadegörartryck. Högre risk för vårfrost ger dock större problem.

5.4 Sammanfattning

Vårgrödor kan antas bli mest påverkade under inlagring- och mognadsstadierna, då förhöjd temperatur och CO₂-halt vid förväntade klimatförändringar, riskerar att ge lägre proteinhalter. Låg proteinhalt är ett kvalitetsproblem i framförallt brödvete, malkorn, foderspannmål och oljeväxtråvara till foder. En torrare period som under mognaden kan å andra sida ge bättre kvalitet med högre proteinhalter. Förändrad aminosyrasammansättning kan bli ett problem som påverkar bakningsegenskaperna negativt i brödvete vid för höga temperaturer under inlagringen. Balansen mellan innehåll av olja, protein och stärkelse kan påverkas i oönskad riktning av förhöjd temperatur och CO₂-halt i havre och våroljeväxter, liksom även fettsyrasammansättningen hos dessa växtslag. Processerna är otillräckligt kända, i synnerhet i fältsituationer.

Kraftiga, lokala regnskuror vid mer extrema värmeböljor under mognaden kan ge stärkelsen dåliga egenskaper genom ett kraftigt försämrat falltal då gröningsenzym aktiveras och stärkelsen börjar brytas ned. Detta kan bli problem i framförallt brödvete och malkorn. Även andra ämnen i kärnan eller fröet, t.ex. vitamin- och antioxidantinnehåll kan eventuellt påverkas av både högre temperaturer och förändrat nederbördsmönster. Även dessa processer är otillräckligt kända.

Nya arter av skadegörare och ogräs samt möjligheter till fler generationer skadegörare per säsong kan kraftigt påverka både avkastning och kvalitet i negativ riktning. Detta gäller direkta

skador på plantan och kärnan som kan bli förkrympt, men också hygieniskt med bakterier och andra smittämnen i kärnan. Detta är extra allvarligt vid livsmedels- foder- och utsädesproduktion. I synnerhet malkorn är avhängigt av mycket god hygienisk kvalitet i processen. Högre risker för toxiner från skadegörare samt risk för bekämpningsmedelsrester i skördeprodukterna efter intensivare kemisk kontroll av skadegörare kan också bli fallet vid scenario ~2085, framförallt i landets södra hälft.

I de nordligare delarna av landet kan risken för vårfrost med tillhörande bakslag för grödan utgöra större risk för plantdöd och därmed ojämnt bestånd och mognad och sämre kvalitet.

Höstgrödor kan antas bli mest påverkade av de nya klimatförhållandena under vintern, då invintrings- och vernaliseringsprocesserna kan bli satta ur spel. Eftersom temperaturen ger tillväxt och respiration ända till mitten av december, då alltför lite ljus finns för tillräcklig fotosyntes, kan höstgrödor bli mer känsliga för utvintringsskador med ojämnt bestånd och därmed sämre kvalitet som följd, framförallt i landets nordliga delar.

Samma kvalitetsproblem som i vårvetet, med låg proteinhalt och försämrade bakningsegenskaper för protein och stärkelse pga av höga temperaturer respektive nederbörd och enzymreaktioner under mognaden, kan också uppkomma i höstvetet. Dock bör det tidigare utvecklade höstvetet lida mindre risk för detta än vårtvetet, då inlagringsperioden ligger tidigare och då temperaturerna inte hunnit bli för höga. Detta kan antas gälla generellt för höstgrödor jämfört med vårgrödor.

Utvintring pga isbränna (dåligt snötäcke) kan ge ojämnt bestånd med grönskott och mer ogräs att bekämpa, ojämn mognad och därmed sämre kvalitet bl.a. i utmalningen hos brödvete, men även vad gäller grönskott och därmed hög klorofyllhalt och sämre oljekvalitet hos höstoljeväxter. Detta blir troligen ett problem framförallt i de nordliga delarna av landet. Snötäcke utan tjäle, då temperaturen varit för hög för att tjäla, kan ge större problem med fusariuminfektioner i höstvetet och därmed mycket potenta toxiner i vetekärnan, ett problem som kan antas bli störst i Mellansverige, där snötäcket kommer att ligga en kort och oregelbunden period. Orsak och verkan vad gäller snötäcke, temperatur och oljekvalitet eller fusariumsmitta och toxinmängder är inte kända. Höstgrödornas nordgräns bör kunna förskjutas uppåt med de mildare vintrarna, trots problem med både avkastning och kvalitet hos en

försvagad gröda, när den respirerar sent på hösten med mycket få ljustimmar för fotosyntes. Dessa processer är dåligt kända.

Problemen med skadegörare, toxiner, bekämpning och försämrad kvalitet kan också bli liknande i höstgrödor som i vårgrödor, men höstgrödornas tidigare utveckling bör även i dessa fall vara en fördel. Generellt sett kan antas att höstgrödor kommer att få ett försteg kvalitetsmässigt, före vårgrödor i scenariot för ~2085.

För att möta framtida klimatiska faktorer och ändå få den avkastning och kvalitet som man önskar, kommer växtförädling för just dessa klimatiska förhållanden, både traditionell och genmodifierande, att vara ett nödvändigt verktyg. För nya grödor, sorter och nya förhållanden behövs också nya odlingsmetoder och odlingssystem framtagna på plats i fält och i klimatkammare. Där blir lantbruksforskningen nödvändig för att kunna möta dessa nya krav.

5.5 Referenser

Blumentahl et al. 1996.

Conroy JP, S Seneweera, AS Basra, G Rogers, B Nissen-Wooller.

Influence of Rising Atmospheric CO₂ Concentrations and Temperature on Growth, Yield and Grain Quality of Cereal Crops . Australian Journal of Plant Physiology (now called Functional Plant Biology), Volume 21, Number 6 (1994), pp.

Fogelfors red., 2001. Växtproduktion i Jordbruket. Natur och Kultur LTs förlag. 428 sidor.

Hocking PJ, CP Meyer. Effects of CO₂ Enrichment and Nitrogen Stress on Growth, and Partitioning of Dry Matter and Nitrogen in Wheat and Maize . Australian Journal of Plant Physiology (now called Functional Plant Biology), Volume 18, Number 4 (1991), pp. 339–356,

Randall PJ, HJ Moss. Some effects of temperature regime during grain filling on wheat quality . Australian Journal of Agricultural Research, Volume 41, Number 4 (1990), pp. 603–617.

Rogers GS, PJ Milham, M Gillings, JP Conroy. Sink Strength May Be the Key to Growth and Nitrogen Responses in N-Deficient Wheat at Elevated CO₂ . Australian Journal of Plant Physiology (now called Functional Plant Biology), Volume 23, Number 3 (1996), pp. 253–264.

Tevini, M and Teramura, A.H. 1989. UV-B effects on terrestrial plants. Photochem and photobiol.

Muntlig kommunikation

Desirée Börjesdotter, HIR, Malmöhus

Håkan Fogelfors, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU

Jannie Hagman Lundin, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU.

Paula Persson, Inst f Växtproduktionsekologi, SLU

6 Växtnäringsläckage

6.1 Bakgrund

Växtnäringsläckage från jordbruksmark styrs av ett komplext samspel mellan klimatfaktorer, markegenskaper, växtföljd, grödornas tillväxt och avkastningsnivå, och tidpunkt för olika odlingsåtgärder t.ex. jordbearbetning och gödsling.

Generellt sett är risken för betydande utlakning av kväve störst då marken ligger obevuxen, dvs. efter skörd då nedbrytning av skörderester resulterar i lätttrörligt nitratkväve som lakas ur marken vid nederbörd och avrinning. Temperatur och markfuktighet påverkar markmikro-organismernas aktivitet och därigenom med vilken hastighet organiskt material (skörderester) bryts ner. Dessa klimatfaktorer har därför stor betydelse för förekomsten av lätttrörligt kväve i marken. Grödans upptag av markkväve styrs i sin tur av en rad klimatfaktorer såsom ljus, temperatur och vattentillgång. Ett effektivt upptag av kväve under växtsäsongen minskar risken för utlakning av kväve från rotzonen under pågående växtsäsong, men eliminerar inte den utlakning som är kopplad till nedbrytning av skörderester och annat organiskt material. En hög produktionsnivå medför större mängd skörderester och därmed högre utlakningsnivåer under höst och vinter om marken ligger obevuxen. För att minska risken för utlakning av växtnäring och främst kväve under höst och vinter har man under det senaste decenniet arbetat för att införa en rad åtgärder – t.ex. begränsning av höstgödsling, minimerad jordbearbetning på hösten, förbud mot spridning av stallgödsel under vintern och på snöttäckt eller tjälad mark, arealstöd för höst och vinterbevuxen mark (fånggrödor) mm. Fånggrödor, vanligtvis ett gräs, kan sås in i stråsäd och får växa vidare under höst och vinter, efter skörd av huvudgrödan. Fånggrödans upptag av kväve under höst och vinter i Sydsverige har visat sig betydande och kan minska kväveutlakningen med upp till 50–60 %. Fånggrödan brukas ner på våren innan sådd av nästa gröda och kan i viss mån fungera som en slags ”gröngödsling”. Även höstgrödor kan fungera som s.k. ”fånggrödor” men är vanligtvis mindre effektiva pga mindre rotdjup samt pga en del höstgrödor höstgödslas. Fleråriga vallar minskar också risken för kväveutlakning eftersom marken då är vinterbevuxen. Kväveutlakningen efter en vall (efter s.k. vallbrott) kan däremot vara mycket hög pga den stora mängden skörderester. Vallen efterlämnar en

omfattande rotbiomassa som är förhållandevis lättnedbrytbar pga en låg kol-kväve-kvot i materialet.

Risken för kväveutlakning från jordbruksmark är alltså starkt kopplad till nederbördsmonster och temperaturförhållanden. Förändringar i klimatet kommer därför att ha en direkt inverkan på risken för kväveförluster från jordbruksmark. Risken för kväveutlakning styrs också av tidpunkt för jordbearbetning, sådd, gödsling och skörd. Förändringar av tidpunkten för olika odlingsåtgärder kommer därför påverka risken för kväveutlakning. Utlakningsrisken är även starkt kopplad till produktionsnivåer och val av grödor och växtföljder. Förändringar i grödval och markanvändning kommer därmed att ha stor betydelse för utlakningsrisken.

Fosforförluster från jordbruksmark är främst kopplad till transport av partikelbundet fosfor och styrs därmed av nederbördsmonster, topografi och jordens erosionsbenägenhet, samt av aktuell marktäckning (grödans förmåga att binda jorden). På lerjordar sker fosfortransport från markytan vid vattenflöde i stora porer och sprickor (makroporflöde). Fosforförluster påverkas också av tidpunkter och nivåer för gödsling och grödans fosforupptag. Förbud mot stallgödsling under vintern har införts i hela landet för att minska risken för betydande förluster av fosfor i samband med ytavrinning och snösmältning. Fosfor frigörs även vid "utlakning" av fryst växtmaterial på vintern, vilket i kombination med ytavrinning vid nederbörd eller snösmältning också bidrar till fosforförluster från jordbruksmark. Betydande utlakningsförluster har observerats från vallar (främst baljväxter), höstoljeväxter och bevuxna trädor (M. Larsson, SLU; pers komm.).

Risken för fosforförluster från jordbruksmark är alltså starkt kopplad till partikelerosion och nederbördsmonster, samt till klimatfaktorer som styr övervintringen av olika grödor. Förändringar i nederbördsmonster och övervintringsförhållanden kommer därför att påverka risken för fosforförluster från jordbruksmark. Fosforförluster styrs också av val av gröda och växtföljd samt gödslingsstrategi. Framtida förändringar i grödval och markanvändning kommer därför också att påverka risken för fosforutlakning.

Risken för kväve- och fosfor förluster från jordbruksmark i ett framtida klimat kommer att bero av hur väl vi klarar att anpassa grödval, sorter, jordbearbetnings- och gödslingsåtgärder, tidpunkter för sådd och skörd samt markanvändning till de ändrade klimatförhållandena. Klimatet kommer att ha en direkt inverkan på

kväve och fosforförluster som vi i viss utsträckning kan påverka genom anpassning av jordbruket. Den i klimatscenarierna predikterade ökade variabiliteten i klimatet mellan olika år, samt ökad frekvens av extrema väderhändelser, innebär en osäkerhetsfaktor som komplicerar anpassningen och som generellt kan leda till en ökad "sårbarhet" med avseende på oönskade näringsförluster från jordbruksmark.

Följande analys av hur klimatförändringen kan tänkas påverka växtnäringsläckaget från jordbruksmark i Sverige är uppdelad i: A. Direkta climateffekter; B. Indirekta effekter på nuvarande jordbruk/grödor; C. Effekter av förändringar i markanvändning.

6.2 Direkta climateffekter på utlakning

Bedömningen baseras på förändringar i nedanstående variabler, utifrån kartmaterial/och eller data från andra ingående delavsnitt (Vattentillgång)

- Växtperiodens längd,
- Nederbörds mängd (höst/vinter),
- Temperatur (höst/vinter)
- Snösmältning/Ytavrinning

Växtperiodens längd kommer att öka i alla regioner (Tabell A2.2 och A2.4). Perioden med obevuxen mark under höst/vinter kommer därmed att minska något i tidslängd. Nederbörden under motsvarande period kommer dock att öka i hela landet (Tabell A6.1). Avdunstningen under vintern är låg eller måttlig. Avrinningen kommer därför att öka generellt under den period då väsentlig areal av jordbruksmarken ligger obevuxen. Enligt uppskattningar i avsnittet "Vattentillgång" kommer avrinning-avdunstning (nederbörd minus avdunstning, Tabell A6.2) att öka med minst +25 mm per månad under perioden okt- februari, i hela landet. Under perioden Dec-Feb kommer denna differens att öka med +45 till + 75 mm i alla regioner. Störst blir ökningen i landets västra delar. Detta innebär en signifikant ökning av avrinningen under vintern, under perioder då marken ej är frusen. Högre vintertemperaturer (Tabell A2.7) och högre frekvens av "mildväder" kommer att bidra till ökad kväveminalisering under vintern. I kombination med högre avrinning under vintermånaderna kommer

detta med stor sannolikhet att leda till ökad risk för utlakning av kväve i hela landet, under perioder då marken ej är frusen.

Variabiliteten i klimatet förväntas öka. Om perioder med omväxlande frysning och tining inträffar oftare, finns risk för en relativ ökning av fosforläckaget från fryst växtmaterial i t.ex. vallar och höstoljeväxter. Ökad nederbörd och högre frekvens av intensiv nederbörd under höst och vinter medför även ökad transport av partikelbundet fosfor från markytan via såväl markyteavrinning som makroporflöde. Dessa klimatförändringar kommer sannolikt bidra till ökad risk för fosforläckage under höst och vinter. Snötäckets varaktighet kommer å andra sidan att minska och en mindre andel av nederbörden kommer att falla som snö jämfört med i dagens klimat (Tabell A2.5). Detta leder till minskad aytavrinning i samband med snösmältning, vilket i viss mån kan dämpa den totala ökningen av fosforförluster orsakad av faktorerna ovan.

Nedan följer en mer specifik redogörelse för konsekvenserna av en klimatförändring med avseende på olika regioner och grödor. Svealands slättbygder utgör referensexempel. Övriga regioner diskuteras i relation till referensexemplet.

Svealands slättbygder ~2085

Som ett exempel på hur en klimatförändring kan påverka näringsläckaget görs här en utförligare analys för Svealands Slättbygder (Ss), Scenario A2, ~2085, ECHAM4.

Höstsäd

Sådd av höstsäd kommer att ske senare (3–4 veckor) än för år 2000, (Tabell 2.2). Samtidigt kommer skörd av såväl höstsäd som vårsäd att ske något tidigare (2–3 veckor) än förut. Detta medför sannolikt att perioden med bar mark mellan skörd av förfrukt och höstsädd, blir 5–7 veckor längre. Aug-Sept förväntas bli torrare (Tabell A6.1). Eftersom nederbörden även förväntas minska under sommarmånaderna kommer markvattenunderskottet i aug-sept vara stort. Eventuell nederbörd i Aug-Sept kommer därför främst ”fylla på markvattenförrådet” och avrinningen kan förväntas bli liten eller obefintlig. Risken för N-läckage under denna period är därför generellt liten. Under senhöst och vinter (Okt-Feb)

förväntas nederbörden öka med i genomsnitt 20 mm/månad. Stora nederbördsmängder under den period då marken ännu ligger obevuxen eller då höstgrödans rotdjup är litet medför stor risk för betydande N-läckage, pga relativt höga marktemperaturer i kombination med mineralisering av skörderester.

Höstgrödan kan i viss mån fungera som "fånggröda" under höst/vinter och minska risken för kväveläckage under denna period. Problemet är dock att övervintringen av höstgrödan försämras om den tillväxer alltför starkt före "invintring". Risken för kväeutlakning under höst och vinter är svår att förutspå och kommer att vara starkt beroende av etablering och övervintring av höstgrödan och grödans förmåga att ta upp mineraliserat markkväve under mildare perioder under höst/vinter. Grödans upptag av kväve under vintermånaderna kommer, på våra breddgrader, dessutom att begränsas av den låga instrålningen. Risken för försämrad övervintring i ett klimat med ökad variabilitet är betydande. En mindre andel av nederbörden kommer att falla som snö och snötäckets varaktighet kommer att minska. Därmed kommer en större andel av nederbörden att infiltrera genom marken. Detta i kombination med risk för försämrad övervintring och ökad nederbörd, ökar risken för kväveläckage under vinterhalvåret.

Tillväxten på våren börjar tidigare, vilket medför tidigare upptag av mineraliserat markkväve och därmed minskad risk för N-läckage. Nederbörden förväntas dock öka under tidig vår (10–25 mm/månad i Feb–Mars), vilket medför ökad risk för N-läckage, i synnerhet från markskikt under rotzonen. Dålig etablering, eller övervintring av grödan, samt litet rotdjup förhöjer risken för N-läckage ytterligare i samband med omfattande nederbörd.

Sammanfattningsvis kommer sannolikt N-läckaget från höstvetete att öka. Effekten av högre temperaturer och därmed ökad kväve-mineralisering i kombination med ökad nederbörd och avrinning under senhöst-vinter-tidig vår kommer att få större kvantitativ betydelse än höstvetets förmåga att ta upp kväve under motsvarande period. Även fosforläckaget kan öka om högre frekvens av intensiva nederbördstillfällen och "utlakning" av fryst material i ett klimat med omväxlande kalla och varma vinterperioder får större kvantitativ betydelse än minskningen av ytavrinning kopplat till snösmältning. För att fastställa den kvantitativa effekten av olika faktorer behövs dock noggrannare beräkningar och studier. Resultatet kan dessutom bli olika för olika platser beroende på att nederbördsökningen är högre i västra Svealand jämfört med östra

Svealand, och pga olika faktorer kommer att ha olika kvantitativ effekt på olika typer av jordar.

Vårsäd

Temperaturmässigt skulle vårsådden kunna ske 1-2 månader tidigare år ~2085. Tidpunkten för sådd kommer dock att senareläggas pga för hög markfuktighet i januari-februari. I praktiken kommer därför vårsådden att tidigareläggas med max 2–3 veckor. Skörd av vårsäd kommer att ske ca 3 veckor tidigare än idag. Vattentillgången för grödan under växtsäsongen förväntas minska, pga minskad nederbörd under juni–juli. Detta medför viss ökad risk för att säden brådmognar och därmed lägre totalt upptag av markkväve och/eller gödselkväve under växtsäsongen. Konsekvensen blir viss ökad risk för att outnyttjat kväve finns kvar i markprofilen efter skörd, vilket sedan kan bidra till ökad kväveutlakning under höst/vinter. Sådd av efterföljande höstgrödor kommer att ske 3–4 veckor senare än idag, pga nederbörden och därmed markfuktigheten förväntas vara låg i augusti-september. Förskjutningen av odlingsperioden för vårstråsäd innebär därmed att perioden med ”obevuxen mark” innan sådd av nästa gröda kommer att förlängas – se ovan. Även utvecklingen av en insådd fånggröda kan hämmas pga sensommartorka vilket resulterar i sämre utveckling av fånggrödans rotsystem och därmed sämre kväveupptag under höst-vinter.

Sammanfattningsvis kommer vattenbrist under växtsäsongen att inträffa med högre frekvens. Effekten av detta på vårsäden beror på vid vilket utvecklingsstadium som vattentillgången blir kritisk för grödan. Ökad frekvens av vattenstress under växtsäsongen medför ökad risk för brådmognad, vilket i sin tur medför ökad risk för överskottskväve i markprofilen efter skörd. Även tillväxten av fånggrödor kan hämmas. Båda dessa faktorer medför ökad risk för kväveutlakning under höst och vinter. Kväveläckaget efter skörd av vårstråsäd kommer med stor sannolikhet att bli högre under höst-vinter pga den direkta effekten av ökad nederbörd och temperatur, såvida man inte lyckats etablera en effektiv fånggröda. En fånggröda minskar även risken för fosforläckage kopplat till partikelerosion, men ökar å andra sidan risken för fosforutlakning från fryst växtmaterial. För att fastställa i vilken omfattning dessa två faktorer tar ut varandra behövs mer detaljerade beräkningar och

studier kopplat till mellanårsvariationer i ett förändrat klimat och olika jordar och platser.

Höstoljeväxter

Höstoljeväxter kommer liksom höstsäd att sås senare än idag. Höstoljeväxter har stort kväueupptag på hösten och fungerar därför i viss mån som "fånggröda" (H. Aronsson, SLU, pers komm; G. Bergkvist, SLU.). Effekten motverkas dock av att höstoljeväxter ofta höstgödslas. Höstoljeväxter är dessutom känsligare för övervintringsförhållanden jmf höstsäd. Höstoljeväxter efterlämnar även stora mängder skörderester med relativt låg kol-kväve kvot. Detta material mineraliseras snabbt och kan ge upphov till betydande kväveläckage efter skörd. Insådd av fånggrödor görs sällan i praktiken pga konkurrensen med huvudgrödan riskerar att bli för stor. Ökad vinternederbörd och avrinning i kombination med högre marktemperaturer kommer att medföra ökat kväveläckage under höst och vinter efter skörd av höstoljeväxter, såvida man inte lyckas etablera en efterföljande höstsådd gröda som har ett mycket effektivt kväueupptag. Risk för utvintring av höstoljeväxter i ett klimat med ökad variabilitet kan även bidra till ökat kväveläckage under tidig vår.

Våroljeväxter

Kväveläckage efter skörd av våroljeväxter kan liksom för höstoljeväxter vara betydande pga grödan efterlämnar lättnedbrytbara skörderester. I ett varmare klimat med större höst- och vinternederbörd kommer därför sannolikt kväveläckaget efter skörd av våroljeväxter att öka jämfört med nuvarande nivåer.

Vall

Högre marktemperaturer under höst/vinter medför ökad mineralisering. Detta i kombination med ökad höst/vinter nederbörd medför risk för en relativ ökning av kväveläckaget efter ett vallbrott. Ökad nederbörd i kombination med ökad frekvens av omväxlande varma och kalla perioder under vintern medför även risk för en relativ ökning av fosforläckaget från växande vallar.

Övriga regioner ~2085

Ökningen i nederbörd och temperatur under senhöst-vinter (Okt-Feb) är generell i hela landet. Risken för ökat växtnäringsläckage under denna period kommer därför följa samma principer för övriga regioner, som diskuterats för exemplet Svealands slättbygder. Det finns en större gradient i nederbördsökningen mellan öst och väst i Götalands regioner och Svealand än mellan dessa regioner. Risken för ökat växtnäringsläckage kommer därför vara högre i de västra regionerna än i öst. Nederbördsökningen är i vissa delar av Norrland något mindre än i sydligare regioner. Ökningen i differensen mellan nederbörd och avdunstning är emellertid ungefär densamma som för sydligare regioner. Temperaturökningen är något större i de norra regionerna men av samma storleksordning i alla regioner. Man kan därför förvänta sig en generell ökning av käveläckaget från jordbruksmark i alla regioner pga den direkta effekten av ökad temperatur och därmed ökad mineralisering och ökad avrinning under vintern. I landets sydliga regioner kommer sannolikt risken för utvintring av höstgrödor att minska pga frost blir mindre förekommande. Minskat snötäcke kommer att få störst effekt i Svealand och nordligare regioner. Detta kommer att leda till minskad ytavrinning i samband med snösmältning, vilket kan minska därtill kopplade förluster av partikelbundet fosfor. Å andra sidan kan utlakningen av fosfor från fryst växtmaterial komma att öka i dessa regioner. Högre vinter-nederbörd leder dessutom sannolikt till en generell ökning av partikelbunden transport av fosfor.

~2025

Förändringarna Echam4-scenarier i nederbörd under senhöst och vinter år ~2025 är i storleksordning ca hälften av den för ~2085, men följer samma regionala mönster (Tabell A6.1). Ökningen av temperaturen under motsvarande period är 30–50 % av den för ~2085. Slutsatser rörande kvantitativa förändringar av näringsläckaget förblir osäkra utan noggrannare beräkningar för olika regioner. Generellt kan man förvänta sig en viss ökning av växtnäringsläckaget år ~2025 jämfört med referensperioden; men betydligt lägre än för ~2085. På basis av predikterade temperatur

och nederbördsförändringar kan ökningen i näringsläckage år ~2025 vara i storleksordningen 20–40 % av ökningen ~2085.

HADAM3H

De scenarier för ~2085 som baserar sig på HADAM3H ger ungefär samma mönster som ECHAM4, vad beträffar ökningen i differensen mellan nederbörd och avdunstning under perioden Dec-Feb för olika regioner (Tabell A6.2). Perioden Sept-Nov kontrasterar emellertid och indikerar en svag minskning (-10 mm) enligt HADAM3H medan ECHAM4 indikerar en ökning (+30 till +50 mm). Prediktioner av växtnäringsläckage baserade på klimat-scenarier från HADAM3H kan därför förväntas ge måttligare ökning av växtnäringsläckaget jämfört med prediktioner baserade på ECHAM4. En tidigare studie av klimatförändringens effekter på kväveläckaget från ett jordbruksdominerat avrinningsområde i södra Sverige bekräftar detta antagande (Arheimer et al., 2005).

6.3 Indirekta climateffekter på utlakning

Kommer avkastningsnivåerna för befintliga grödor att öka pga gynnsammare klimat, längre växtsäsong och högre CO₂-halt i luften, eller kommer andra motverkande faktorer, t.ex. sommartorka/brådmognad och sjukdomstryck leda till i stort sett bibehållna avkastningsnivåer?

Enligt de beräkningar som redovisas i avsnittet om Markanvändning skulle hektarskördarna av höstvet, vårvete, höstraps, korn och vall öka med minst 20 % i södra Sverige. I Mellansverige beräknas höstveteskördarna öka med 60 % (Tabell 1.17). En ökning av utlakningen kopplad till skördeökning bör sättas i relation till insatsmedel, samt relateras till ökningen i utbytet (avkastning). Generellt sett gäller dock att ökade avkastningsnivåer leder till större kvantitet skörderester och därmed risk för ökad utlakning av kväve i samband med nedbrytning och mineralisering av skörderester (Johnsson et al., 2006). Högre produktionsnivåer kräver också högre fosforgödsling, vilket i sin tur medför ökad risk för fosforläckage.

Längre växtsäsong gör att produktionsnivåerna för vall kan öka. Produktionen kan dock hämmas av vattenbrist under sommar/tidig

höst. Torra markförhållanden medför även lägre kväve mineralisering under växtsäsongen. Den positiva effekten av längre växtsäsong för vallen kan således motverkas av såväl vattenbrist som lägre kväveleveranser från marken. Preliminära simuleringar av vallproduktionen i ett framtida klimat tyder dock på att vattenfaktorn ej kommer att inverka negativt på första vallskörden och ej heller starkt begränsa andra skörden (Se avsnitt 2. Vattentillgång). Simuleringarna indikerar snarare en viss produktionshöjning av den totala vallskörden. Högre produktionsnivåer medför risk för större kväveläckage efter vallbrott. Efterföljande höstgrödor kan i viss mån minska denna risk genom effektivt kväueupptag. De vanligtvis stora mängderna mineralkväve i marken efter ett vallbrott kommer dock sannolikt att vara större än någon höstgröda förmår ta upp. Eftersom nederbörds mängderna under höst/vinter beräknas öka liksom temperaturen, är risken stor för en relativ ökning av kväveläckaget efter vallbrott.

6.4 Effekter av förändringar i markanvändning

Nordgränsen för odling av flera höstgrödor, t.ex. höstraps och höstvet, kommer att flyttas norrut. Detta innebär en större total areal av höstbevuxen mark ur ett nationellt perspektiv. I viss mån kan höstsådda grödor fungera som s.k. fånggrödor och därmed minska kväveläckaget under höst/vinter. Många höstgrödor höstgödslas emellertid. Detta minskar höstgrödans "fånggrödeeffekt" och medför också ökad risk för kväueutlakning, om kraftig nederbörd inträffar strax efter gödslingstillfället. Ökad areal höstsäd kan leda till ökning eller minskning av kväueutlakningen från jordbruksmark, beroende på gödslingsstrategin för de höstsådda grödorna. Höstsådda grödor har generellt en högre avkastningsnivå än vårsådda grödor. En större areal höstsådda grödor kan därför, generellt, bidra till högre förluster av växtnäring under höst/vinter pga nedbrytning av större mängder skörderester. Höstvet och höstraps förväntas öka på bekostnad av vallarealen. Nettoeffekten av denna markanvändningsförändring är svår att förutsäga utan noggrannare beräkningar. Generellt sett kommer dock förändringen leda till en större jordbruksareal i "öppen odling", vilket sannolikt ökar utlakningen av växtnäring från jordbruksarealen ur ett nationellt perspektiv.

Odlingen av majs förväntas öka i ett varmare klimat. Majsensilage har bättre fodervärde än gräsensilage. Man kan därför förvänta sig en övergång från gräsvallar och gräsensilage till odling av fodermajs. Denna förändring leder till minskad vallareal. Fodermajs gödslas kraftigare än vallar. En ökning av majsarealen skulle därför medföra att mer mark kommer att vara i s.k. öppen odling, där marken bearbetas och plöjs varje år och till ökad gödsling av foderarealen. Båda dessa faktorer leder med stor sannolikhet till ökad utlakning/transport av såväl fosfor som kväve från motsvarande arealer.

En ökad areal av höstoljeväxter kan leda till ökad risk för fosforläckage kopplat till utlakning från fryst växtmaterial. En minskad vallareal kan i viss mån kompensera för ökningen av arealen höstoljeväxter i detta avseende. Den minskade vallarealen medför å andra sidan att större markarealer kommer att vara i ”öppen odling” och därmed mer utsatta för fosforläckage kopplat till transport av partikelbundet fosfor.

Sammanfattningsvis kommer sannolikt arealen höstsådda grödor öka, vilket kommer att medföra ökad höstgödsling och minskad odling av vallar. Dessa faktorer leder till risk för en relativ ökning av näringsläckaget. Övergång från gräsensilage till majsensilage kan öka näringsläckaget pga kraftigare gödsling och större areal ”öppen mark”.

6.5 Sammanfattning och jämförelse med tidigare studier

Kväveläckage

Många faktorer pekar på att en klimatförändring kommer att medföra ökad risk för kväveläckage från svensk jordbruksmark:

- Aktuella klimatscenarier indikerar att både temperatur och nederbörd kommer att öka under höst/vinter i hela landet.
- Ökad temperatur kommer att bidra till ökad mineralisering av kväve i jordbruksmark under höst/vinter.
- Ökade nederbördsmängder kommer att bidra till mer omfattande utlakning av lätttrörligt kväve från jordbruksmark under motsvarande period.
- Av vinternederbörden kommer andelen snö att minska liksom snötäckets varaktighet. Andelen av vinternederbörden som

infiltrerar marken kommer därför att öka, vilket kan öka kväveutlakningen ytterligare.

- Den direkta effekten av förändringar i klimatet under höst/vinter kommer alltså sannolikt att leda till en generell ökning av kväveläckaget från jordbruksmark.
- Ökad variabilitet i klimatet medför ökad risk för utvintring av höstgrödor, i vissa regioner, vilket ökar risken för kväveläckage under vinter-tidig vår.
- Produktionsnivån per areal kommer sannolikt att öka, vilket bidrar till ökad risk för kväveläckage under höst och vinter.
- Större diskrepans mellan grödans kvävebehov och markens förmåga att leverera kväve under växtsäsongen kan medföra behov av ökad kvävegödsling, för vissa grödor, vilket medför risk för ökat kväveläckage.
- Större diskrepans mellan grödans kvävebehov och markens förmåga att leverera kväve under växtsäsongen kan medföra behov av ökad kvävegödsling, för vissa grödor, vilket medför risk för ökat kväveläckage.
- Ökningen av växtperiodens längd kommer ej att kompensera för ökningen av kväveläckaget.
- En minskning av vallarealen och en större areal mark i "öppen odling" medför att en större areal bearbetas och plöjs varje år, vilket i sin tur sannolikt kommer att bidra till ökat kväveläckage.
- En ökning av arealen fodermajs på bekostnad av vallodling medför ökad gödsling och därmed risk för större kväveläckage.
- En ökad areal höstsådd mark kan i viss mån minska kväveläckaget genom att höstsådda grödor kan fungera som "fånggrödor" under milda höst/vinter perioder. Höstgrödornas effektivitet som "fånggrödor" är emellertid osäker och beror både på gödslingsstrategi och övervintringsförhållanden.

Endast ett fåtal begränsade studier har genomförts med avseende på effekter av en klimatförändring på kväveläckage från jordbruksmark i Sverige. Eckersten et al. (2001) studerade effekten av förändrat klimat på kväveläckage från höstveten på två jordbrukslokaler (Halmstad och Uppsala) baserat på tidigare klimatscenarier från Hadley Centre (HadCM2). Denna studie indikerar att kväveutlakningen år 2050 skulle öka med ca 17–18 % i Uppsala på såväl sandjord som lerjord. Grödans ovanjordiska produktion beräknades öka med 10–20 %. Ökningen i kväveläckage på sandjorden orsakades främst av ökad mineralisering, medan ökningen på

lerjorden berodde på en kombination av ökad kväve mineralisering och ökad avrinning. Studien indikerade däremot att kväveläckaget från en lerjord i södra Halland skulle förbli oförändrat i det framtida klimatet. Detta berodde främst på att avrinningen inte ökade, pga ökningen i avdunstning kompenserade för ökningen i nederbörd. För en sandjord på samma lokal skulle sannolikt kväveläckaget öka väsentligt, men studien omfattade inte en sådan kombination. Studien visade också att minskat snötäcke medförde längre perioder av frusen mark i Uppsala, vilket fick olika effekt på förhållandet mellan ytavrinning och infiltration på respektive sand och lerjord.

Eckerstens studie visar på betydelsen av att förstå samspelet mellan olika faktorer som styr utlakningen av kväve och behovet av att göra kvalificerade beräkningar som beaktar den sammanlagda effekten av flera faktorer. Studien demonstrerar också att effekten på samma lokal kan variera beroende på jordart samt att skillnader i klimat mellan olika lokaler kan leda till stora skillnader i utlakning på samma typ av jord.

Arheimer et al. (2005) uppskattade den potentiella effekten av en klimatförändring i ett jordbruksdominerat avrinningsområde i sydvästra Sverige baserat på sex olika klimatscenarier för år 2071–2100. Resultaten indikerar att kväveutlakningen skulle öka mellan 32–70 %, beroende på scenario och gröda. Ökningen av kväveläckage berodde främst på ökningen i nederbörd och temperatur och därtill kopplad ökning i kväve mineralisering och avrinning. Ökningen i växtsäsongens längd kunde ej kompensera ökningen av kväveutlakning. Kvävekoncentrationen i rotzonen ökade med 34–67 % (årliga genomsnittsvärden) medan kvävekoncentrationen i vattendragen ökade med ca 7–19 %. Kväveretentionen i vattendragen ökade till följd av ett varmare klimat, men trots detta ökade den årliga transporten av kväve till havet med 10–33 %, bl.a. pga ökad avrinning. Resultaten visade på små skillnader mellan scenario A2 och B2, men betydande skillnader mellan beräkningar baserade på ECHAM4 respektive HadAM3H. ECHAM4 gav betydligt större ökning i kväveutlakningen. Detta beror främst på att ECHAM4 predikterar både större temperaturökning och högre nederbörd (och därmed högre avrinning). Beräkningar baserade på HadAM3H gav högre kvävekoncentrationer i vattnet men lägre total transport pga den lägre avrinningen. Arheimers studie demonstrerar särskilt betydelsen av att beakta den rumsliga skalan vid uppskattning av klimateffekter på

växtnäringsläckage, samt den stora variationen i resultat beroende på vilken GCM-modell som ligger till grund för de klimatscenarier som används som indata.

Inom ramen för en pågående studie beräknas effekten av en klimatförändring på kväveutlakningen från nuvarande grödor i Mälardalen regionen (H. Johnsson och K. Mårtensson, SLU; pers. komm.). Preliminära siffror visar på en genomsnittlig ökning av kvävekoncentrationen i vattnet som avrinner från rotzonen på ca 10 % (scenario A2, HadAM3H, 2072–2091). Koncentrationsökningen är större med avseende på stråsäd och mindre för vallar. Motsvarande beräkningar för ett avrinningsområde i mellersta Norrland (Rickleå) indikerar en mindre ökning av kväveläckaget (<10%) främst pga den stora vallarealen i området. Eventuella förändringar i markanvändning (t.ex. vallareal) och gödslingsnivåer har ej beaktats i dessa beräkningar.

Fosforläckage

- Ökad nederbörd under vintern kommer att öka risken för partikelerosion och därmed partikelbunden förlust av fosfor från jordbruksmark. En eventuell ökning i frekvensen av intensiva nederbördstillfällen kommer att verka i samma riktning.
- Minskat snötäcke leder till en minskning av ytavrinningen i samband med snösmältning, vilket i sin tur kan minska fosforförlusterna kopplat till snösmältning.
- Ökad frekvens av perioder med oväxlande frysning/tining kan bidra till ökad utlakning av fosfor från höstsådda grödor och vallar.
- Minskad vallareal kan bidra till minskning av fosforutlakningen från fryst växtmaterial, samtidigt som ökning av arealen höstoljeväxter leder i motsatt riktning.
- Högre produktionsnivåer leder till ökat behov av fosforgödsling, med ökad risk för fosforläckage som följd.
- Ökad areal fodermajs på bekostnad av vallarealen resulterar i kraftigare gödsling av foderarealen och större andel ”obevuxen mark” under vintern, vilket ökar fosforläckaget.

För att uppskatta relativa effekter av ovanstående faktorer i olika regioner och vid olika klimatscenarier, krävs kvalificerade

beräkningar där dessa faktorer sammanvägs med avseende på grödor, produktions- och gödslingsnivåer och potentiella markanvändningsförändringar.

Beräkningar av klimatförändringens effekter på fosforläckaget för ett par avrinningsområden i Sverige pågår (M. Larsson och A. Lindsjö, SLU; pers. komm.), men har ännu inte publicerats. Preliminära siffror pekar på en nettoökning av fosforläckaget med avseende på befintliga grödor i Mälar-Hjälmar regionen och Emåns avrinningsområde (Scenario A2, 2072–2091, HADAM3H) för både scenario A2 och B2. Ökningen härleds främst till ökad totalavrinning under vintern och därtill kopplad transport av partikelbunden fosfor. Beräkningar med avseende på Rickleåns avrinningsområde i Norrland indikerar däremot en minskning av fosforläckaget. Minskningen beror främst på minskat snötäcke och därmed reducerad avrinning och minskad yterosion vid snösmältning. Området domineras av vallproduktion och eventuella förändringar i markanvändning eller gödsling har ej beaktats i dessa beräkningar.

6.6 Möjliga åtgärder

Resultat från forskningsprogrammet VASTRA (Vattenstrategiska forskningsprogrammet) har visat att det kan bli svårt att uppnå det nationella miljömålet "Ingen övergödning år 2015" (30 % minskning av kvävetillförseln och 20 % minskning av fosfortillförseln till havet) i ett jordbruksdominerat avrinningsområde i södra Sverige, genom enbart åtgärder inom jordbruket (Andersson et al, 2006). De mest effektiva jordbruksåtgärderna för minskning av kväveläckaget var: sen brytning av vall och träda, insådd fånggröda i vårsådd spannmål och oljeväxter, samt vårspridning (istället för höstspridning) av stallgödsel. Om dessa åtgärder kombinerades uppnåddes en total reduktion av kväveläckaget från rotzonen med 16 %. Eftersom vårsådda grödor ofta följs av vall eller höstsådda grödor blev arealen för odling av fånggrödor med bibehållen växtföljd begränsad. Om arealen fånggrödor ökades genom att höstgrödor ersattes med vårsådd gröda + insådd fånggröda, ökade reduktionen av kväveläckaget till 20 % (Larsson et al., 2005). En tioprocentig sänkning av handelsgödselgivan till spannmål minskade läckaget från rotzonen med 4 %, men medför även en

skördesänkning (uppskattad till 2–5 %). Studien är baserad på rådande klimat år 1980–2000.

- En klimatförändring kommer därför sannolikt att medföra att ytterligare åtgärder krävs för att uppnå och bibehålla de nationella miljömålen med avseende på minskning av fosfor och kväveläckage från jordbruksmark.
- Den förmodade ökningen av arealen höstsådd mark kommer enligt ovan att minska möjligheterna att uppnå miljömålen. I ett framtida klimat blir det därför angeläget att utveckla odlingssystem och växtföljder som ger utrymme för olika typer av insådda fånggrödor eller andra grödor med effektivt rotsystem under höst och vinter, liksom att utveckla system där höstbearbetning av marken sker i så liten omfattning som möjligt.
- För att uppnå miljömålet ”Ingen övergödning” i en framtida klimatsituation kommer jordbruksåtgärder, i ännu högre utsträckning än idag, att behöva kompletteras med andra åtgärder t.ex. anläggning av våtmarker och kantzoner längs vattendragen, förbättrad rening av industriavlopp och enskilda avlopp och förbättring av reningstekniken i reningsverk (Andersson et al., 2006; Larsson et al., 2005).

6.7 Slutsatser

De få kvalificerade studier som hittills genomförts med avseende på kväveläckage från svensk jordbruksmark i ett förändrat klimat indikerar att kväveläckaget med stor sannolikhet kommer att öka väsentligt. De bekräftar därmed de mer generella resonemang och slutsatser som här presenterats och som baserats på befintlig kunskap om de processer som styr kväveutlakningen och på information från aktuella klimatscenarier. De demonstrerar också behovet av att genomföra kvalificerade studier och beräkningar som beaktar det komplexa samspelet mellan olika faktorer som påverkar kväveutlakningen. Hittills genomförda studier omfattar emellertid endast ett fåtal geografiska platser/områden och har av naturliga skäl flera begränsningar. Av praktiskt/tekniska skäl beaktades t.ex. inte den direkta återkopplingen mellan grödornas tillväxt och klimat i studien av Arheimer et al. (2005). Effekterna av den ökade variabiliteten i klimatet och ökad frekvens av extrema

vädersituationer har inte heller beaktats. Den ökade variabilitet i klimatet som indikerats i de aktuella klimatscenarierna har stor betydelse för de processer som styr risken för utlakning av växtnäring under olika delar av året och på olika typer av jordar. Potentiella effekter av ändrad markanvändning och förändringar i gödslings- och produktionsnivåer har inte heller studerats. Även fosforförlusterna från jordbruksmark kan förväntas öka pga klimatförändringen, vilket bekräftas av preliminära siffror från en pågående studie. I vissa områden i norra Sverige kan emellertid fosforförlusterna eventuellt minska pga effekterna av minskat snötäcke.

För en mer heltäckande bild av riskerna för växtnäringsläckage i ett framtida klimat och den potentiella effekten av olika anpassningsåtgärder i olika regioner, krävs flera studier som beaktar den sammanvägda effekten av olika faktorer som påverkar såväl kväve- som fosforläckage. Det krävs därför dels kvalificerade studier som omfattar beräkningar av kväve- och fosforläckage i varje region med avseende på klimat, grödor, jordar och klimatrelaterade förändringar i tidpunkter för olika gödslings- och bearbetningsåtgärder. Dessutom behövs studier som beaktar den relativa betydelsen av ökad variabilitet i klimatet samt potentiella effekter av ändringar i produktion och markanvändning.

6.8 Referenser

- Andersson, L, Arheimer B, Kallner Bastviken S, Johnsson H, Kyllmar K, Larsson H, Pers C, Rosberg J, Ståhl-Delbanco A, Tonderski K. 2006. VASTRA-modeller i vattenplaneringscykeln. I: På tal om vatten. (Ed:Jöborn A, Danielsson I, Oscarsson, H), VASTRA rapport 6:149–72.
- Arheimer B, Andréasson J, Fogelberg S, Johnsson H, Pers C B and Persson K. 2005. Climate Change Impact on Water Quality: Model Results from Southern Sweden. *Ambio*, Vol 34, No 7: 559–566.
- Eckersten H, Blombäck K, Kätterer T, Nyman P. 2001. Modelling C, N, water and heat dynamics in winter wheat under climate change in southern Sweden. *Agriculture, Ecosystems and Environm.* 86: 221–235.
- Johnsson H, Mårtensson K, Larsson M, Mattson L. 2006. Beräkning av kväveutlakning vid förändrad gödsling för

höstvetete och vårkorn. Teknisk Rapport 106. Avd Vattenvårds-
lära, Inst Markvetenskap, SLU. Uppsala. 20 pp.
Larsson M, Kyllmar K, Jonasson L, Johnsson H. 2005. Estimating
Reduction of Nitrogen Leaching from Arable Land and the
Related Costs. Ambio, Vol 34, No 7: 538–543.

Muntlig kommunikation

H. Aronsson, Inst Markvetenskap, SLU
G. Bergkvist, Inst för Växtproduktionsekologi, SLU
H. Johnsson, Inst Markvetenskap, SLU
M. Larsson, Inst Markvetenskap, SLU
A. Lindsjö, Inst Markvetenskap, SLU

7 Appendix

7.1 Markanvändning

Bakgrund

Tabell A1.1 Åkerarealens användning och vegetabilieproduktion, genomsnitt åren 1994–1999

	<i>Areal (1000 ha)</i>	<i>Produktion (1000 ton)</i>	<i>Prisnivå år 1999 (kr/kg)</i>	<i>Värde (milj kr)</i>
Höstvete	277	1589	0,98	1557
Vårvete	46	226	1,06	240
Höstråg	32	160	0,97	155
Brödsäd	355	1975		1952
Höstkorn	18	76	0,91	69
Vårkorn	448	1786	0,91	1625
Havre	299	1093	0,92	1006
Rågvete	54	255	0,89	227
Blandsäd	29	92	0,75	69
Fodersäd	848	3306		2996
Baljväxter	38	75	1,05	79
Vall	1010	(7360)	0,81	5961
Matpotatis	26	792	1,50	1188
Fabrikspotatis	8	330	0,52	172
Potatis	34	1062		1360
Sockerbetor	59	2752	0,39	1073
Höstoljeväxter	33	78	1,32	103
Våroljeväxter	49	78	1,32	103
Oljelin	12	9	1,10	10
Oljeväxter	94	165		226
Köksväxter	6			600
Övrigt	38			
Träda	243			
Ej utnyttjad åkermark	63			
Summa	2788			14247

Jordbrukets ekonomiska förutsättningar

Tabell A1.2 ACCELERATES-modellens parametrar för relativa prisutvecklingar i markanvändningsmodellen för EU15. Notera att bedömningen är gjord för 2020 och att 2050 och 2080 utgör linjära extrapoleringar

Parameters	Nu	2020				2050				2080			
		A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2	A1	A2	B1	B2
Divergens/konvergens Parameter	100	172	101	148	91	279	103	220	78	386	105	293	65
Kostnader för gödselmedel	100	94	107	136	164	85	118	189	259	76	129	243	355
Kostnader för utsäde	100	120	108	104	94	149	121	111	85	179	133	118	77
Kostnader för pesticider	100	88	102	141	147	69	104	203	218	51	106	266	289
Kostnader för maskiner	100	88	106	121	132	70	116	153	179	52	125	185	227
Kostnader för drivmedel	100	90	110	143	157	76	125	209	241	62	140	274	326
Kostnad för arbetskraft	100	151	114	133	110	228	135	184	125	305	157	234	140
Kostnad för kontraktsarbete = 40% arb. + 60% maskin.	100	105	112	123	133	112	131	156	183	119	149	190	234
Arealbidrag	100	0	0	91	107	0	0	77	117	0	0	63	127
Spannmålspriser	100	83	92	102	112	59	80	106	131	34	67	109	149
Spannmål, arealbidrag	100	0	99	60	101	0	99	0	103	0	98	0	104
Majspris	100	91	99	105	106	78	99	112	116	65	98	119	125
Majs, arealbidrag	100	0	94	60	89	0	85	0	72	0	76	0	56
Sockerbetspris	100	82	95	90	102	54	88	74	104	27	81	58	107
Oljeväxtfrö, pris	100	82	90	94	106	54	74	86	114	27	58	78	123
Oljeväxt, arealbidrag	100	0	101	60	115	0	104	0	138	0	106	0	160
Olivolja, pris	100	82	94	90	106	54	85	74	114	27	76	59	123
Olivolja, arealbidrag	100	0	92	60	107	0	79	0	116	0	67	0	126
Roots and tubers price (s/t)	100	88	98	113	124	69	94	134	160	51	91	154	196
Pris, proteingröda	100	81	93	93	108	54	82	83	121	26	70	73	133
Proteingröda, arealbidrag	100	0	89	60	85	0	74	0	62	0	58	0	39
Bomullspris	100	86	91	93	112	65	78	82	129	44	65	72	146
Bomull, arealbidrag	100	0	89	83	106	0	73	58	116	0	57	32	126
Tobak, pris	100	90	93	92	111	75	83	80	128	60	73	68	144
Trädesbidrag	100	79	99	104	112	47	98	110	130	15	97	116	148
Trädeskvoter (%)	100	0	100	95	105	0	100	88	113	0	100	81	121
Köttpris	100	96	98	101	110	89	95	103	124	83	92	104	139
Mjölpris	100	88	96	104	119	70	90	109	147	52	84	114	175
Bidrag LFA	100	81	105	92	121	52	112	79	153	24	119	67	184
Skörd	som 100	167	131	130	104	268	177	176	109	368	223	221	115
f(teknologiförändring)													
Bevattningsanläggningar	100	133	138	124	116	183	195	161	139	232	252	198	162
Vattenpris	100	134	118	159	149	184	145	246	222	234	172	334	296
Bevattningseffektivitet	100	135	136	153	142	188	190	232	205	241	244	311	268
Restriktion, kemiska	100	92	94	132	132	79	84	180	181	67	74	228	230
bekämpningsmedel													
Gårdsstorlek	100	164	126	132	105	260	165	179	112	356	205	227	120
Negativa växtföljdseffekter	100	80	87	94	101	51	67	84	102	22	47	75	103

Markanvändning för Europa som en region

Markanvändning för Europa som en region

Tabell A1.3. ATEAM: Sammanfattning av använda parametervärden samt av estimerad framtida markanvändning, åkermark, som procent av dagens. Relativ markanvändning beräknas enligt ekvation 7. Beräkningarna av L_t/L_{t0} är gjorda utifrån grundmodellen, d.v.s. utan hänsyn till restriktioner på areal förändringar eller eventuell bioenergiproduktion.

Relativ framtida markanvändning	AIFI		A2		B1		B2	
	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2080
Åkermark								
Relativ efterfrågan, D_t/D_{t0}	1,25	1,51	1,46	1,14	1,31	1,38	1,18	1,29
Relativ prod., klimat, $P_{t,c}/P_{t0}$	0,99	0,92	0,93	1,01	0,97	0,95	1,01	0,97
Relativ produktivitet, CO ₂ , $P_{t,CO_2}/P_{t0}$	1,04	1,16	1,32	1,04	1,13	1,27	1,04	1,11
Relativ produktivitet, tekn., $P_{t,T}/P_{t0}$	1,37	1,87	2,34	1,36	1,81	2,16	1,29	1,86
Relativ överproduktion, $O_{t,r}/O_{t0}$	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1	1
Relativ markanvändning, L_t/L_{t0}	80%	70%	51%	73%	62%	52%	88%	66%
							85%	80%
								77%

Tabell A1.4. ATEAM: Sammanfattning av använda parametervärden samt av estimerad framtida markanvändning, gräsmark, som procent av dagens. Relativ markanvändning beräknas enligt ekvation 7. Beräkningarna av L_t/L_{t0} är gjorda utifrån grundmodellen, d.v.s. utan hänsyn till restriktioner på areal förändringar eller eventuell bioenergiproduktion. Restriktionen på minskning i B1-scenariet leder till att annan relativ markanvändning, än modellresultatet, redovisas.

Relativ framtida markanvändning	AIFI		A2		B1		B2	
	2020	2050	2080	2020	2050	2080	2020	2080
Gräsmark								
Relativ efterfrågan, D_t/D_{t0}	0,85	0,87	0,85	0,91	0,67	0,64	0,91	0,67
Relativ prod., klimat, $P_{t,c}/P_{t0}$	0,95	0,91	1,09	1,01	1	1,06	1,03	1,08
Relativ produktivitet, CO ₂ , $P_{t,CO_2}/P_{t0}$	1,04	1,16	1,32	1,04	1,13	1,27	1,04	1,11
Relativ produktivitet, tekn., $P_{t,T}/P_{t0}$	1,14	1,32	1,5	1,14	1,3	1,43	1,11	1,32
Relativ överproduktion, $O_{t,r}/O_{t0}$	1	1	1	1	1	1	1	1
Relativ markanvändning, L_t/L_{t0}	75%	63%	45%	76%	47%	36%	77%	42%
							80%	50%
								48%
Rel. markanv. med restriktion					B1+R			
					100%		94%	

Markanvändning i enskilda länder

Tabell A1.5 ACCELERATES arealfördelning inom Sverige. Modellerade förändringen av andel (%-enheter) åker (arable) av jordbruksmark till 2050 (HadCM3 A2). Värdena är avlästa från kartor

	Observerad (databas)	Modellerad baseline	Modellerad 2050	2050- baseline	Modell- observation	PCM (2050) klimatförändring
Skåne	50-60	40-50	40-50	0	-10	60-70
Småland	20-30	60-70	60-70	0	+40	80-90
VästraGötaland	40-50	50-60	50-60	0	+10	60-70
Ss	50-60	30-40	40-50	+10	-20	60-70
Nedre Norrland	20-40	10-30	50-60	+30	-10	0-80
Övre Norrland	10-20	0-10	0-10	0	-10	0-10

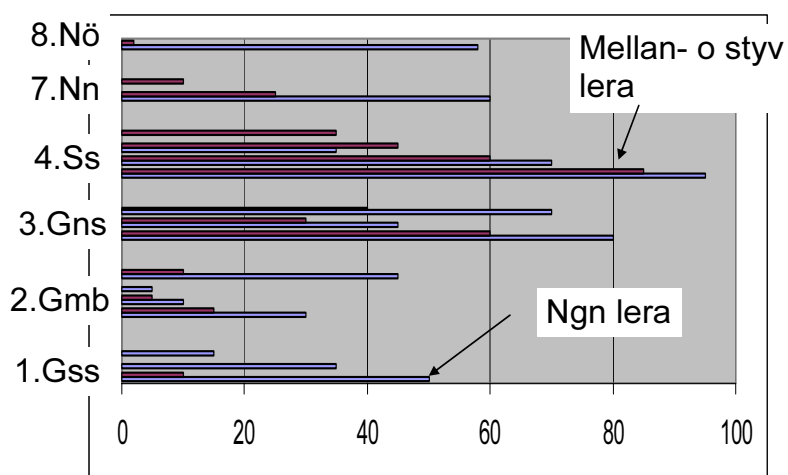
7.2 Vattentillgång

Bakgrund

Tabell A2.1 Grovt uppskattade värden på marktextur (0–20 cm) från Eriksson m.fl. (1999), grupperade efter SCB:s produktionsområden

Andel (%) av åkermarkareal i regionen	Marker innehållande lera	Mellan, styv och mycket styv lera
1: Gss	50 Malmö	10
	35 Kristianstad	
	15 Blekinge	
	30 Kalmar	15 Kalmar
	10 Jönköping	5 Jönköping
2: Gmb	5 Kronoberg	0 Kronoberg
	45 Gotland	10 Gotland
	80 Östergötland	60 Östergötland
	40-50 Skaraborg, Älvsborg	30 Skaraborg, Älvsborg
3: Gns	40 Göteborg	40 Göteborg
	70 Göteborg	
	95	85
	70 Örebro, Värmland	60 Stockholm
4: Ss	35 Dalarna	45 Örebro
		35 Värmland, Dalarna
	55-60	25 Gävle, Västernorrland
7: Nn		10 Jämtland
8: Nö	15	2

Figur A2.1 Andel (%) av åkermarkareal i regionen innehållande lera



Vårsådda grödor

Tabell A2.2 Vegetationsperiodens start (>5) (Rossby Centre, SMHI)

day Veg Start5 (DN från 1 Jan.)	1975 (ERA40)	Diff 2085-1975 (±5)	2085	Redan inträffad förändring	
				Diff 1998-1975 (±5) (ERA40)	Diff 2025-1975 (±5)
Echam4, RCA3, A2					
1: Gss	68-98 tsv	-35 till -5 tn	63	-25 till -15 snv	-15 till -5 tn
2: Gmb	83-98 tsv	-65 till -35 ti	33-48 ti	-5 till +5 si	-55 till -45 ti
3: Gns	98-113 si	-65 till -45 ti	43-48 si	-5	-55 till -45 ti
4: Ss	98-113 tö	-65 till -45 tö	33-68 tö	-5	-25
7: Nn	113	-65 till -25 ts	48-88 ts	-5	-15
8: Nö	128	-15	113	-5 till +5 ss	-15 till -5 ts

snv = senast i nordväst, ti = tidigast i inlandet

ERA40 = Modellberäkningar kalibrerade till observerade värden

Tabell A2.3 Sista vårfrosten (Rossby Centre, SMHI)

Sista vårfrost, dagnummer	1975 (± 7.5) (ERA40)	Diff 2085- 1975 (± 5)	2085	Redan inträffad förändring	
				Diff 1998-1975 (± 5) (ERA40)	Diff 2025- 1975 (± 5)
Echam4, A2					
1: Gss	98 (83 vid sk)	-75 till -55 tso	23-43 tso (8 vid sk)	-5	-35 till -25 (-45 so)
2: Gmb	98-113 tk	-45 (-55 vid k)	43-68 tk	-5 till +5 (sent vk)	-25 till -15
3: Gns	98-113 tk	-55 till -45 tv	43-68 tv	-5	-25 till -15
4: Ss	113 (23/4)	-45	68 (9/3)	-5	-25 till -15
7: Nn	113-128 ts	-45 till -35 ts	68-98 ts	-5	-25 till -15 ts
8: Nö	128	-35	98	-5	-15

tv= torrt i väster, s=söder, n=norr, ö=öster, no=nordost, i=inlandet, M=mälardalen, k= kust, sk=sydskust

Höstsådda grödor

Tabell A2.4 Vegetationsperiodens slut (<5) (Rossby Centre, SMHI)

Sista dag på vegetationsperioden >5 dagnummer	1975 (± 7.5) ERA40	Diff 2085- 1975 (± 5)	2085	Redan inträffad förändring	
				Diff 1998-1975 (± 5) (ERA40)	Diff 2025- 1975 (± 5)
Echam4, A2					
1: Gss	322-337 ss	+5 till +15 mn	337-342 ss	-5	+5
2: Gmb	308-323 svk	+15 till +30 mo	338	-5	+5 till +20 sô
3: Gns	308-323 sv	+20 till +30 mo	338-343 sv	-5	+5 till +15 tv
4: Ss	308	+40	348	-5 till +5	+15
7: Nn	293	+30 till +40 ms	323-333 ss	-5	+5 till +15 tso
8: Nö	278-293 sso	+20 till +30 ms	298-323 ss.	-5 till +5	+5

s.v.=senare i väst, m.n.=mest ökning i norr

Tabell A2.5 Period med snötäcke (Rossby Centre, SMHI)

				Redan inträffad förändring	
Snötäcke Dagar/år	1975 (±15) (ERA40)	Diff2085–1975 (±5)	2085	Diff 1998–1975 (±5) (ERA40)	Diff 2025–1975 (±5)
Echam4, RCA3, A2					
1: Gss	45	-15	30	-15	-15 till -5 mno
2: Gmb	45-75 kvk	-45 till -15 mö	30	-25	-25 till -5 mö
3: Gns	45-75 kvk	-45 till -15 mö	30	-25	-25 till -15 mn
4: Ss	75-105 ks	-75 till -45 mn	30	-25 till -15 mn	-25 till -45 mn
7: Nn	105-135 ks	-95 till -85	20-40 ks	-5 till -15 mn	-55 till -45 ms
	135-165 ks	-95 till -65 ms	45-100 ks	-5 till +5	-45 till -35 ms
8: Nö			ks		

Kvk=kortast vid västkusten, mö= störst minskning i öster

Tabell A2.6 Förändring av medeltemperatur för Svealands slättbygder (Rossby Centre, SMHI)

	2085–1975 ändring (oC)	Redan inträffad förändring		
		1998–1975 Ändring observ. (interpolerad)	2085–1998 Ändring	
Svealand (Ss)		[modellerad ERA40]		
Jan	+5.8	+1.7 [+1.5]	+4.1	
Feb	+6.3	+1.7 (1.5) [+1.0]	+4.8	
Mars	+6.3	+1.0 (1.3) [+0.5]	+5.0	
April	+4.3	+1.0 [+0.5]	+3.3	
Maj	+2.8	+1.0 (0.9) [+0]	+1.9	
Juni	+2.8	+0.7 (0.8) [-0.5]	+2.0	
Juli	+3.3	+0.7	+2.6	
Augusti	+3.8	+0.7 (0.6)	+3.2	

Vallens tillväxt samt vatten- och kvävebehov

Tabell A2.7a Förändringen av medeltemperatur till 2085 för specifika lokaler januari till juni (Rossby Centre, SMHI)

DeltaT Diff ~2085--1975 (± 5) (oC)	januari	Februari	Mars	April	Maj	Juni
Echam4, A2						
1: Halmstad	4.3	4.8	5.3	4.3	2.3	2.8
2: Jönköping	4.8	5.3	5.3	4.3	2.3	2.8
3: Skara	4.3	5.3	5.3	4.3	2.3	2.8
4: Örebro	5.3	5.8	5.8	4.8	2.3	2.8
5: Uppsala	5.3	5.8	5.8	4.8	2.8	2.8

Tabell A2.7b Förändringen av medeltemperatur till 2085 för specifika lokaler juli till december (Rossby Centre, SMHI)

DeltaT Diff ~2085--1975 (± 5)	Juli	Augusti	September	Oktober	November	December
Echam4, A2						
1: Halmstad	3.3	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8
2: Jönköping	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8
3: Skara	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8
4: Örebro	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	4.3
5: Uppsala	2.8	3.3	3.3	3.8	3.3	3.8

Tabell A2.8a Förändringen av nederbörd till 2085 för specifika lokaler januari till juni (Rossby Centre, SMHI)

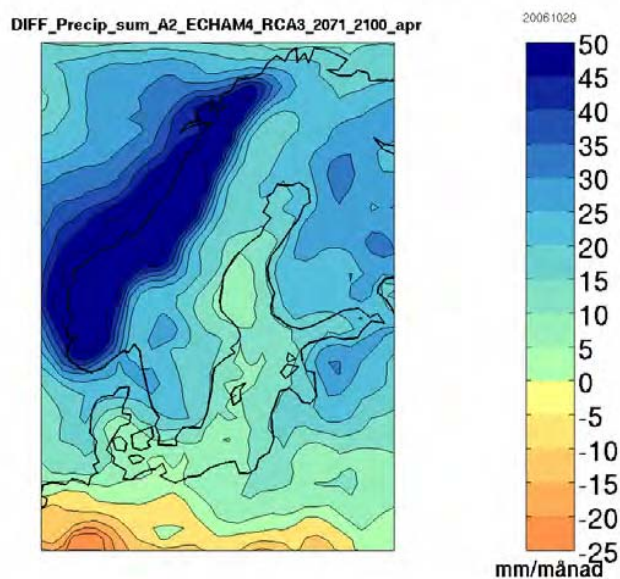
DeltaNbd Diff ~2085--1975 (± 7.5) (mm)	januari	Februari	Mars	April	Maj	Juni
Echam4, A2						
1: Halmstad	48	38	23	23	3	-8
2: Jönköping	38	28	18	23	-3	-18
3: Skara	38	33	18	23	3	-3
4: Örebro	33	23	18	18	3	-8
5: Uppsala	28	13	18	13	-3	-3

Tabell A2.8b Förändringen av nederbörd till 2085 för specifika lokaler juli till december (Rossby Centre, SMHI)

DeltaNbd Diff ~2085--~1975 (± 7.5) (mm)	Juli	Augusti	September	Oktober	November	December
Echam4, A2						
1: Halmstad	- 3	-23	-3	48	38	33
2: Jönköping	- 23	-23	-13	38	28	18
3: Skara	-23	-23	-8	38	28	23
4: Örebro	-23	-23	-3	33	23	18
5: Uppsala	-13	-23	-3	28	23	13

7.6 Näringsläckage

Nederbörd



Figur NederbördDiff
Diff Nedebröd (mm/månad)
Bas CC-karta 1975 (april) för
(Rossby Centre, SMHI)

Tabell A.6.1 Nederbörd Januari. DIFF_Precip_sum, Medelnederbörd, Echam4, A2 (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum Januari	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5)	2025 (införd 20070320)
		(Max i Hela Västra Götaland +48) (Min i Norrköping +23)	(Max i Norra Halland +43 mindre utbred) (Min i Norrköping +13 större utbred)
1: Gss	50-100 vnv	35-40 tö	
2: Gmb	50-100 tö	25-50 tö	
3: Gns	50-100 vsv	20-45 tö	
4: Ss	50-75	20-35 tö	
7: Nn	50-75	20-30 ts	
8: Nö	25-75 tn	15-30 tn	

Tabell A6.1 Nederbörd Februari. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum Februari	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5)	2025 (införd 20070320)
		(Max i Norra Halland +43) (Min i Nyköping +18)	(Max i Norra Halland +43 liten utbred.) (Min i Nyköping +13)
1: Gss	50-75	20-30 tso	
2: Gmb	50-100 vi	15-45 tö	
3: Gns	50-75	15-25 tö	
4: Ss	25-75 tö	10-20 tö (25 i Värmland)	
7: Nn	25-75 tö	10-20 ts	
8: Nö	25-50	20-25	

Tabell A6.1 Nederbörd Mars. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum mars	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5) (Max i Halland +28) (Min i Gävle +13)	2025 (införd 20070320) (Max i Halland +18) (Min i Gävle +3)
1: Gss	50-75	5-15 ts	
2: Gmb	50-75	10-30 tö	
3: Gns	25-50	15-25 vv	
4: Ss	25-50	10-25 tö	
7: Nn	25-50	10-30 ts	
8: Nö	25-50	15-30 tn	

Tabell A6.1 Nederbörd April. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum april	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (korrigerat negativa värden till 5 mm torrare, svårigheter med att läsa gulskalan) (mm) (± 7.5)	2025 och 2055 (ej korrigerat) (2025 införd 20070320) 2025 torrare därefter successivt våtare
1: Gss	50-75	+5-10 i söder till +10-15 i norr	2025 +0-5 (+3)
2: Gmb	50-75	+15-20 i öster till +20-25 i väster	2025 -5till-0 (-8)
3: Gns	50-75	+15-20 i öster till +25-30 i väster	2025 -5till-0 (-8)
4: Ss	25-50	+10-15 i öster till +20-25 i väster	2025 -10till-0 (-13 till -8 ts)
7: Nn	50-75	+10-15 i öster till +20-25 i väster	2025 -10till-0 (-13)
8: Nö	50-75	+10-15 i öster till +20-25 i väster	2025 -5till-0 (-13 till -8 ts)

Tabell A6.1 Nederbörd Maj. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum maj	1975 medel (mm) (±12.5)	2085 ändring (mm) (±7.5)	2025 och 2055 (2025 införd 20070320)
			2025 torrare därefter succesivt våtare
1: Gss	50-75	+5-10 i öster till -0-5 i väster	2025 -10till-0 (-13 till -8 tn)
2: Gmb	50-75	+10-15 i kustområden till -5till -0 i inland	2025 -15till-0 (-18 till -8 ti)
3: Gns	50-75	+10-15 i öster till +15-20 i väster	2025 -15till+5 (-13 till -8 tö)
4: Ss	50-75	+0-5 i öster till +10-15 i väster (ostkusten -5till-10)	2025 -15till+5 (-18 till +3 tno)
7: Nn	50-100	-10 till+5	2025 -20till-0 (-23 till -18)
8: Nö	50-100	+0-15	2025 -20till-0 (-23 till -18)

Tabell A6.1 Nederbörd Juni. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum juni	1975 medel (mm) (±12.5)	2085 ändring (mm) (±7.5)	2025 och 2055 (2025 införd 20070320)
	torrast vid kusten		2025 otydligt mönster med svagt våtare i söder och svagt torrae i norr. 2055 mer likt 2085:s mönster
1: Gss	50-75	-15till-10	(+3 till +8)
	50-100	-20(-25)till-5 (torrast i inlandet)	(+3 till +8)
2: Gmb			
3: Gns	50-100	-0till-15	(+3 till +8)
	50-100	-10till-5 i öster till -15till-10 i väster (ostkusten +0-5)	(+3 till +8)
4: Ss			
7: Nn	50-125	+0-20	(-3 till +3)
8: Nö	50-100	-5till+15	(-3 till +3)

Tabell A6.1 Nederbörd Juli. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum juli	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5)	2025 och 2055 (2025 införd 20070320)
	torrast vid kusten		2025 = 2085:s mönster fast svagare 2055 = mitt emellan 2025 och 2085
1: Gss	50-100	-25till-15 (torrast i norr)	(-23 till +3 ti)
2: Gmb	50-125	-25till-20, -25till-5 nära kusterna	(-23 till +3 ti)
3: Gns	50-125	-25till-20 i öster -20till-5 i väster	(-23 till +3 ti)
4: Ss	75-125	0till-25 i öster, -25till-20 i väster och centralt	(-13 till +18 ti)
7: Nn	10-150	0till+15, torrast i söder	(samma 2085)
8: Nö	50-125	-5till+15, torrast i norr	(samma 2085)

Tabell A6.1 Nederbörd Augusti. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum augusti	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5)	2025 och 2055 (2025 införd 20070320)
	torrast vid kusten		2025 = 2085:s mönster fast viss initial våtare i Nn. Påfallande stark minskning i nederbörd redan 2025 2055 = 2025 men starkare (ej våtare Nn) och likt 2085
1: Gss	50-100	-25till-20	(-23 till -18 vs (mest -23))
2: Gmb	75-150	-25till-20	(-23 till -18 vs (mest -23))
3: Gns	75-150	-25till-20	(-23 till -18 vs (mest -23))
4: Ss	75-125	-25till-20	(-23 till -18 vi)
7: Nn	100-150	-20till-5	(-8 till +8)
8: Nö	50-125	-10till+10	(-8 till +8)

Tabell A6.1 Nederbörd September. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum september	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5)	2025 (2025 införd 20070320)
	torrast i öster		2025 starkt torrare vars mönster succesivt suddas ut till 2085
1: Gss	50-100	-20till-5 (torrast i sydväst)	2025: -15till-0 tnv (-23 tnv)
2: Gmb	75-125	-20till-5 (torrast i inlandet)	2025: -20till-5 tv (-23 tnv)
3: Gns	75-125	-20till-5	2025: -20till-10 tv (-23 tnv)
4: Ss	75-125	-15till-5 (torrast i väst)	2025: -20till-5 tv (-23 tnv)
7: Nn	75-100	-10till+15 (torrast i söder)	2025: -15till-0 ts (-8 till -3)
8: Nö	75-100	+10till20	2025: -10till-0 tn (-8 till -3)

Tabell A6.1 Nederbörd Oktober. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum oktober	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (korrigerat negativa värden till 5 mm torrare, svårigheter med att läsa gulskalet) (mm) (± 7.5)	2025 (införd 20070320)
1: Gss	75-100	35-40 vv	(+3 till +8)
2: Gmb	75-125 tö	25-50 tö	(+3 till +8)
3: Gns	75-100	30-45 tö	(+3 till +8)
4: Ss	75-100	30-45 tö	(+3 till +8)
7: Nn	75-100	30-40 ts	(+3 till +8)
8: Nö	75-100	30-40 tn	(+3 till +8)

Tabell A6.1 Nederbörd November. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum November	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5)	2025 (införd 20070320)
1: Gss	50-100 tö	10-30 tö	(+8 till +18 vnv)
2: Gmb	75-125 vi	10-35 tö	(+8 till +18 vnv)
3: Gns	50-100 tö	15-30 tö	(+8 till +18 vnv)
4: Ss	50-75 (100 i Värmland)	15-20 (25 i Värmland)	(+8 till +18 vnv)
7: Nn	50-75	15-20	(+3 till +13 vs)
8: Nö	50-75	5-15 tn	(+3 till +13 vs)

Tabell A6.1 Nederbörd December. (Rossby Centre, SMHI)

DIFF_Precip_sum December	1975 medel (mm) (± 12.5)	2085 ändring (mm) (± 7.5)	2025 (införd 20070320)
1: Gss	50-75	15-30 tö	(+8 till +13 tö)
2: Gmb	50-100 tö	15-35 tö	(+8 till +13 tö)
3: Gns	50-100 vsv	10-30 tö	(+8 till +13 tö)
4: Ss	50-75 (100 i Värmland)	10-20 tö	(+3 till +18 tno)
7: Nn	50-75	15-30 ts	(+3)
8: Nö	50-75	10-30 tn	(+3)

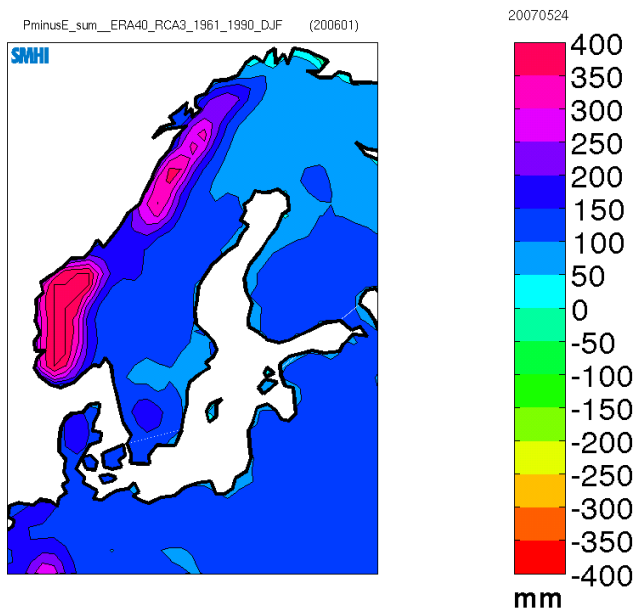
Tabell A6.1 Nederbörd torraste

Nederbörd (Diff 2085-1975 (± 7.5)) (mm/mån)	april	Maj	juni	Juli	augusti	september
Echam4, A2	Torraste	Torraste	Torraste	Torraste	Torraste	Torraste
1: Gss	8 t.s.	3 tv	-13	-23 tn (-8 s)	-23	-18 tsv (-8 n)
2: Gmb	18 t.ö.	-3 ti	-18 ti	-23	-23	-18 ti (-8 kuster)
3: Gns	18 t.ö.	13 tö	-13	-23 tö (-13 v)	-23	-18
4: Ss	13 t.ö.	3 tö	-13 tv (-8 ö)	-23 tv.i (-13 ö)	-23	-13 tv (-8 ö)
7: Nn	13 t.ö.	-8	3	3 ts	-18	-8 ts
8: Nö	13 t.ö.	3	-3	-3 tn	-8	13

Tabell A6.1 Nederbörd ackumulerad torraste

Nederbörd (Diff 2085-1975 (± 7.5)) Ack (mm)	april	maj	juni	juli	augusti	september
Echam4, A2	Torraste	Torraste	Torraste	Torraste	Torraste	Torraste
1: Gss	8	11	-2	-20	-43	-55
2: Gmb	18	15	0	-23	-46	-64
3: Gns	18	31	18	-5	-28	-46
4: Ss	13	16	8	-5	-28	-36 (v ytterligare -15)
7: Nn	13	5	8	11	-7	-15
8: Nö	13	16	13	10	2	15

Nederbörd minus avdunstning



Figur P-E

Nederbörd minus avdunstning (mm/3mån)

Bas CC-karta 1975 (DJF) för P-E (Rossby Centre, SMHI).

Tabell A6.2 P-E Månad AtiIS. Interpolerade värden för Maj, Juni, Aug, Sep (Rossby Centre, SMHI)

P-E Diff 2085-1975 (±5)) (mm)	april	Maj	juni	juli	augusti	september
Echam4, A2	Blött i väster			Bn =blött i norr		
1: Gss	-15 till +15	-35	-55	-75	-42	-8
2: Gmb	-25 till +35	-42	-58	-75	-42	-8
3: Gns	-5 till +35	-28	-52	-75	-42	-8
4: Ss	-15 till +35	-28	-42	-75 till -55 bn	-28	-2
7: Nn	-25 till +5	-38	-52	-65 till -15 bn	-35	-5
8: Nö	+5 till +35	-2	-8	-15 till 0 bn	2	18

Tabell A6.2 P-E Månad Otillm. Interpolerade värden för Nov, Dec, Feb, Mars (Rossby Centre, SMHI)

P-E Diff 2085-1975 (±5)) (mm)	oktober	november	december	januari	februari	mars
Echam4, A2	Blött i väster			Blött i väster		
1: Gss	+25 till +35	35	45	+55 till +75	32	8
2: Gmb	+25 till +65	32	38	+45 till +75	22	-2
3: Gns	+25 till +65	35	45	+55 till +75	35	15
4: Ss	+25 till +35	35	45	+55 till +75	32	8
7: Nn	+25 till +35	35	45	+55 till +75	28	2
8: Nö	+35 till +45	42	55	+65 till +75	45	25

Tabell A6.2 P-E. (Rossby Centre, SMHI)

P-E mm/säsong 2085-1975 (±5)	Dec. Jan. Feb.	Dec. Jan. Feb. DIFF	Mars April Maj.	Mars April Maj DIFF	Juni, Juli, Aug
Echam4, A2	Blött i väster	Blött i väster	Blött i inlandet	Blött i väster	Bn =blött i norr
1: Gss	175	+55 till +75	75	-15 till +15	-75
2: Gmb	175 till 275	+45 till +75	75-125	-25 till +35	-75
3: Gns	175 till 225	+55 till +75	75	-5 till +35	-75
4: Ss	125 till 225	+55 till +75	75	-15 till +35	-75 till -55 bö
7: Nn	+55 till +75	+55 till +75	75-125	-25 till +5	-65 till -15 bn
8: Nö	+65 till +75	+65 till +75	75	+5 till +35	-15 till 0 bn

Tabell A6.2 P-E forts. (Rossby Centre, SMHI)

P-E mm/säsong 2085-1975 (+5)	Sept,Okt,Nov DIFF
Echam4, A2	Blött i väster
1: Gss	+25 till +35
2: Gmb	+25 till +65
3: Gns	+25 till +65
4: Ss	+25 till +35
7: Nn	+25 till +35
8: Nö	+35 till +45

Tabell A6.3 P-E. 2025 (Rossby Centre, SMHI)

DIFF P-E mm/säsong nnnn-1975 (+5)	Dec. Jan. Feb. 2025	Dec. Jan. Feb. 2085	Mars April Maj 2025	Mars April Maj 2085	Juni, Juli, Aug 2025	Juni, Juli, Aug 2085
Echam4, A2, RCA3	Blött i väster	Blött i väster				
1: Gss	+30 till +50	+50 till +70	-10	-10	-20 till -10 tn	-70
2: Gmb	+20 till +50	+40 till +70	-30 till -10 tö	-10 till +10 tö	-30 till -20 ti	-70
3: Gns	+10 till +50	+30 till +70	-30 till -10 tö	-10 till +10 tö	-20 till -10 tö	-70
4: Ss	Samma	+55 till +75	-50 till -10 tno	-30 till +10 tö	-20 till -10 ti	-70 till -50 ts
7: Nn	Samma	+55 till +75	-50 till -30 tso	-30	-10 till +10 ts	-30 till -10 ts
8: Nö	Samma	+65 till +75	-50 till -30 ts	-10 till +10 ts	+10	-10 till +10 ti

Tabell A6.3 P-E. 2025 forts (Rossby Centre, SMHI)

DIFF P-E mm/säsong nnnn-1975 (+5)	Sept,Okt,Nov 2025	Sept,Okt,Nov 2085
Echam4, A2, RCA3		
1: Gss	-10	+30 (+10 so)
2: Gmb	-10 (+10 västkust)	+30 till +50 vv
3: Gns	-10	+30 (+50 västk)
4: Ss	-10	+30 (+50 Värmland)
7: Nn	-10	+30 till +50 ts
8: Nö	-10 till +10 vi	+50

Tabell A6.4 P-E. HADAM3H (Rossby Centre, SMHI)

DIFF P-E mm/säsong 2085–1975 (± 5)	Dec. Jan. Feb. HADAM	Dec. Jan. Feb. Echam4	Mars April Maj HADAM	Mars April Maj Echam4	Juni, Juli, Aug HADAM	Juni, Juli, Aug Echam4
A2						
1: Gss	+50 till +70 ts	+70 (+50 ostk)	-10 till +10 tno	-10 till +10 vnv	-70	-70
2: Gmb	+50 till +70 tö	+70 (+50 ostk)	-10 till +10 vnv	-30 till +30 tö	-70	-70
3: Gns	+50 (+70 västk)	+70 (+50 ostk)	-10 till +10 to	-10 till +20 tö	-70	-70
4: Ss	+50 (+70 Värmland)	+70 (+50 ostk)	-10 till +10 ts	-10 till +20 tö	-70 till -50 vö	-70 (-50 Roslagen)
7: Nn	+50 till +70 ts	+70 (+50 ostk)	+10	-10 till +10 ts	-50 till -30 vn	-50 till -30 vn
8: Nö	+50 till +70 ts	+70	+10	+30	-30 till -10 vn	-10

Tabell A6.4 P-E. HADAM3H forts (Rossby Centre, SMHI)

DIFF P-E mm/säsong 2085-1975 (± 5)	Sept,Okt,Nov HADAM	Sept,Okt,Nov Echam4
A2		
1: Gss	-10	+30 till +50 ts
2: Gmb	-10	+30 till +70 (+10 ostk)
3: Gns	-10	+30 till +50 (+70 västk)
4: Ss	-10 till +10 (to)	+30 (+50 Värmland)
7: Nn	-10	+30
8: Nö	-10 till +10 ts	+50

Klimatförändringarnas påverkan på markavvattning och bevattning

Jordbruksverket, Vattenenheten
Lotta Carlsson, e-post: lotta.carlsson@sjv.se

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-06-04

Innehåll

Sammanfattning	5
Inledning.....	5
Markavvattningsföretag	6
Invallningar	10
Jordbruksdränering	11
Bevattning.....	11

Sammanfattning

Enligt tillgängliga utredningar medför en klimatförändring ökad avrinning vintertid och ett torrare och varmare klimat under sommarperioden i stora delarna av landets jordbruksområden. Förändringen påverkar jordbrukets markavvattningsanläggningar och bevattningsanläggningar. Markavvattningsföretagens kapacitet räcker inte till vintertid med skador som följd, skadorna drabbar jordbruket, infrastrukturen och enskilda fastighetsägare. Högre temperaturer och mindre nederbörd leder till att tillgången på vatten minskar i vattendrag, sjöar och bevattningsdammar samtidigt som bevattningsbehovet ökar.

Klimatförändringens effekter på de olika formerna av markavvattningsföretag låter sig relativt väl beskrivas. Att bedöma omfattningen av oönskade konsekvenser kräver dock mer ingående analyser. Att sedan överväga behovet av åtgärder och dessas finansiering tillför ytterligare en dimension. Åtgärder på bevattningssidan torde inte bli resurskrävande på samma sätt som på markavvattningssidan. Här uppkommer dock svårigheter redan i den översiktliga bedömningen av vilka konsekvenser klimatförändringen kan ge.

Möjligheterna att kompensera för klimatförändringens effekter är beroende av den lagstiftning som styr verksamheten. Lagstiftningen måste särskilt ses över när det gäller markavvattning. Processen för kompensationsåtgärder som syftar till att markavvattningsföretagen kan behålla sin funktion bör ses över. Det gäller speciellt förbudsbestämmelserna, som idag hindrar åtgärder till skydd mot översvämningar. Vidare behövs en utredning kring synen på och hanteringen av rörläggningar som tillkommit utan rättslig prövning men ändå helt lagligt.

Inledning

Jordbruksverkets vattenenhet har av Klimat- och Sårbarhetsutredningen fått i uppdrag att lämna en översiktlig analys av hur klimatförändringarna kan komma att påverka markavvattning och bevattning inom jordbruket.

Grundläggande för vår analys har varit avrinningskartor och nederbördskartor framtagna av SMHI. De visar hur avrinning och nederbörd beräkningsmässigt förändras i genomsnitt, säsongvis

och månadsvis. För att kunna se effekterna på dimensionerande flöden, har vi använt kartor som beskriver hur 100-årsflödet (det flöde som statistiskt överskrids en gång på 100 år) kommer att förändras. Dessa underlag redovisas inte här.

För att något tydliggöra klimatförändringens påverkan på markavvattningsföretagen har vi tittat lite närmare på en mindre del av ett sådant företag, "Jungatorps dikningsföretag av år 1917". För övriga markavvattningsanläggningar (invallningar och jordbruksdräneringar) och bevattningsanläggningar presenteras kortfattade och översiktliga analyser av påverkan från klimatförändringen.

Markavvattningsföretag

Vad är markavvattningsföretag?

I Sverige finns ca 30 000 legaliserade markavvattningsföretag. Markavvattningsföretagen benämns vanligen dikningsföretag eller torrlägningsföretag, vattenavlednings- eller sjösänkingsföretag, eller invallningsföretag beroende på storlek och typ av verksamhet. Flertalet företag har tillkommit efter 1879 då "Dikningslagen av år 1879" infördes. Markavvattningsföretagen bildades då främst för att utvinna ny odlingsmark och förbättra den befintliga jordbruksmarken. På senare tid är syftet praktiskt taget enbart att upprätthålla goda odlingsbetingelser på befintlig jordbruksmark, ofta genom omprövning av äldre företag.

Företagen är av mycket varierande storlek. En del består endast av något enstaka dike eller rörledning, medan andra innefattar stora åar med anslutande diken. Markavvattningsföretagen har tillkommit vid en förrättning, vilket innebär att deltagarna har ett tillstånd som reglerar deras rätt att avvattna marken. Oftast innebär tillståndet att deltagarna har rätt att avvattna marken till 1,2 meter under markytan. Tillståndet regleras genom dikets dimensioner och nivå i förhållande till omgivande marknivåer. Dessa nivåer och dimensioner beräknades vid företagets tillkomst. Som grund för beräkningarna användes avrinningsområdets storlek och dimensionerande vattenföringar. I Västra Götaland har man ofta använt flödena 1,5–2 liter per sekund och hektar (l/s ha) för åkermark och 1,0–1,5 l/s ha för skogsmark som dimensioneringsgrund. I östra och södra delarna av landet har ofta något mindre flöden använts

som dimensioneringsgrund, t.ex. 1–1,5 l/s ha för jordbruksdränering i Skåne.

Under 1900-talets senare del har många av de öppna diken som ingår i markavvattningsföretagen rörlagts för att förbättra arronderingen. Dessa rörläggningar har ofta inte legaliserats i den meningen att tillståndet inte har omprövats efter förändringen. Förutom de legaliserade markavvattningsföretagen finns en mängd andra gemensamma och enskilda anläggningar för avvattning som har samma funktion.

Markavvattningsföretagen är än idag en förutsättning för att driva ett rationellt jordbruk. Dessutom är det på många håll inte enbart jordbruksmarken som är beroende av avvattningen, utan även tomtmark, källare, vägar och annan infrastruktur och andra typer av anläggningar kan drabbas när markavvattningsföretagen inte fungerar.

Konsekvenser för ett markavvattningsföretag i Västra Götaland

Nedan presenteras ett exempel på hur ett markavvattningsföretag kan komma att påverkas. Jag har valt Jungatorps dikningsföretag av år 1917, som ligger i Västra Götalands län. Avrinningsområdet för Jungatorps dikningsföretag omfattar ca 370 ha mark och dikningsföretaget mynnar i Lannaån som i sin tur är reglerad genom Lannaåns vattenavledningsföretag av år 1971. Inom dikningsföretaget finns både öppna legaliserade diken och diken rörlagda utan föregående prövning.

Jag har begränsat utredningen till klimatförändringens påverkan på en mindre del av Jungatorps dikningsföretag. Avrinningsområdet för denna mindre del är 11 ha. Avrinningsområdet avvattnas enligt den ursprungliga utformningen i ett öppet dike med bottenbredden 0,5 m och släntlutningen 1:1,25. Detta dike rörlades på 1970-talet med en 270 m lång ledning med diametern 250 mm. Ledningen har inte legaliserats.

Rörledningen dimensionerades enligt principen 2 l/s ha vilket innebär att rörledningens kapacitet är 22 l/s. En dimensionering för 11 ha naturmark enligt Vägverkets publikation 1990:11 (Hydraulisk dimensionering – Diken, trummor, ledningar, magasin) ger att rörledningens kapacitet endast är något större än dagens medelhögvattenföring (MHQ) på 19 l/s. Högsta högvattenföringen uppgår till 58 l/s.

I tabellen nedan presenteras rörledningens kapacitet jämfört med medelhögvattenföring (MHQ), högsta högvattenföring med 50 års återkomsttid (HHQ₅₀) respektive högsta högvattenföring med 100 års återkomsttid (HHQ₁₀₀). I tabellen visas också hur stort flödet blir för dessa 11 ha om det sker en flödesökning med 20 %, 40 %, och 50 %. I delar av Västra Götaland kommer avrinningen enligt underlagets avrinningskarta att öka med 30–40 % och 100-års flödet med 40–50 %.

Tabell Exempel på flödesökningar för 11 ha

Flödesökningar	Idag	+ 20 %	+ 40 %	+ 50 %
Rörledningens kapacitet	22 l/s			
Medelhögvattenföringen (MHQ)	19 l/s	23 l/s	27 l/s	29 l/s
50-års flödet (HHQ ₅₀)	58 l/s	70 l/s	81 l/s	87 l/s
100-års flödet (HHQ ₁₀₀)	64 l/s	77 l/s	90 l/s	96 l/s

Då flödet för ovanstående avrinningsområde överstiger 22 l/s, går rörledningen full och vattnet stiger i marken. Den beräknade rörledning är endast en del av hela dikningsföretaget, som i sin tur är beroende av Lannaåns vattenavledningsföretag. En beräkning på Lannån visar att vid höga flöden översvämmas omkringliggande marker. Detta får till följd att Lannån dämmer så att avvattningen försämras för de dikningsföretag som mynnar i Lannaån, vilket innebär att vattennivåerna stiger ytterligare i markerna runt omkring.

Jordbrukets grödor klarar att det rinner vatten på markytan under kortare perioder, men med ökande flöden kan det innebära att översvämningarna kommer att ske oftare och att marken ställs under vatten under en längre tid med skador som följd. De stigande vattennivåerna kan, förutom att de orsakar skador på jordbruksmark, även medföra att omkringliggande fastigheter får problem med exempelvis vatten i källare, översvämmade vägar och ohygienisk avrinning från markbäddar.

Domen i målet M 3817-04 i Miljööverdomstolen kan sägas vara prejudicerande när det gäller en rörlednings laglighet när den utan legalisering lagts i ett legaliserat öppet dike. Dikningsföretagets ursprungliga utformning gäller, om rörläggningen inte har legaliserats. Det innebär att skadedrabbade kan begära att rörläggningen tas bort i det fall rörläggningens kapacitet är mindre än för

det ursprungliga öppna diket. De skadedrabbade kan även begära ersättning för de skador som uppstått. Det kan således vara stora kostnader förknippade med rörläggning i tillståndsgivna företag när verkningarna av ökade flöden blir kännbara. Om rörledningen rivs ut, uppkommer en förlorad investering och tillkommer kostnad för försämrade arrondering. Ett företag som drivs och underhålls enligt bestämmelser och villkor i ett tillstånd, kan däremot inte ställas till svars för eventuella skador av av höga flöden och översvämningar.

Konsekvenser och åtgärder

Exemplet ovan är enbart en liten del av ett mycket större markavvattningsföretag, Jungatorp, som i sin tur är beroende av att omkringliggande markavvattningsföretag fungerar. Jordbrukets avvattning är ett komplext system med täckdiken, rörläggningar och öppna diken där ett ökat flöde kan påverka stora områden.

Då avrinningen ökar vintertid är det inte säkert att det är jordbruksmarken som drabbas av de största skadorna. Det kan lika gärna bli övriga fastigheter som drabbas genom att vägar och andra anläggningar översvämmas. Jordbruksföretagen kan dock drabbas ekonomiskt om transporter till och från fastigheten hindras eller försämrats.

Enligt exemplet ovan kan markavvattningsföretagen drabbas när rörläggningarna som dimensionerats efter gängse principer och det klimat som då rådde inte räcker till. Det finns också markavvattningsföretag som sköts och underhålls helt enligt tillståndet, men där avvattningen ändå inte kommer att vara tillräcklig vid ökade flöden. Här blir inte markavvattningsföretaget ersättningsskyldigt, men det blir ändå skador som måste åtgärdas och finansieras.

Möjliga åtgärder för att undvika och minska skadorna i framtiden kan vara att utjämna flöden med hjälp av utjämningsmagasin innan vattnet rinner vidare i system som är begränsade. Kraven på ökat underhåll av öppna diken kommer troligen att öka, men det är inte möjligt att utan dispens ändra avvattningsförhållandena så att markavvattningsnyttan bibehålls såsom markavvattningsförbudet är formulerat idag. Lagstiftningen kring de befintliga markavvattningsföretagen bör ses över om markavvattningsnivåerna ska kunna bibehållas.

Skillnader geografiskt

Skillnaderna geografiskt är svåra att förutse, eftersom vi inte känner till hur klimatförändringarna kommer att påverka de flöden som markavvattningsföretagen är dimensionerade för. Generellt sett ökar dock avrinningen mest i nordöstra Norrland och västra delarna av Götalands mellanbygder. Det är sannolikt att markavvattningsföretagen påverkas mest i dessa delar av landet. I östra delarna av Götalands mellanbygder kommer dock avrinningen och 100-årsflödet att minska, så här förväntas ingen påverkan ske på markavvattningsföretagen.

Invallningar

Konsekvenser och åtgärder

Konsekvenserna av klimatförändringarna för invallningarna runt Vänern, Mälaren och Hjälmaren har diskuterats i delbetänkandet SOU 2006:94 (Översvämningshot – Risker och åtgärder för Mälaren, Hjälmaren och Vänern). Det finns naturligtvis invallningar utmed andra sjöar och vattendrag i Sverige. Vi har inte gjort någon närmare analys av detta utan konsekvenserna för dem bedöms bli desamma som kring de stora sjöarna.

På grund av ökade flöden under främst vinterperioden kommer vattennivåerna att stiga, vilket äventyrar vallarnas stabilitet och ibland kan innebära att vallarna översvämmas. Det är i de flesta fall inte möjligt att höja de befintliga vallarna. Stabiliteten är i allmänhet för låg och tillgången på massor saknas. En möjlig åtgärd kan vara att öka pumpkapaciteten. Vallkrönens höjd och pumparnas kapacitet är dock fastställda i invallningsföretagets tillstånd och om dessa ska ändras, krävs en omprövning av tillståndet. I de fall där invallningarna inte kommer att räcka till kan förutsättningarna för odling helt försvinna.

Även när det gäller invallningar, och då sannolikt än mer påtagligt, är det inte i första hand jordbruket som får störst skador, utan andra byggnader och anläggningar som tillkommit med invallningarna som förutsättning torde vara mer utsatta.

Jordbruksdränering

Täckdikning

Inom det svenska jordbruket är idag nästan all jord som har dräneringsbehov täckdikad. Täckdikningen i Sverige började på 1830-talet, men den täckdikning som utförs idag är främst omtäckdikning. Täckdikningens varaktighet varierar med utförande och jordart. En väl utförd täckdikning på en mellanlera kan ha en hållbarhet på över 100 år, medan en täckdikning på en järnhaltig jord kan bli tät inom två år. I medeltal kan man räkna med ca 50 års livslängd.

Konsekvenser och åtgärder

Enligt avrinningskartorna sker en ökad avrinning vintertid och en minskad avrinning under perioden april- september. Kravet på en fungerade dränering är inte lika stor vintertid som under odlings-säsongen. Ett varmare klimat kan dock innebära att tidpunkten för vårbruket kan tidigareläggas, och det är då viktigt att dräneringen fungerar så att marken torkar upp.

Om klimatförändringarna innebär att befintlig dränering inte räcker till, kan en första åtgärd vara att lägga en dräneringsledning mellan de befintliga. En förutsättning för att det ska fungera är dock att stamledningarna räcker till och att det inte är dämmande flöde i mottagande system.

Bevattning

Bevattningens omfattning och struktur

Enligt Jordbruksverkets rapport 1992 (Bevattning 2000 – Utredning om efterfrågan och tillgång samt förslag till medel för konfliktlösning) kan bevattnarna delas in i tre kategorier: de som har bevattningsdammar (ca 20 %), de som bevattnar ur ett vattendrag eller naturlig sjö (ca 65 %) och de som använder grundvatten (ca 15 %). Totalt tas under ett torrår ut ca 100 miljoner m³ för bevattning av ca 100 000 hektar jordbruksmark.

Jordbruksverket uppskattade 1992 att det fanns ca 5000 bevattningsföretag i Sverige. Cirka 10 % av dessa hade legaliserat tillstånd

till bevattningsverksamheten. Sedan 1992 har antalet bevattningsföretag minskat och såväl antalet som andelen med tillstånd ökat. Anledningen är att energikostnaderna vid bevattning har ökat, vilket innebär att lönsamheten för bevattningsföretagen minskat. En del bevattnare har därför slutat samtidigt som en del företag, främst stora enheter och sådana med specialgrödor, har legaliserats. Det finns dock ingen färsk statistik på detta.

Konsekvenser och åtgärder

Bevattningsdammar

För dem som har dammar kan konsekvenserna av torrare och varmare somrar bli att vattnet i dammarna inte räcker till på grund av att tillflödet minskar och avdunstningen ökar samtidigt som bevattningsbehovet ökar.

En möjlig lösning är att bygga större bevattningsmagasin och på så sätt ta tillvara på den nederbörd som kommer vintertid.

Bevattning från vattendrag eller sjö

De tillstånd som finns för dem som bevattnar från sjöar och vattendrag grundar sig på befintligt behov, dvs som klimatet är just nu med nederbörd och temperatur. Tillståndet anger hur stor vattenmängd som får tas ut och är vanligtvis begränsat av hur stort vattenflöde som måste rinna kvar i vattendraget.

Konsekvensen av klimatförändringen blir att flödet i samband med torka och värme kan bli så litet att tillståndet i praktiken är verkningslöst, eftersom inget uttag får ske. Det innebär att de investeringar som gjorts i samband med tillståndsansökan förloras och i extremfallet att odlingsinriktningen måste ändras.

Om förutsättningar för bevattningsdamm finns, kan en lösning vara att bygga bevattningsmagasin. Det kan då fyllas med vatten från vattendraget eller sjön under den tid på året när flödet är så stort att avledning kan tillåtas.

Bevattning med grundvatten

Klimatförändringens effekter på grundvattnet har utretts av SGU och kommenteras inte vidare här.

Skillnader geografiskt

Simuleringarna som utförts av SMHI visar att medelnederbörden i Sveriges södra delar minskar under juni-september, vilket generellt ökar behovet av bevattning där. Såväl val av gröda som uttagskälla för bevattningsvatten torde dock ha större betydelse för bevattningens fortbestånd eller utveckling.

Klimateffekter på svenskt fiske

Fiskeriverket

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-06-04

Innehåll

Sammanfattning	5
Havsfiske	5
Kustfiske	6
Sötvattensfiske och laxfisket	6
Fiskets bedrivande.....	7
Havsfisket	7
Bakgrund.....	7
Generella effekter.....	8
Effekter av höjd medeltemperatur.....	8
Ökad avrinning och effekter av sänkt salthalt i Östersjön.....	11
Torskfisket i Östersjön	11
Marina däggdjur	13
Förväntade avkastningsförändringar.....	13
Kustfisket	14
Generella effekter av klimatförändring.....	14
Effekter av temperatur på fiskars fysiologi, tillväxt och överlevnad.....	14
Direkta effekter av ett varmare klimat inom kustområden.....	15
Förväntade avkastningsförändringar.....	17
Sötvatten, kustvattendrag samt lax	19
Bakgrund.....	19
Generella effekter i sötvatten och kustvattendrag samt för laxfisket	20
Förväntade förändringar på grund av höjd medel- temperatur.....	20
Direkta effekter av ett varmare vinterklimat.....	20
Direkta effekter av varmare somrar.....	21
Ökad frekvens av extrem avrinning	22
Förväntade avkastningsförändringar.....	23
Mindre sjöar.....	23
De stora sjöarna	25
Laxfisket.....	27

Klimatets inverkan på fiskets bedrivande	28
Forsknings och utvecklingsbehov	30
Appendix 1: Svensk fiskenäring	31
Fångstsektorn	31
Vattenbruk	35
Beredningsindustri och handel	36
Biologiska resurser	36
Appendix 2: Ändrade vindförhållanden i svenska farvatten.....	39
Bakgrund	39
Klimatunderlag	40
Resultat.....	42
Förändring i medelvindhastighet	42
Förändring i byvindar	43
Förändringar i vindklimatet de senaste 15 åren.....	45
Sammanfattning och diskussion	46
Referenser	48

Sammanfattning

Klimatändringar påverkar fiskesektorn dels genom effekter på resursen dels genom effekter på fiskets bedrivande. Båda aspekterna behandlas här, dock med tyngdpunkt på den förra. En uppdelning har gjorts på effekterna på havsfisket, det kustnära fisket i Östersjön samt fisket i sötvatten, inklusive laxfisket.

Fiskar är växelvarma djur och därmed bestäms produktionen till stor del av vattentemperaturen. Denna och andra klimatiska faktorer styr också fiskarnas liv genom att initiera olika livsprocesser. Vid analysen av effekterna på fisk och fiske har, där inte annat angetts, scenariot ECHAM4 A2 använts. Följande faktorer bedöms ha störst inverkan på den ekonomiska avkastningen av yrkesfisket:

- höjd årsmedeltemperatur (2,5–4,5°C)
- sänkt salthalt i Östersjön
- varmare vintrar med minskad isläggning
- varmare somrar och minskad nederbörd sommartid i södra Sverige
- ökad frekvens av extrem nederbörd och hög avrinning

Underlag för en djupare analys av indirekta effekter av förändringar i födounderlag (t.ex. djurplankton) och reproduktionsområdenas kvalité saknas och innebär en osäkerhetsfaktor i bedömningarna.

Havsfiske

- Med de använda klimatscenarierna kommer torsklek att omöjliggöras helt för det östra beståndet i Östersjön, vilket ger omfattande effekter för svenskt fiske. I vilken utsträckning reproduktionen för det västra beståndet påverkas är oklart.
- Stora förändringar kommer att ske av fiskfaunan i Östersjön – marina arter kommer att missgynnas och sötvattensarter gynnas.
- Marina arter som plattfiskar kommer att få ett minskat livsutrymme i Östersjön med ett sötare hav.
- I Västerhavet är det inte lika tydligt hur en klimateffekt kommer att påverka bestånden. Givet den information som finns nu bedöms det vara positivt med en temperaturökning för de kommersiella bestånden.

- Mängden varmvattensarter, t.ex. mulle och havsabborre, kommer att öka i svenska vatten.

Kustfiske

- Förbättrad förstaårstillväxt leder till bättre överlevnad hos varmvattenarter och därmed rikare bestånd med större utbredning.
- Varmvattenarter med sötvattenursprung kommer i Östersjön att gynnas både av temperaturförhållandena och ett sötare hav.
- Kallvattenarter med sötvattenursprung missgynnas. Totalt sett kan detta motverkas av en större utbredning i en sötare Östersjö.
- Plattfiskar kan missgynnas i reproduktionsområdena om klimatförändringen medför ökad algpåväxt i miljön.
- Varmvattenanpassade marina arter kommer att förflytta sina utbredningsområden norrut, vilket kan gynna västkustens avkastning inom fisket.

Sötvattensfiske och laxfisket

- Stora förändringar kommer att ske av fiskfaunan i sötvatten, speciellt i södra Sverige.
- I de stora sjöarna förväntas varmvattensarterna inklusive gösen öka, medan främst de höstlekande kallvattensarterna kommer att minska.
- I mindre sjöar med potential för yrkesmäsigt fiske antas den ekonomiska avkastningen generellt kunna öka något. Detta beror dock på om arterna kan kolonisera vattensystemen.
- För lax antas att produktionen på svenska väst- och sydkusten i princip försvinner, men den totala laxproduktionen kan öka väsentligt i Östersjön som en följd av ökad produktion i de stora norrlandsälvarna.
- För att motverka negativa ekonomiska effekter av klimatförändringar på yrkesfiske i sötvatten krävs att vandringshinder elimineras i vattenlandskapet så att arter kan kolonisera lämpliga vatten.

- För att motverka negativa effekter av extrema flöden bör vattendrag restaureras så att de återfår sin funktion att bromsa och magasinera vattnet.

Fiskets bedrivande

- De väderkänsliga fiskerierna kan förväntas få färre antal dagar då de kan bedriva fiske genom att antalet dagar med höga vindhastigheter ökar. Fram till 2041–20070 kommer fiskemöjligheterna att minska med cirka 5–10 procent sett till svenskt yrkesfiske som helhet.
- De mest utsatta fiskerierna, t.ex. räk- och kräftfisket på västkusten, kan förlora cirka 20 procent av möjlig fisketid.
- Förutsättningen för denna bedömning är en oförändrad flotta. Modernisering och ny fångstteknologi kan komma att kompensera väderkänsligheten.

Havsfisket

Bakgrund

Generellt kan man konstatera att den helt dominerande orsaken till låg rekryteringen och vikande bestånd av fisk är ett för stort fiskestryck på de flesta kommersiella arterna. Potentialen att förbättra situationen genom en minskning av fisketrycket är härigenom väsentligt större än eventuella negativa effekter på grund av kommande klimatändringar. Ett undantag är en möjlig förlust av torsk i Östersjön på grund av utsötning.

Ytvattentemperaturen i Nordostatlanten har ökat med 0,043 grader/år de senaste decennierna. Grovt sett har detta medfört en förskjutning norrut av flertalet fiskars utbredningsområde med cirka 5 latitudgrader per decennium. Detta är hittills den mest uppenbara effekten av klimatändringarna och innebär att vissa kommersiella arter, t.ex. torsk i västerhavet, minskar genom att tyngdpunkten för deras utbredning förskjuts bort från svenska fiskevatten, medan andra arter ökar eller tillkommer. Den observerade uppvärmningen är snabbare än det beräknade globala genomsnittet på 0,02 grader/år på grund av CO₂-utsläppen och det är oklart om en framtida klimatändring innebär en fortsatt regional ökning som är snabbare än det prognostiserade genomsnittet, eller

om förändringen anpassar sig till en lägre nivå, eventuellt genom en period av avkylning. Generellt finns det alltså en osäkerhet om utvecklingen som gör prognoserna för svenska fiskevatten osäkra.

Generella effekter

För att belysa effekter av ett förändrat klimat måste man ta hänsyn till de olika beståndens biologiska förutsättningar. Vi vet att fiskbestånd, som av olika skäl är mer utsatta av t.ex. miljögifter, högt fisketryck eller fysik påfrestning kommer att påverkas i högre utsträckning av klimatet än fiskbestånd som mår bättre och därför måste man ta hänsyn till dessa. Vi har valt att i en formell statistisk analys jämföra effekten av lekbiomassa, som ett mått på hur beståndet mår, och temperatur på rekrytering hos de kommersiella gadoiderna (torskfiskar) och clupeiderna (sillfiskar) i norra Atlanten.

Effekter av höjd medeltemperatur

Vi analyserade relationen mellan rekryteringsframgången (R per lekbiomassa) och temperatur för 54 kommersiella bestånd i norra Atlanten och vi kan visa att, även om temperatureffekten (SST, Sea Surface Temperature) i allmänhet en positiv signifikant effekt på rekryteringsframgången så hade lekbiomassa en större påverkan på rekryteringsframgången för dessa bestånd i norra Atlanten (Tabell 1). Vi fann en signifikant effekt av lekbiomassa på rekryteringsframgången i 81 % av alla analyserade bestånden. Generellt var lekbiomasseffekten på rekrytering större än temperatureffekten hos gadoider och det samma gällde för clupeider (sill). Man dock se att en ökad medeltemperatur hade en positiv effekt på kallvattenbestånden och negativ på varmvattenbestånden dvs. för bestånd i den södra delen av utbredningsområdet var en temperaturökning negativ och vice versa för de bestånd som har en mer nordlig utbredning och detta faktum gällde både för gadoider och för clupeider.

Generellt kan dock förändring i utbredning resultera i kortare livscykler med mindre kroppsstorlek, tidigare könsmognad och mindre storlek vid könsmognad, än de som inte anpassat sig. Fiskarter med längre livscykler verkar ha sämre förmåga att snabbt svara på en temperaturhöjning genom att ändra utbredning. Dessa

arter är även de som är mest känsliga för överexploatering. Generellt kommer en medeltemperaturökning på 2,5–4,5°C att förändra utbredningsmönstret för ett antal olika havslevande arter vilket kommer att göra att vi kommer att se mera av olika varmvattensarter.

På svenska västkusten har man de senaste åren sett en ökning av varmvattensarter som taggmakrill, ansjovis, sardin och sanktpersfisk. Även havsabborre, mulle, multe och svärfisk kan tänkas öka. I Östersjön kan man tänka sig att arter som kräver en högre medeltemperatur och som tål ett bräckt vatten, t.ex. gös, också kommer att öka. Det är dock oklart om en ökad medeltemperatur kommer att öka produktionen av fisk i dessa områden.

Mer specifikt för rekryteringen för bestånd i våra närliggande hav, inklusive bestånden av kolja, gråsej och vitling från Nordsjön, Östersjöntorsk (västra beståndet), Östersjönsill (central bestånd: SD 25–29), sill från Bottenhavet (SD 31), och vårlekande sill (SD 22–24 samt Kattegatt och Skagerack), var temperatureffekten relativt liten jämfört med effekten av lekbiomassa. Däremot kan man anta att sill från Rigabukten, sill södra Bottenhavet (SD 30) och skrapsill i hela Östersjön kommer att gynnas av en ökad temperatur. Rekrytering av torsk från Nordsjön och höstlekande sill från Nordsjön visade en kombinerad effekt av både temperatur och lekbiomassa. Rekryteringen av Nordsjönsill och torsk från Kattegatt och torsk i Östersjön (östra beståndet) var oberoende av både temperatur och lekbiomassa.

Tabell 1 Resultaten för alla bestånd analyserade från regressionsanalyser mellan R_s och SSB (linjär); mellan R_a ("residualer" av $R_s - SSB$ linjärregressionen) och SST och mellan rekrytering och SST (linjär). Alla bestånd med en signifikant SST effekt på rekrytering visas i fetstil

Stock	$R_s \sim SSB$		$R_a \sim SST$		$R \sim SST$	
	r^2	p	r^2	p	r^2	p
North East Arctic cod	-0.26	<0.01	0.05	0.12	-	-
Eastern Baltic cod	-0.18	<0.01	-0.02	0.38	-	-
Faroe cod	-0.42	<0.01	-0.05	0.19	-	-
Iceland cod	-0.48	<0.01	0.01	0.92	-	-
Kattegat cod	-0.09	ns	-	-	0.01	0.71
North Sea cod	-0.10	<0.05	-0.27	<0.01	-	-
Western Baltic cod	-0.06	ns	-	-	-0.03	0.34
Scotland cod	-0.28	<0.01	-0.52	<0.01	-	-
Irish cod	-0.2	<0.01	-0.30	<0.01	-	-
Celtic cod	-0.01	ns	-	-	-0.08	0.12
North East Arctic haddock	-0.01	ns	-	-	0.12	0.02
Faroe haddock	-0.21	<0.01	-0.05	0.16	-	-
Iceland haddock	-0.12	ns	-	-	0.09	0.22
North Sea haddock	-0.13	<0.05	-0.01	0.82	-	-
North East Arctic saithe	-0.52	<0.01	-0.01	0.84	-	-
Rockall haddock	-0.25	<0.05	-0.08	0.33	-	-
Faroe saithe	-0.45	<0.01	-0.01	0.76	-	-
Iceland saithe	-0.3	<0.01	0.13	0.02	-	-
North Sea saithe	-0.49	<0.01	0.08	0.11	-	-
North Sea whiting	-0.29	<0.01	-0.04	0.30	-	-
Scotland whiting	-0.44	<0.01	-0.01	0.62	-	-
Irish whiting	-0.66	<0.01	-0.01	0.65	-	-
Celtic whiting	-0.46	<0.01	-0.01	0.73	-	-
Eastern Scotian Shelf cod	-0.41	<0.01	-0.19	<0.01	-	-
Flemish Cap cod	-0.11	ns	-	-	-0.19	0.02
Greenland cod	-0.01	ns	-	-	0.15	0.02
Georges Bank cod	-0.09	ns	-	-	0.01	0.97
Labrador Grand Bank cod	-0.02	ns	-	-	0.14	0.04
North Gulf of St Lawrence cod	-0.01	ns	-	-	0.08	0.23
Southern Grand Bank cod	-0.01	ns	-	-	-0.02	0.49
South Gulf of St Lawrence cod	-0.35	<0.01	-0.03	0.76	-	-
St Pierre Bank cod	-0.31	<0.01	-0.16	0.02	-	-
Western Scotian Shelf cod	-0.28	<0.01	-0.14	<0.01	-	-
Georges Bank haddock	-0.01	ns	-	-	0.01	0.40
Western Scotian Shelf Haddock	-0.02	ns	-	-	0.08	0.14
Eastern Scotian Shelf Saithe	-0.20	ns	-	-	0.13	0.25
Central Baltic herring	-0.31	0.001	0.03	ns	-	-
Celtic Sea herring	-0.15	< 0.001	0.10	ns	0.47	< 0.001
Gulf of Riga herring	-0.01	ns	-	-	-	-
Irish Sea herring	-0.14	0.015	-0.25	< 0.001	-	-
Iceland summer spawning herring	-0.10	ns	-	-	0.06	ns
Northern Bothnian herring (SD 31)	-0.33	0.003	0.01	ns	-	-
North Sea autumn spawners herring	-0.41	< 0.001	-0.11	0.03	-	-
Norwegian spring spawning herring	-0.11	0.001	0.12	0.01	-	-
Southern Bothnian herring (SD 30)	-0.01	ns	-	-	0.51	0.002
Western Baltic spring spawners herring	-0.62	0.001	0.08	ns	-	-
West of Ireland herring	-0.35	< 0.001	0.04	ns	-	-
Herring west of Scotland	-0.20	0.002	0.02	ns	-	-
Baltic Sea sprat	-0.10	ns	-	-	0.28	0.003
North Sea sprat	-0.08	ns	-	-	0.007	ns
Newfoundland herring Bonavista Bay&Trinity Bay	-0.59	< 0.001	0.04	ns	-	-
Newfoundland herring St Mary's Bay&Placentia Bay	-0.33	0.001	0.01	ns	-	-
Newfoundland herring White Bay&Notre Dame Bay	-0.30	0.002	0.06	ns	-	-
South Gulf of St Lawrence herring autumn spawners	-0.67	< 0.001	0.01	ns	-	-
South Gulf of St Lawrence herring spring spawners	-0.64	< 0.001	0.06	ns	-	-
West coast of Newfoundland herring spring spawners	-0.29	0.001	0.05	ns	-	-
West coast of Newfoundland herring autumn spawners	-0.49	< 0.001	0.08	ns	-	-

Ökad avrinning och effekter av sänkt salthalt i Östersjön

En lägre salthalt i Östersjön, ett hav som uppvisar stor variation av salthalt i rum och tid, gör att biodiversiteten är speciellt känslig. Marina arter kommer att förskjutas söderut och kanske minska samtidigt kommer utbredningen och biomassan av sötvattensarter att öka. Även om det finns chans att andra fiskarter kommer att kolonisera Östersjön via Kattegatt är det mindre troligt att dessa kommer att kunna bli livsdugliga populationer på grund av den låga salthalten.

Enbart en temperaturökning är gynnsam för skarpsill. En lägre salthalt kommer emellertid att påverka skarpsillen i större utsträckning än sill. Skarpsillen i Östersjön är en mer utpräglad marin art än sillen. Skarpsill i norra delen av Östersjön är i sämre kondition och medelstorleken är också lägre i de norra delarna av Östersjön jämfört med skarpsill i Västerhavet eller södra Östersjön. Orsaken till den lägre konditionen är troligtvis fysiologisk stress. En lägre salthalt kommer inte att påverka sillen i samma utsträckning. Idag har vi sill i hela Östersjön och ända upp i Bottnviken och därför finns det t.o.m. chans att en minskning av salthalten kommer att gynna sillen på grund av att konkurrensen mellan skarsill och sill kommer att minska.

Torskfisket i Östersjön

Det enskilt ekonomiskt viktigaste svenska fisket är torskfisket i Östersjön, som svarar för cirka 25 procent av hela det svenska fångstvärdet. Bestånden är för närvarande överfiskade och på en låg nivå, varför stora ansträngningar görs för att få tillstånd en återhämtning. I den utsträckning detta lyckas kommer östersjöfisket av torsk att få en ytterligare större relativ betydelse för fiskenäringen.

Torsk är som art på marginalen av sitt utbredningsområde i Östersjön. Den kritiska hydrografiska faktorn är att torskäggen behöver en minsta salinitet av cirka 11 promille för att befruktningen skall fungera och för att inte sjunka till botten. Sjunker äggen till botten överlever de inte. Samtidigt får inte syrgashalten i vattnet vara för låg. Det djupvatten i Östersjön som uppfyller kravet att syrgashalten överstiger 2 ml/l och saliniteten är större än 11 PSU (eller promille) kallas torskens reproduktionsvolym. Den

nuvarande reproduktionsvolymens storlek är endast 200–300 km³ eller cirka 1 % av Östersjöns totala vattenvolym.

Enligt de oceanografiska modelleringar som gjorts vid Rossby-centret (Meier) leder flertalet scenarier till en utsötning av Östersjön. Variationen är stor mellan olika kombinationer av globala och regionala modeller, med ändringar som varierar från +4 till -45 % i salthalt. Huvudsakligen beror variationen på att effekten på saliniteten är starkt beroende på vindblandningen och att vindförhållandena skiljer sig mycket mellan de olika globala modeller som använts för att driva den regionala klimatmodellen. Resultaten visar på fortsatt existens av ett salthaltssprångskikt, men även djupvattnets salinitet påverkas. Man kan konstatera att på station BY15, som ligger i östra Gotlandsdjupet och tidigare var det viktigaste reproduktionsområdet för torsk, kommer saliniteten på alla djup att understiga 11 promille för alla simuleringar med ECHAM som global drivning.

För närvarande är Bornholmsdjupet den bassäng som är viktigast för torskleken, efter att syreförhållandena i Gotlandsdjupet på senare år försämrats. Även här visar modellberäkningarna för ECHAM4 A2 och B2 att saliniteten kommer att understiga 11 PSU ned till 80–90 meters djup. Någon modellering av syreförhållandena har inte gjorts, men redan med dagens situation är syrehalten på dessa djup normalt under 2 ml/l. Uppvärmningen och ökad nederbörd i Östersjöns avrinningsområde förväntas ytterligare öka eutrofieringen, varför det är rimligt att anta att torskreproduktionsvolymen kommer att försvinna även i Bornholmsdjupet.

Konsekvensen av detta är att det östra beståndet av torsk i Östersjön skulle utplånas permanent. Med den snabba förändring av miljön som prognoserna visar är det inte sannolikt att torsken skulle kunna anpassas genetiskt. Det finns ett mindre lekbestånd väster om Bornholm, som leker i Arkonabassängen och eventuellt också rekryteras från Kattegatt och Öresund. Det är möjligt att detta bestånd skulle kunna leva vidare, men det har liten betydelse för svenskt fiske.

Marina däggdjur

Minskad isutbredning i Östersjön kan påverka reproduktionsmöjligheterna för vikare och gråsäl. Vikarpopulationen är mest avhängig av is för sin kutningen och effekten kan bli starkt negativ för arten. Gråsäl kutar i första hand på is, men kan också välja land. Kutöverlevnaden är emellertid väsentligt lägre på land.

På lång sikt kommer issäsongens längd att i genomsnitt minska med två månader i Bottniska viken. En trolig konsekvens av detta är att gråsälspopulationens expansion avtar, men samtidigt koncentreras till södra Östersjön, där den potentiella interaktionen med fisket är störst.

Förväntade avkastningsförändringar

För yrkesfisket som bedrivs i Västerhavet är det oklart hur en temperaturökning kommer att påverka. Generellt bör en temperaturökning till stor del gynna bestånden och därför även industrin. I Östersjön kommer en lägre salthalt missgynna de utpräglade marina bestånden och därför även den industri som bedriver ett fiske på dessa. Men man kan dock tänka sig att sötvattensarter kommer att öka och att därför den industri som bedriver ett fiske på dessa kommer att gynnas.

Den viktigaste ekonomiska effekten blir om torskfisket i Östersjön skulle försvinna. Den direkta värdeminskningen blir, jämfört med dagens situation, cirka 25 % av hela svenska yrkesfisket till havs. Detta fiske bedöms också ha störst potential för en framtida återhämtning och expansion av svenska fiskemöjligheter, varför en sådan förlust ytterligare skulle begränsa fiskesektorns framtidsutsikter. Regionalt blir effekterna mycket stora i Skåne, Blekinge och Kalmar län. Följdeckterna kommer att bli stora även för fler fiskeföretag än de som är specialiserade på torskfiske, eftersom torskfiske ofta är en säsongsverksamhet som kompletterar andra fisken, t.ex. ål eller laxfiske. Förlusten av torskkomponenten kan betyda att hela fiskeföretaget blir olönsamt.

Ett sätt att mildra effekten på torskreproduktionen är att genom ett restriktivt fiske återställa en mer normal storleksfördelning, eftersom större honor producerar ägg med större flytförmåga som därför klarar lägre salinitet.

Kustfisket

Generella effekter av klimatförändring

Effekter av temperatur på fiskars fysiologi, tillväxt och överlevnad

Förutsatt att övriga abiotiska faktorer tillåter överlevnad utgör för fiskar temperaturen den mest grundläggande kvalitetsfaktorn pga. dess avgörande inflytande på ämnesomsättningens hastighet. Hos växelvarma djur som fiskar ökar metabolismen med temperaturen upp till ett maximum. Vid denna temperatur är potentialen för konsumtion som störst (optimal), för att sedan avta mot letaltemperaturen. Detta innebär att den tillgängliga energin för olika aktiviteter (tillväxt eller simaktivitet) är störst vid optimum. Beroende på vilka temperaturförhållanden som de anpassats till och därmed fungerar bäst i så skiljer optima mellan arter. För kallvattenarter ligger det ofta kring 15°C och för varmvattenarter 20–25°C.

Sötvattenarter som abborre, gädda och karpfiskar tillhör gruppen varmvattenarter. Gulål, skärsnultra, stensnultra och bland skaldjuren strandkrabba är några exempel på sådana marina fiskar. Bland kallvattenarterna kan nämnas sikar, sill/strömming, simpor och torsk. Plattfiskarna skrubbskädda och piggvar är exempel på arter som intar en mellanställning. Ju mindre fiskarna är desto snabbare snurrar de fysiologiska hjulen och desto högre optimumtemperatur har de. Samtidigt är de dock känsligare för svängningar i temperaturen kring de nedre och övre letalgränserna. Till skillnad mot kallvattenarter, som lake och siklöja, så har varmvattenarter som abborre och gädda en bred temperaturlöslighet hos de tidiga utvecklingsstadierna och den övre letaltemperaturen ligger relativt högt.

Varmvattenarter har av naturliga skäl sin huvudsakliga aktivitetsperiod förlagd till sommarhalvåret och uppehåller sig då ovan termoklinen på relativt grunt vatten. I kustområden innebär detta att det sommartid uppstår en zonerings där arter med relativt höga optima återfinns längst in och grunt och sådana med låga längst ut och djupt. Artsammansättningen förändras även säsongsmässigt, så att andelen kallvattenarter ökar på grunt vatten under vinterhalvåret.

För varmvattenarter som abborre och gös kan man för kustmiljöer säga att ett varmt år ger bättre förutsättningar för en snabb

förstaårstillväxt, vilket i sin tur leder till en bättre överlevnad och rikare yngelproduktion.

Direkta effekter av ett varmare klimat inom kustområden

En klimatförändring som innebär en temperaturhöjning av 2,5–4,5°C kan förutses ha olika effekt på fisksamhällen beroende på djupförhållandena i den aktuella miljön. Inom olika kustområden kommer under sommaren termoklinen att förskjutas utåt från kustlinjen och ligga djupare. Detta innebär att varmvattenarternas levandsutrymme kommer att öka och kallvattenarternas att minska (jfr Figur 1). Förändringens omfattning kommer att bero av den aktuella miljöns djupförhållanden. I våra kustmiljöer kommer förmodligen inga dramatiska artförskjutningar att uppstå då tillräckligt stora djupområden finns. Båda grupperna av fiskar bör därför kunna ha tillgång till lämpliga temperaturförhållanden.

Kallvattenarter leker i allmänhet på hösten och rommen kläcker först på våren. För god romöverlevnad krävs låga och stabila vintertemperaturer. Det är därför möjligt att isfria förhållanden och några plusgrader i framtiden kommer att påverka överlevnaden negativt i södra delarna av Sverige. Genom att kallvattenarter som lever i kustmiljöer kan undvika alltför höga temperaturer kommer de i hundraårsperspektivet att ha en längre tillväxtsång och totalt sett bättre tillväxt. Detsamma gäller typiska varmvattenarter. Detta påminner om vad vi i dag kan se i anslutning till kylvattenplymerna vid kärnkraftverken. Där kan t.ex. abborren under längre del av tillväxtsången fritt välja nära optimala temperaturer och har därför en extremt snabb tillväxt och stor slutstorlek.

Extrema situationer där fisken inte kan undvika de högsta sommar och vintertemperaturerna kan illustreras med utvecklingen i den s.k. Biotestsjön vid Forsmarks kärnkraftverk under de decennier fisken varit instängd i anläggningen. Alla kallvattenarter har där försvunnit medan varmvattenarter som abborre, sarv och gädda gynnats. Hos abborre har t.ex. ungfiskproduktionen ökat starkt. Den snabba tillväxten har dock haft negativ effekt på överlevnaden hos äldre fiskar med en minskad slutstorlek i beståndet som följd. Sett ur beståndets synpunkt har därför den totala romproduktionen minskat starkt trots att könsmognad sker vid lägre ålder. Detta värsta scenario implicerar att man vid en generellt förhöjd årsmedeltemperatur i värsta fall kan förvänta sig en snabb tillväxt hos

varmvattenarter och en tidigare könsmognad samt en lägre slutstorlek. Detta kan därmed komma att negativt påverka tillgången av t.ex. stor abborre och kan förutses ha konsekvenser för fiskets beskattningsmönster och även tillgången till dessa eftertraktade storlekar på marknaden.

Erfarenheter från kylvattenutsläpp i en litauisk insjö med en pelagisk kallvattenart, siklöja, illustrerar värsta scenariot för denna grupp fiskar. Beståndet trycks numer sommartid samman mot de djupaste och kallaste delarna av sjön. Den höga plantonproduktion, som åstadkommit p.g.a. det varma kylvattnet, har även inneburit syretäring i de djupaste delarna när dött plankton regnar ned. Artens livsutrymme har alltså p.g.a. värmepåslaget minskat från två håll, vilket resulterat i ett reducerat bestånd. Samma situation kan förutses för torsken i Östersjön. Dess livsutrymme liksom andra marina arter som plattfiskarna kommer dessutom att krympa ytterligare p.g.a. den salthaltsänkning som förutses i ett hundraårsperspektiv. I ett värsta scenario kommer torsken sannolikt helt att försvinna från Östersjön. Den minskade torskförekomsten drabbar kustfisket särskilt hårt eftersom det framförallt är när beståndet är stort som det sprider sig in i kustområdena.

Stora förändringar i fiskesamhällen kan förväntas mellan olika kustområden vid en temperaturökning av 2,5 till 4,5 grader. I Östersjön kommer varmvattenarter som abborre, gädda och gös och deras bytesfiskar som karpfiskar att etablera sig mycket starkare mot norr i Östersjön och Bottniska viken medan kallvattenarter som sik, harr, öring och lake får stryka på foten. Totalt sett kommer fiskproduktionen av intresse för fisket säkert att öka. I Östersjön kommer emellertid situationen att vara komplex eftersom salthalten minskar. Detta gynnar t.ex. en art som siklöja, som är en mycket viktig art för fisket i Bottenviken. Även om den missgynnas av temperaturökningen som kommer dess utbredning söderut att gynnas.

Komplexiteten ökar ytterligare eftersom flödessituationen i tillrinnande vattendrag förändras, vattenståndet förändras och istäcket minskar. Detta påverkar kustbestånd av sötvattenarter som har lek- och uppväxtområden i dessa miljöer. Även den marina miljön i Östersjön påverkas av detta. I sydvästra Sverige föreligger de största riskerna i ett alltför reducerat vattenflöde i kombination med höga vattentemperaturer. Det är sannolikt att kallvattenarter som lax och öring kommer att försvinna från många av dessa vattendrag. I norra Sverige är det framförallt en utjämning av vatten-

flödet som kan förutses förändra förutsättningarna för fisk. Många fiskarter företar årstidsvandringar som styrs av och vars förutsättning är den årsrytmik som för närvarande finns i avrinningen. Lek- och yngeluppväxt är också anpassade till de toppar i planktonproduktionen som uppstår i samband med vår- och försommartoppar i flödena i såväl själva vattendragen som estuarierna (flodmynningsområdena). Bottenhavets ekosystem är så starkt påverkat av de stora älvarna och andra sötvattenflöden att avsevärda förändringar i dess ekosystem kan förväntas i långsiktigt perspektiv.

Vad avser den marina miljön på västkusten är det möjligt att man kommer att få se ett större inslag av fisk och skaldjursarter som nu har en sydligare utbredning, förutsatt att salthaltsförhållandena inte förändras. Detta indikeras av att förhållandevis ovanliga varmvattenarter som t.ex. multe och havsabborre rikligast förekommer i de områden som för närvarande påverkas av kylvattenutsläpp.

Förväntade avkastningsförändringar

Kustbestånd av varmvattenarter med sötvattensursprung kan förväntas få en ökad produktion som ger förutsättningar för en ökad avkastning. För abborre och gös finns klara samband mellan årsklasstyrka och varma utdragna somrar. Säkert kommer även gädda att gynnas av ett varmare klimat men även av att dess bytesfiskar, framförallt karpfiskar som mört och löja, gynnas. Av abborre fångade yrkesfisket år 2006 105 ton. Fritidsfisket har i enkätundersökningar uppskattats till att vara tio gånger så stort. Ett hot mot denna art och gädda är de rekryteringsskador som för närvarande förekommer i Egentliga Östersjön. Gäddan fiskas också huvudsakligen inom fritidsfisket och dess fångst har uppskattats till 1 300 ton medan yrkesfisket år 2006 tog 47 ton. Motsvarande siffror för gös är kanske 70 ton och 35 ton för yrkesfisket. Det senare har dock tidigare som mest varit nära 100 ton. Om man inte tar hänsyn till variationer i tillförseln av glasål till landet så kommer förutsättningarna för den ål som kommer till våra kustvatten att förbättras för denna art som även räknas till varmvattenarterna.

Sötvattenarter som föredrar kallare vatten som sik, siklöja och öring kommer teoretiskt sett att missgynnas. De är höstlekare och en hög höst- och vintertemperatur medför kortare isperiod och därmed en negativ instabilitet i miljön under romutvecklingen samt

tidig kläckning på våren när utvecklingen av djurplankton ej kommit i gång tillräckligt. Annars borde sik och siklöja gynnas av ett hav som är mindre salt vad avser arternas utbredning. Dessa arter har i dag en avkastning inom yrkesfisket på 800–900 ton för siklöja och ca 200 ton för sik. Fritidsfisket på sik är stort och ligger i storleksordningen 400–600 ton. För siklöja är det dock obetydligt. Den kustlevande öringen har sin uppväxt i tillrinnande sötvatten. Högre temperatur och förändrad vattenföring kommer att missgynna denna art framförallt i landets sydligaste delar. För närvarande fiskas årligen ca 30 ton inom yrkesfisket och fritidsfisket är säkert lika stort om inte större.

Arter med marint ursprung kommer i Östersjön att missgynnas vid den antagna klimatförändringen. Den reducerade salthalten förskjuter deras reproduktionsområden söderut i Östersjön. Det gäller plattfiskar som piggvar, skrubbskädda, rödspätta och sandskädda. I Östersjön finns två typer av skrubbskädda; en nordlig med romutveckling på botten och en sydlig med pelagiska ägg. Den förra kommer inom stora områden att ersätta den senare i Östersjön. Plattfiskarnas yngel behöver relativt rena väl ventilerade grunda bottenar för sin utveckling. Vid västkusten har man redan i dag problem med algöverväxning i dessa miljöer med förlust av rekryteringsytor som följd. En accelererad sådan utveckling med negativa följder för plattfiskbestånden kan förutses. De avkastningsmässigt viktigaste arterna bland dessa är rödspätta, piggvar, skrubbskädda och sandskädda. Totalt fångas av dessa i storleksordningen 500 ton. Vad fritidsfisket fångar är inte känt.

De viktigaste pelagiska arterna bland de marina fiskarna som är av betydelse för kustfisket är sill/strömming och skarpsill. Den senare kommer förmodligen att påverkas positivt av ökad vattentemperatur relativt strömmingen. Det är en utveckling som kan ses redan i dag och som i viss utsträckning förmodas bero på klimatpåverkade förändringar i djurplanktonsamhället. Effekten av minskad salthalt innebär emellertid, som diskuterats i avsnittet om havsfiske, ökad fysiologisk stress och beroende på hur stor salthaltsminskningen blir kan nettoeffekten på skarpsill i Östersjön bli positiv eller negativ. För närvarande fiskas det ca 70 000 ton strömming och ca 100 000 ton skarpsill.

En ökad avkastning av marina varmvattenarter kan förutses genom invandring till västkusten av varmvattenarter söderifrån. Ökad bottenvattentemperatur medför också högre tillväxt för hummer, krabba och havskräfta. De senaste två årens värme har

inneburit att botten temperaturen i Kattegatt varit flera grader över den normala vintertid vilket i sin tur ökat fångsten av havskräfta med 30 %.

Mycket av effekterna av klimatförändringen på kustfisksamhällena förutsätter att födounderlaget inte förändras alltför mycket. Särskilt under tidiga livsstadier påverkas överlevnaden starkt av variationer i födotillgången i form av djurplankton. Säkert kommer sådana förändringar att ske som en följd av ett förändrat klimat. Det finns redan saker som tyder på att rekryteringsstörningarna hos gädda och abborre i Egentliga Östersjön kan relateras till förändringar i djurplanktonsamhället i utsjön. Osäkerheter i bedömningar av det här förekommande slaget kan även relateras till habitatförändringar t.ex. överväxning av alger.

Sötvatten, kustvattendrag samt lax

Bakgrund

I sötvatten bedrivs licensierat yrkesfiske främst i de stora sjöarna och ett mer eller mindre yrkesmässigt fiske med stöd av enskild fiskerätt i mindre sjöar. I Vänern utgör gös och siklöja de ekonomiskt viktigaste arterna. I Vättern är kräddfisket av störst betydelse. I Mälaren och Hjälmaren är idag gösfisket viktigast, men även kräddfiske har betydelse i den senare sjön. I de norrländska sjöarna domineras avkastningen av sik och röding. I de näringsrika sydliga sjöarna domineras avkastningen av ål och gös.

I sötvattnen uppvandrar också ett antal arter som är beroende av både söt- och havsvatten, s.k. diadroma arter; t.ex. ål, lax och havsöring. Huvuddelen av beskattningen sker på kusten och i havet. Ålfisket har minskat betydligt under de senare årtiondena och Fiskeriverket har vidtagit kraftfulla åtgärder för att minska exploateringen. I de stora sjöarna har dock ålfisket varit stabilt, genom att detta upprätthålls genom årliga utsättningar. Fisket efter havsöring har liten ekonomisk betydelse för det svenska yrkesfisket, ca 0,5 miljoner kr årligen och baseras huvudsakligen på utsättningar av odlad fisk. Havsöring kommer därför inte att beaktas speciellt, men generellt torde det ekonomiska utbytet att minska med ett varmare klimat.

Generella effekter i sötvatten och kustvattendrag samt för laxfisket

Förväntade förändringar på grund av höjd medeltemperatur

För insjöfiskar och de vandrande arterna mellan sötvatten och havet kommer stora förändringar att ske. En medeltemperaturökning på 2,5–4,5°C kommer radikalt att förändra utbredningsmönstret för olika arter. Sjöar i Gävleborg kommer att få samma temperaturregimer som dagens skånska sjöar, vilka klimatmässigt hamnar i mellersta Frankrikes lågland. Mest bekymmersamt är detta för de kallvattenanpassade arterna som röding, lake, nors, siklöja, sik, harr, lax och öring. Flera av dessa arter är ekonomiskt viktiga och några av de icke kommersiellt intressanta arterna är nyckelarter (t.ex. nors) i fisksamhället genom sin roll som viktiga bytesfiskar. Alla dessa arter kommer att minska i sötvatten i mellersta och södra Sverige. Detta får omfattande ekosystemeffekter som är komplexa att förutspå.

Generellt kommer dock fiskproduktionen att öka i sötvattnen då varmvattensarterna gynnas. Kommersiellt viktiga arter som gös, abborre och gädda kommer att öka, liksom deras utbredning i landet. Även utbredningen av kräfter torde öka i norra Sverige.

Att fiskproduktionen kommer att öka förstärks också av att närsalttillförseln kommer att öka som en följd av högre avrinning, speciellt vintertid och från otjälad mark.

Direkta effekter av ett varmare vinterklimat

Temperatur, istäcke, vattenföring och vattenstånd är viktiga parametrar för att initiera olika processer i fiskarnas liv, t.ex. lekvandringar. Höstlekande fiskarter, i princip kallvattenanpassade laxfiskar, har genom årtusenden anpassat sin lekperiod så att ynglen kläcker vid en tidpunkt på våren då planktonproduktionen kommit igång. I södra Sverige har många bestånd av siklöja blivit svagare under de senaste 20 åren. Denna nedgång över ett så stort geografiskt område torde vara kopplat till klimateffekter. Studier av siklöja i Mälaren har indikerat att istäckets varaktighet har en viktig funktion. När sikløjans yngel kläcker lagom till att istäcket släpper blir det goda årsklasser. År med kortvarigt istäcke kan planktonproduktionen starta tidigt och vårtoppen gå förlorat för ynglen, då de kläcker för sent. Årsklassernas storlek styrs därmed av match/

mismatch, antingen kläcker de när födotillgången är god eller så kläcker de vid en ofördelaktig tidpunkt. Det behöver inte vara just istäckets varaktighet som är nyckelfaktorn, men det är i alla fall klarlagt att den är starkt korrelerad till årsklasstyrkan. Bidragande processer kan också vara att varmvattensfiskarna, som leker på våren, får ett försprång i och med att de bättre kan anpassa sin lek till det rådande väderläget. De kan därmed både konkurrera med och äta av sikløjans yngel.

Istäckets varaktighet, eller om man så vill vinterklimatet, återverkar inte bara på sikløjans rekrytering. I Vättern finns indikationer på att även rekryteringen av sik och röding följer samma mönster. Varmare vintrar kommer således att inverka negativt på populationsrekryteringen av höstlekande laxfisk.

Laxfiskarna som genom årtusenden anpassat sin lektid på hösten för att kläcka vid lämplig tidpunkt på våren torde successivt kunna anpassa sig till förändrade förhållanden. Redan idag finns en stor variation av lektid för t.ex. bestånd av siklöja i Vänern. Parallella storskaliga klimatinducerade förändringar gör dock att en successiv anpassning inte kommer att vara tillräckligt för populationernas överlevnad i södra Sverige.

Direkta effekter av varmare somrar

Varmare somrar innebär längre perioder med låg vattenföring och med ett varmare vatten. Detta kommer att negativt inverka på laxfisk i södra Sverige. Vi har sett att sommartorkan idag gör att mindre laxvattendrag på västkusten missgynnas, hittills mest vattendrag med en medelvattenföring under 2 m³/s. Överslagsmässigt kan det röra sig om 10 % av natursmoltproduktionen som förloras vid varma, torra somrar i dag. I framtiden bör natursmoltproduktionen av lax påverkas i ännu större omfattning. Denna effekt beror dock också av vad som händer i havet. Ökad förekomst av konkurrenter och predatorer såväl i vattendrag som hav kan förstärka de negativa effekterna.

Insjöering i södra Sverige har också missgynnats av det varmare klimatet de senaste 20 åren. Vi antar att det är en kombination av lägre vattenföring under kritiska perioder samt en ökad andel predatorer både i uppväxtvattendragen och i sjöarna. Det finns idag också tydliga effekter av att sommarvattentemperaturer över 22°C negativt påverkar strömlevande öring i vattendrag. Detta kommer

att ge storskaliga förändringar av strömfiskfaunan. Generellt kommer lax och öring m.fl. arter, ex lake, att minska i södra Sverige.

I sjöarna kommer en ökad sommartemperatur att medföra en kraftigare utvecklad temperaturskiktning. Varmare höstar kommer också att medföra att sjöarna blir temperaturskiktade under längre perioder. I kombination med ökad tillförsel av näringsämnen, förhöjd produktion och temperatur medför detta att riskerna för syrgasbrist och svavelvätebildning ökar i bottenvattnet sommartid. Flertalet fiskarter har dock förmåga att fly undan de syrgasfria områdena. För de unika relikta storrödingbestånden i södra Sverige, ca 25 bestånd, kommer klimatförändringen dock att medföra att många bestånd slås ut, dels för att konkurrenser och rovfiskar ökar, dels därför att syreförhållandena i hypolimnion (dvs. vattenlagren under temperatursprångskiktet), kommer att försämrast.

Ökad frekvens av extrem avrinning

Vid tidigare tillfällen med extrem vattenföring har det observerats att fisk spolats nedströms, t.ex. år 1923 när röding från fjällvärlden återfångades i Bottenviken i hög utsträckning. Fisk kan alltså dislokaliseras, men denna effekt kan anses vara försumbar.

Istället kommer extrema högflöden att få stora hydromorfologiska effekter på vattenlandskapet. Fårar kommer att ändras och inom fårorna kommer sedimenttransporten att förändras. Efter den kraftiga vårfloden 1977 hade många vattendrag i mellersta Sverige fått radikalt ändrade fårar. Idag har generellt alla större vattendrag aktivt rensats och kanaliserats i någon omfattning. Därmed har habitatdiversiteten minskat och vattendragen fungerar alltmer som "stuprör" som raskt för undan avrinningen. Detta förstärker effekten av extremflöden. Framför allt mindre substratfraktioner, som t.ex. grus, har spolats nedströms. Detta medför att leksubstrat för många arter försvinner (laxfiskar, simpor, nejonögon, asp osv.). Detta bidrar till att utarma fiskfaunan och framför allt minskar det laxfiskproduktionen.

Fiskar är mobila varelser och det sker en ständig vandring mellan vattensystem, när vandringsvägarna är fria. Många arter växer upp i vattendrag och söker sig sedan ut till Östersjön för att senare kolonisera andra vattensystem. Lake är en typisk art som företar sådana vandringar. Med en sänkt salthalt kommer fler av sötvattensfiskarna att kunna vandra mer inom Östersjön, troligen även i

Kattegatt. Detta torde dock inte ha någon större ekonomisk effekt. Siklöjan kommer dock att kunna öka sitt utbredningsområde från kärnområdet i Bottenhavet söderut i Östersjön. Möjligen leder detta till ett ökat fiske efter den värdefulla löjrommen.

Förväntade avkastningsförändringar

Yrkesfiske bedrivs som nämnts i huvudsak i de stora sjöarna, men också i ett antal mindre sjöar med hög produktion och med ål/gös som nyckelarter (södra Sverige) eller med sik/röding som viktiga arter i norra Norrland. Nedan presenteras en grov bedömning av hur klimatförändringar kan tänkas drabba fisket i mindre sjöar, de stora sjöarna resp. fisket efter lax.

Mindre sjöar

Som ett underlag för bedömningar har avkastningsdata från svenska insjöar under perioden 1920–1960 sammanställts och satts i relation till årsmedeltemperatur och sjöstorlek. Som typexempel redovisas förväntade förändringar i avkastning i sjöar i storleksintervall 1 000–10 000 hektar. Beräkningar har endast skett för arterna gädda, gös, abborre, öring och röding. Effekterna av artförändringar beror till stor del på att olika arter betingar olika avsaluvärde i förstahandsledet; abborre 17 kr, gädda 25 kr, gös 45 kr, öring 40 kr och röding 62 kr, vilket var genomsnittspriserna under 2006 i insjöfisket.

I en Västerbottnisk sjö av storleksordningen 1 000–10 000 hektar innebär en ökning av årsmedeltemperaturen från 0 till 3°C att avkastningen av öring minskar från 0,12 kg/ha till 0,04 kg/ha, dvs. med 67 %. Orsaken torde främst vara ökad förekomst av konkurrenter och rovfisk. I samma sjö kan den förväntade avkastningen av röding antas minska från 0,28 kg/ha till 0,17 kg/ha. Den samlade minskningen i avkastning av öring och röding torde därmed uppgå till i storleksordningen 50 %. Dataunderlaget är osäkert men visar ändå på magnituden av förväntade förändringar. I södra och mellersta Sverige kompenseras detta av en ökad utbredning och produktion av gädda, abborre och gös. Avkastning av gös saknas idag i princip i områden med en årsmedeltemperatur under 2°C,

dvs. Jämtland, Västerbotten och Norrbotten (även om enstaka isolerade bestånd finns).

I en enkel simulering har den ekonomiska effekten bedömts för sjöar på 1 000–10 000 hektar i fyra regioner i Sverige; södra Sveriges kustlän, södra Sverige inlandslän, södra Norrlandskustlän och övriga Norrland (Jämtland, Västerbotten och Norrbotten). Utifrån förväntade förändringar i artstruktur och avkastning vid en årsmedeltemperaturökning på 3°C blir de biologiska effekterna stora, men de ekonomiska effekterna varierar något mellan regioner. Givet enbart en ökning av temperaturen och att inte utbredningen av fiskar ändras på grund av restriktioner för utplantering samt vandringshinder beräknas den ekonomiska avkastningen öka något (10–20 %). Detta beror till stor del på att kilopriset för gös är högre än för andra arter, undantaget röding. I Norrlands inland förutspås en minskning av avkastningen med ca 10 %, då en förlust av öring och röding inte kompenseras med en ökning av abborre och gädda i motsvarande utsträckning. För övriga regioner förutspås enligt ovan en viss ökning.

Skulle arter ha möjlighet att fritt kolonisera nya vattensystem förväntas den ekonomiska avkastningen i medeltal öka ca 20–40 %. Störst blir ökningen på Norrlandskusten och södra Sveriges inlandslän. Observera att detta resonemang bygger på att arter kan sprida sig obehindrat mellan vattensystemen. Idag är detta inte längre möjligt. Skall effekterna av ett förändrat klimat minska, när det gäller möjligheterna att bedriva yrkesmässigt fiske i mindre sjöar, måste således vandringsmöjligheter mellan och inom vattensystem öka, alternativt artificiell spridning av arter tillåtas.

Vi har valt att inte föra detta resonemang vidare eftersom de bygger på ett statiskt dataunderlag, där effekten av övergripande nyckelprocesser (se ovan) inte kunnat vägas in.

De stora sjöarna

De stora sjöarna är så olika inbördes och hyser så olika fisksamhällen att de måste behandlas var för sig.

Vänern

Ökad vattentemperatur under höst-vinter bedöms utgöra det största hotet mot de höstlekande laxfiskarterna sik och siklöja. Rommen riskerar att kläcka för tidigt på våren innan näringsunderlaget hunnit utvecklas. Däremot utgör den ökade vattentemperaturen inget hot mot vuxna individers överlevnad. Siklöjan har naturligt en långt utdragen lekperiod (oktober-januari). Det tidigare tidigt lekande bestånden finns inte längre kvar på grund av de senaste årens varma höstar. Siken leker normalt sent på hösten och har uppenbarligen ännu inga problem med föryngringen. Det är dock rimligt att anta att dessa bestånd kommer att minska om vattentemperaturen ökar enligt prognosen. Dessa arter betingar för närvarande (2006) ett infiskat värde motsvarande 6,4 respektive 2,5 Mkr. Övriga sjölekande arter, inklusive gädda, gös och abborre, kommer att gynnas. Det finns mycket klara samband mellan årsklassstyrkan hos gös och varma somrar och höga vattentemperaturer på hösten. Vänern är till största delen för klar, näringsfattig och kall för att vara någon bra gössjö. Ökad vattentemperatur, minskat siktdjup till följd av ökad humustillförsel och även ökad närings-tillförsel kommer i framtiden i högsta grad att bidra till en ökad gösproduktion. Gösen är redan nu sjön näst ekonomiskt viktigaste art (5,5 Mkr år 2006) och det är inte orimligt att gösavkastningen kan komma att fördubblas på knappa 100 år. Värde på gädd- och abborrfisket är väsentligt lägre, men avkastningen även av dessa arter kan komma att öka, dock inte riktigt i samma grad.

Vättern

De typiska kallvattenarterna röding och sik torde minska ytterligare. Sik i minst grad genom att den naturligt leker senare på hösten än rödingen. Sannolikt kommer det inte att gå att bedriva något kommersiellt fiske på dessa arter över huvud taget. Siklöjan leker ganska sent och på stora djup, där vattentemperaturen även fortsättningsvis kommer att vara låg, vilket gör att beståndsstatus san-

nolikt påverkas i mindre omfattning. Varmvattensarterna, som nu företrädesvis förekommer i skärgårdsområdena, kommer att få en ökad utbredning i sjön. Ingen av dessa arter har i dag något större ekonomiskt värde. Sjöns överlägset kommersiellt viktigaste organism är signalkräftan. Denna är en utpräglad varmvattensorganism. Kräftfisket kommer därför att öka i väsentlig grad, inte bara beroende på temperaturökningen utan även beroende en ökad areell utbredning. Under år 2006 var det infiskade värdet 11,2 Mkr. Även signalkräftan kan dock drabbas av relativt hög dödlighet i akut kräftpest om ytterligare stressfaktorer tillstöter.

Mälaren

Mälarens siklöjebestånd, som under en period utgjorde omkring 30 % av det infiskade värdet, gick helt i botten i början av 1990-talet och har därefter inte återhämtat sig. Arten kommer inte att få någon kommersiell betydelse i framtiden, vilket inte heller det svaga sikbeståndet kommer att få. Gädda och abborre kommer att öka, men det kommersiella värdet är relativt lågt. Även gösbeståndet kommer att öka i påtaglig utsträckning. Ökad temperatur, förlängda tillväxtsånger och ökad närsalttillförsel är avgörande för detta. Framför allt kommer fisket att öka i de centrala stora fjärdarna, som i nuläget är de djupaste, kallaste och näringsfattigaste delarna av sjön. I Mälaren råder dock konkurrens om såväl gösen som fiskevatten mellan yrkesfisket och andra fiskeintressen och stora delar av sjön är inte utnyttjade för kommersiellt fiske. Denna konkurrens kommer sannolikt inte att minska i framtiden. En avkastningsökning på i storleksordningen minst 50 % måste bedömas som realistisk. En liknande ökning skulle med säkerhet kunna åstadkommas redan i dagens läge genom ett höjt minimimått och bättre resursvård. Det infiskade värdet var 8,2 Mkr under år 2006.

Hjälmaren

Sjöns fisksamhälle utgörs av varmvattensarter samt de intermediära arterna lake och nors, vilka saknar kommersiellt värde. Norsen är dock gösens viktigaste bytesfisk. Genom att sjön är grund och totalcirkulerande har hela vattenmassan samma vattentemperatur sommartid. Det är osäkert om norsbeståndet kommer att fortleva

med den förutspådda temperaturökningen. Gösen är dock inte helt beroende av norsen, utan kommer i högre grad att beta av abborre och mörtfisksläktingar. Gösavkastningen har ökat från 167 ton till 288 ton (13,7 Mkr) under de två senaste åren tack vare varma somrar och höstar, ett skonsamt fiske samt ett höjt minimimått. Det är kanske därför inte realistiskt att tro att avkastningen inte kan öka med mer än omkring 25 % ytterligare i framtiden.

Laxfisket

För svenska västkusten torde laxproduktionen att minska betydligt genom försämrade förhållanden, främst en effekt av varmare somrar med lägre vattenföring i uppväxtvattendragen. Lax kan dock finnas kvar i ett fåtal av de större vattensystemen. Dessa kommer att bli mer produktiva genom högre temperatur och näringstillgång, vilket medför att laxens ålder innan den vandrar till havet torde minska. Förändringar i Västerhavet kan dock radikalt förändra bytesfisktillgången och förekomsten av rovdjur. Utan mer kännedom om effekterna i havet är det svårt att bedöma utvecklingen, men en radikalt minskad laxproduktion är att förvänta på västkusten. För yrkesfisket har detta ringa betydelse då laxfisket är av obetydlig omfattning idag.

Ett varmare klimat kommer att göra att laxproduktionen försvinner från de sydliga laxvattendragen, t.ex. Mörrumsån, Helgeån och Emån. Däremot torde produktionen av ung utvandrande lax, smolt, att kunna öka betydligt i Norrland. Sötvattenarternas utbredning kommer att öka i hela Östersjön. Detta kan medföra en ökad predation på uppväxande ung lax, men effekten tros vara relativt ringa. Här har vi ingen ökning av marina predatorer, som i Västerhavet, samtidigt som de expanderande sötvattensarterna knappast har laxens potential till stora vandringar över öppna havet. Avgörande är hur det går med bytesfisktillgången. Bytesfisken utgörs idag i huvudsak av sill/strömming och skarpsill. I Väneren där laxen lever i sötvatten ersätts dessa arter med siklöja och nors. Bedömningen är därför att bytesfisktillgången inte torde påverkas till men för laxen, såvida inte födounderlaget, främst djurplankton, förändras kvalitativt eller kvantitativt.

Om man antar att produktionen av lax främst är en funktion av temperaturen när det finns lämpliga uppväxthabitat, kan ett antagande göras om den framtida produktionen av laxsmolt. Interna-

tionella havsforskningsrådet (ICES) har gjort skattningar av den maximalt möjliga laxproduktionen i de svenska östersjöälvarna. Samtidigt har vi uppgifter om mängden uppväxtareal per älv samt dagens klimat. Det föreligger ett signifikant positivt linjärt förhållande mellan laxsmoltproduktion och årsmedeltemperatur. Till stor del beror detta på en minskad smoltålder vid högre vattentemperatur. För varje grad ökad årsmedeltemperatur ökar smoltproduktionen per hektar med 190 smolt (linjär regression, $r^2=0,61$, $p<0,001$). Givet att detta samband gäller i framtiden och att dagens uppväxtarealer används för beräkning, innebär detta att laxsmoltproduktionen i svenska östersjöälvar kan skattas öka med en faktor fem vid en temperaturökning med 3°C. Med förbehåll för motverkande förändringar i Östersjöns ekosystem skulle detta kunna innebära ett omfattande ökat utbyte av laxfisket.

Det bör dock betonas att man inte kan förvänta sig enkla samband mellan temperatur och produktion. Den högre vattentemperaturen kommer att medföra en förlängd tillväxtsäsong för laxen i Östersjön. Möjligen kan detta medföra att laxarna köns mogna och återvandrar till hemmaälven som köns mogna vid lägre ålder. Tidpunkten för återvandringens start styrs av vattentemperaturen i centrala Östersjön. Eftersom temperaturökningen blir minst i Bottenviken finns en möjlighet att det under enstaka år fortfarande kan finnas is kvar i Haparanda- och Kalix skärgårdar. I så fall blir det omöjligt att fiska på den tidigt vandrande laxen, eftersom de fasta redskapen endast kan sättas ut på öppet vatten. En annan fråga är hur avrinningsförhållandena är i älvarna när laxen skall vandra upp om de återvandrar tidigt. Förändringarna av klimatet sker under en mycket kort tidsperiod och en art som lax i norrlandsälvarna har ca 14–20 generationer på 100 år. Det är en mycket kort tid för anpassning.

Klimatets inverkan på fiskets bedrivande

Den mest påtagliga effekten av klimatändringar på fiskeaktiviteterna är effekten på vindförhållandena. Flera för svenskt fiske betydelsefulla fiskerier är starkt väderberoende. Det gäller t.ex. garnfiske och trålfiske med mindre fartyg. För garnfiske är den begränsande faktorn i många fall att bottenströmmarna ökar vid högre vindstyrkor och lösdrivande material som rödalger förs in i garnen. I södra Östersjön är detta ett stort problem som i prakti-

ken sätter en övre gräns för fisket vid cirka 10 m/s. Bottentrålning efter havskräfta på västkusten sker i stor utsträckning med små enmansbåtar. Här är möjligheten att arbeta vid vindstyrkor över 12–14 m/s starkt begränsade. Även burfiske efter kräfta och hummer har problem vid dessa vindstyrkor.

Även om burar och bottensatta garn satts ut vid bra väder innebär dagar med hård vind, när redskapen inte kan vittjas, att fångsten förloras eller minskar. Fisk som garnats och dött förstörs och kan inte säljas, betet i burar förlorar sin effekt efter relativt kort tid var efter buren slutar fiska.

Erik Kjellström vid Rossby Centre har för utredningen beräknat ökningen av dagar med höga vindstyrkor vid olika scenarier (Appendix 1). I tabell 1 har, baserat på detta, en uppskattning gjorts av hur många fler dagar de mest väderkänsliga fiskerierna beräknas förlora på grund av för hård vind enligt scenarierna baserade på ECHAM4 A2 och ECHAM4 B2 och den regionala modellen RCA3, både för perioden 2041–2070 och 2071–2100. Ingen signifikant skillnad finns mellan perioderna. Dock är skillnaden stor mellan olika globala modeller, HadAM3H och ECHAM5 ger väsentligt lägre ökning av vindstyrkorna.

Tabell 2 Exempel på effekten av ökad frekvens av höga vindstyrkor på olika typer av fisken. Antal fartyg och fiskedagar gäller data för 2005 och fartyg med en total infiskning över två basbelopp.

Fiskekategori	aktiva fartyg	fiske-dagar	väder-gräns	ökning av dagar över vädergräns		procentuell ökning		miskad infiskning milj kr	
	antal	Antal	m/s	EC A2	EC B2	EC A2	EC B2	EC B2	EC B2
torskgarn Östersjön	171	123	10	15	10	8%	5%	7.3	4.9
trålare <24 m Östersjön	49	148	14	20	15	13%	10%	12.3	9.2
Burfiske kräfta	45	113	10	15	10	8%	6%	1.4	0.9
Kräfttrål	67	120	14	25	20	21%	17%	14.1	11.3
Räktrål	46	161	14	25	20	19%	15%	19.0	15.2

De fem fiskerierna i Tabell 2 svarar tillsammans för ungefär en tredjedel av hela det svenska yrkesfiskets fångstvärde. Övriga delar av fisket sker med större fartyg och är mindre väderkänsligt, men antalet tillfällen med storm kommer att begränsa fiskemöjligheterna även för denna kategori. En grov sammanvägning visar att förlusten av fiskemöjligheter kommer att innebära ett minskat

fångstvärde motsvarande 5–10 procent av dagens nivå förutsatt en oförändrad flotta och fångstteknologi.

Minskningen kommer att ske gradvis över en lång tidsperiod och det är svårt att bedöma i vilken utsträckning effekten kommer att påverkas av modernisering av fartygen och ändrade fiskemetoder och redskap. Det är rimligt att anta att en anpassning till klimatförhållandena kommer att ske.

Forsknings och utvecklingsbehov

En generell svårighet vid analyser av effekten av klimatvariationer på fiskbestånden är att dataserier normalt visar summan av påverkan av klimat och fiske. Fiskets inverkan tenderar att mer och mer dominera. För att separera dessa faktorer är det därför viktigt att där så är möjligt utnyttja tidsserier som sträcker sig långt bak i tiden.

De förväntade stora förändringarna av faunan innebär behov av en utökad och adekvat övervakning av bestånden i hav och inlandsvatten. Denna övervakning bör inbegripa populationsstyrka, tillväxt, reproduktion, födoval och artinteraktioner.

Temperaturoptima varierar starkt både mellan arter och även mellan populationer av samma art. För att ge bättre prognoser över klimatförändringarnas effekter på fisksamhällen behövs därför:

- Artspecifika fysiologiska modeller (bioenergetik och tillväxt)
- Artspecifika rekryteringsmodeller
- Artspecifika modeller för energiallokering
- Populations- och samhällsmodeller

Modellerna kan kalibreras och verifieras mot data över:

- Naturliga mellanårsvariationer i temperatur
- Nord-sydliga gradienter i temperatur
- Kylvattenrecipienter

Specifika forskningsinsatser för att bättre förstå climateffekter i sötvatten är:

- Sommarlågvattnenföringen och hög temperatur verkar begränsande på lax- och öringpopulationerna i södra Sverige. Mekanismerna bakom denna påverkan (ökade artinteraktioner och

predation, letal temperatur, låg födoproduktion, minskad habitatvolym) bör klarläggas för att utforma motåtgärder.

- Siklöja har en nyckelroll i många av de större sjöarna (>300 ha) och framför allt i Vänern och Vättern. I Hjälmaren saknas arten på grund av hög temperatur sommartid i hela sjövolymen (avsaknad av hypolimnion). I Mälaren har arten minskat drastiskt. Siklöja har även minskat i flera av de stora sydliga sjöarna i landet. Förutom att detta får effekter på ekosystemet så har det också direkta och stora ekonomiska konsekvenser då löjrom betingar ett högt pris. De exakta orsakssambanden bakom minskningen är inte kända, även om orsaken anses vara klimatiskt betingad. Mekanismerna bakom minskningen måste klarläggas.
- Med ett varmare klimat kommer kräftor att spridas till fler vattendrag. I ett antal vatten har detta väckt farhågor för att kräftorna skall ha en övergripande effekt på ekosystemet (födokonkurrens, predation på fisk, eliminering av vegetation). Studier i labbskala har visat på predation på rödingrom, medan undersökningar i vattendrag indikerat att fysikaliska faktorer har större effekt på fiskbestånden än kräftor. I problematiken finns också att det är den introducerade amerikanska signalkräftan som ökar, medan vår inhemska flodkräfta minskar på grund av den "kräftpest" som sprids av signalkräftan. Kräftproblematiken förleder en riktad forskningsinsats på effekten av introduktion av signalkräfta på ekosystemet, med fokus på större sjöar.

Appendix 1: Svensk fiskenäring

Fångstsektorn

Den svenska marina fiskeflottan kan grovt indelas i följande tre huvudgrupper:

- Fiske med trål/not efter arter som lever i fritt vatten (*pelagiska*) som sill/strömming, skarpsill, makrill.
- Fiske med trål efter torsk och andra bottenlevande (*demersala*) arter som rödtunga, räka, havskräfta, etc.
- Fiske med passiva redskap – nät, ryssjor, burar och långrev – efter ett stort antal arter, främst torsk, havskräfta, räka och plattfisk.

Bland de pelagiska arterna ingår siklöja, som fiskas av små (<14 meter) pelagiska trålare i delar av Bottniska viken. Fångsten används i huvudsak för romframställning. Övriga pelagiska arter fiskas av fiskeflottans största fartyg (>24 meter).

Det pelagiska segmentet särskiljer sig genom de stora investeringar som gjorts i ökad fångstkapacitet. Under perioden 1995 till 2002 ökade bruttotonnaget med 19 procent och den samlade motorstyrkan med 14 procent. Antalet fartyg minskade, men genomsnittstonnaget per fartyg ökade med 40 procent.

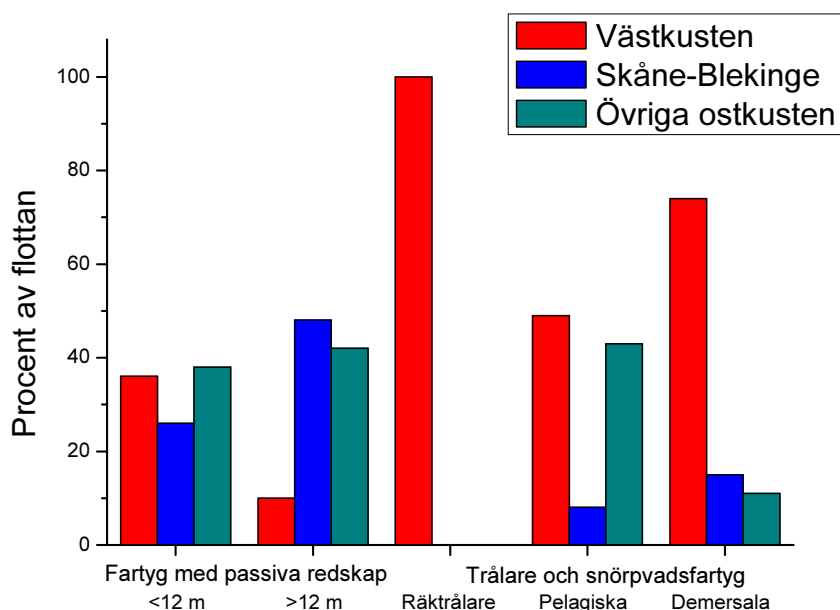
Inom övriga flottan var utvecklingen en helt annan. Både antalet fartyg och tonnaget minskade inom havsfisket totalt med 37 procent, från 2 540 till 1 597 fartyg. Den relativa förändringen var störst i det minsta tonnaget och på ostkusten.

Även antalet sysselsatta i fisket minskade under perioden 1995–2002 i ungefär samma omfattning som flottans minskning. Antalet licensierade fiskare gick ner från drygt 2 900 till ca 1 900 personer. Medianåldern i fiskarkåren var 51 år 2004. Utvecklingen kännetecknas av allt färre fiskare och en stigande medelålder.

Mer än hälften av flottan, mätt i antalet fartyg, rapporterade år 2004 ett fångstvärde under 80 000 kr. Denna låga aktivitet förklaras till en del av att samma fiskare kan ha flera fartyg för sina olika fisken men att loggboken förs på ett fartyg och inkluderar allt fiske.

Av de licensierade yrkesfiskarna i havsfisket var år 2004 cirka 51 % bosatta på västkusten (Västra Götaland, Halland), 22 % på sydkusten (Skåne, Blekinge) och 27 % på ostkusten (Kalmar-Norrbottnen inklusive Gotland).

Figur 1 Flottans regionala fördelning i havs- och kustfisket



Fiske med passiva redskap bedrivs i huvudsak inom närområdet. Västkustfartygen bedriver sitt fiske i Skagerrak och Kattegatt och fartygen från syd- och ostkusten fiskar i Östersjön. En handfull fartyg lokaliserade i hamnar vid Öresund fiskar såväl i Kattegatt som i Östersjön. Även de syd- och ostkustbaserade fartyg som fiskar med aktiva redskap har i princip allt sitt fiske i Östersjön. Större västkustfartyg som fiskar efter pelagiska arter och torsk bedriver sitt fiske i alla för svenskt fiske tillgängliga vatten (Atlanten, Nordsjön, Skagerrak, Kattegatt och Östersjön).

Det svenska saltvattensfisket har under de senaste åren upplevt en kraftig nedgång i intäkter och lönsamhet. Från 2002 till 2004 har landningsvärdet minskat från 1 174 till 830 miljoner kr, vilket är en minskning med närmare 30 %. Den största kvantiteten fångad fisk utgjordes av foderfisk vars landningar uppgick till 61 % av flottans totala.

För insjöfisket har de senaste årens ekonomiska utveckling varit positiv med tillgång till hela EU-marknaden och med goda och växande bestånd av högprisarterna gös och insjökräftar. Gösen har

gynnats av förhållandevis varma somrar. Det totala värdet på den levererade fisken har ökat med 30 % under de senaste fem åren.

I de stora sjöarna verkar idag ca 170 yrkesfiskare. Därutöver finns 33 licensierade yrkesfiskare i 21 näringsrika sydliga mindre sjöar samt i 13 norrländska sjöar, främst i Norrbotten, samt ett mer eller mindre yrkesmässigt fiske med stöd av enskild fiskerätt i ett okänt antal mindre sjöar. Ekonomiskt domineras insjöfisket i de stora sjöarna av olika arter i respektive sjö. I Vänern utgör gös och siklöja de ekonomiskt viktigaste arterna. I Vättern är kräddfisket av störst betydelse. I Mälaren och Hjälmaren är idag gösfisket viktigast, men även kräddfiske har betydelse i den senare sjön. I de norrländska sjöarna domineras avkastningen av sik och röding. I de näringsrika sydliga sjöarna domineras avkastningen av ål och gös. Det ekonomiska värdet på gös och kräftar i det yrkesmässiga sötvattensfisket ökade med nästan 50 % mellan år 2005 och 2006, från 32 till 48 Mkr. De licensierade yrkesfiskarnas totala infiskning i sötvatten var 72 Mkr under år 2006.

Den svenska fiskarkåren är en alltmer åldrande yrkeskategori. Generationsväxlingen är mycket dålig. Speciellt illa är det i Östersjöregionen där mycket få ungdomar söker sig till fisket. I dagens situation är detta inget problem eftersom kapaciteten att fånga fisken är större än den biologiska tillgången men för framtiden är nyrekryteringen ett problem. Utländska medborgare arbetar redan i dag ombord på svenska fartyg.

En klar utveckling i fisket är att kustfiskesegmentet allt mer försvinner. Denna utveckling gäller samtliga län. En annan trend är att trålfiskeflottan alltmer koncentreras till västkusten. Den Östersjöbaserade flottan minskar.

Det licensierade kustnära yrkesfisket i Bottniska viken bedrivs med mindre skepp och båtar (<12 m). Förutom det licensierade fisket finns ett betydande binäringsfiske med fasta redskap. Ett viktigt fiske är trålfisket efter siklöja. Annars är lax, sik och strömming de viktigaste arterna för fisket i Bottniska viken. Det yrkesmässiga fisket dominerar för arterna. Fritidsfiskets viktigaste arter är abborre, gädda, lake och öring. Detta fiske har en stark ställning i hela Bottniska viken. Yrkesfisket dominerar i norr beroende på trålfisket efter siklöja samt lax- och sikfiske med fasta redskap. I Bottenhavet fångas relativt stora mängder strömming inom yrkesfisket.

Det yrkesmässiga kustfisket längs Egentliga Östersjöns kuster och vid Gotland har huvudsakligen bedrivits med torskgarn och

ålbottengarn. Garnfisket är ofta kombinerat med fiske efter skrubbskädda, piggvar och sill/strömming. Ett litet bottengarnsfiske finns även med torsk och flundregarn. Ålfisket kombineras ofta med fångst av abborre, gädda, sik och gös. Det förekommer även husbehovs- och binäringsfiske med yrkesmässiga redskap och ett omfattande sportfiske. Bortsett från ål är det kustnära fritidsfisket lika stort eller större än motsvarande yrkesfiske.

Förutsättningarna för kustfisket ser helt annorlunda ut i de saltare vattnen i Skagerack och Kattegatt. Antalet kommersiella fiskarter ökar med ökad salthalt och det finns en rik förekomst av skaldjur. Inom det kustnära yrkesfisket på västkusten bedrivs ett omfattande fiske med smärjssjor efter gulål. Även havskräfta har stor ekonomisk betydelse för kustfisket. Det bedrivs huvudsakligen med bottentrål men ett fiske med burar förekommer även. Trålfiske efter räka förekommer även inom begränsade områden. Krabba och hummer är även viktiga bland skaldjuren liksom i olika omfattning blåmusslor, ostron, hjärtmusslor och sandmusslor. Yrkesfiske efter makrill är av liten omfattning vid kusten men för fritidsfisket är det en av de viktigaste arterna.

Vattenbruk

Statistik saknas i stor utsträckning om näringens ekonomi, ekonomiska omfattning och lönsamhet. Vattenbrukets utveckling de senaste åren kan kort sammanfattas i ett antal punkter:

- Matfiskodlingen av regnbåge har varit ca 5 000 ton/år de senaste 10 åren,
- Antalet matfiskodlingar har halverats på 20 år,
- Lax och öring odlas inte längre till matfisk i Sverige,
- Ålodlingen är ca 200 ton/år,
- Rödingodlingen ökade fram till år 2002 då kvantiteten halverades (orsakades av extremt varma somrar två år i följd),
- Ingen tillförlitlig statistik finns om kräftodlingen,
- Musselodlingen ligger på knappt 2 000 ton per år,
- Odlingar för sättfisk och sättkräfta har i stort sett varit samma till antalet i 20 år, drygt 100 st.

En stabil efterfrågan av fisk till utplantering i naturvatten har resulterat i en stabil ekonomisk situation för de flesta företag som specialiserat sig på detta. Många företag har gått över till att i prin-

cip bara odla för utsättning i naturvatten. Mindre odlingsföretag för matfisk (ca 50 tons årsproduktion) har levt vidare tack vare en kombination med beredning och egen försäljning.

Geografiskt är produktionen av regnbåge koncentrerad till Norrland, till vissa delar av Värmland och Dalsland. Röding odlas huvudsakligen i Norrland. Längs Bohuskusten odlas musslor och regnbågsodlingen för direktförsäljning är spridd i södra delen av Sverige liksom kräftodlingen. Ålodlingen är koncentrerad till Skåne och Blekinge.

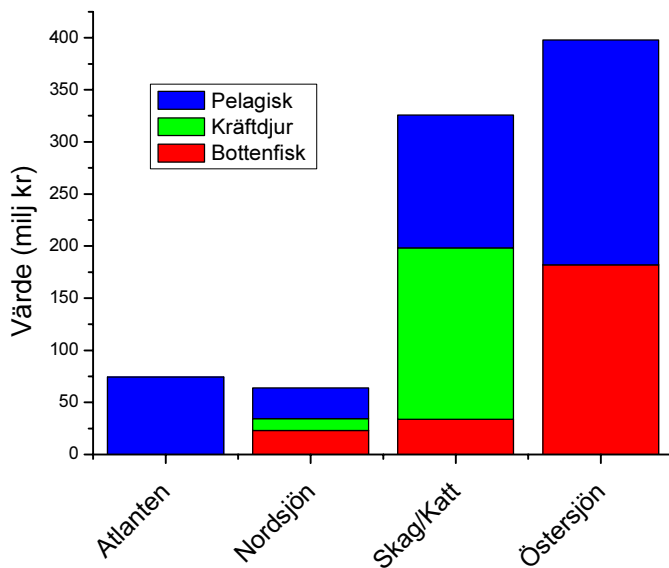
Beredningsindustri och handel

Den svenska beredningsindustrin har ett stort produktutbud, allt ifrån fileterad sill/strömming och torsk till färdigrätter, inläggningar, kaviarersättningar och olika rökta produkter. Huvuddelen av värdet kommer från olika former av sillprodukter.

Biologiska resurser

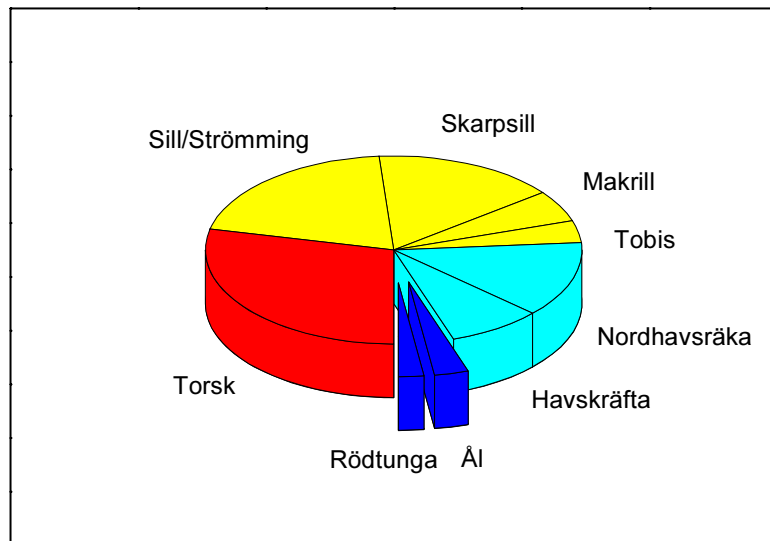
Svenskt fiske begränsas väsentligen av kvoter. Cirka 95 % av landningsvärdet kommer från kvoterade arter, varav torsk, sill, skarpsill, havskräfta och räka svarar för ungefär 75 procentenheter. Sammanlagt bedrivs svenskt fiske på 29 olika bestånd, omfattande 12 arter i havsområden från Norska havet till Östersjön. Figur 1 visar hur det totala fångstvärdet av cirka 870 milj. kr fördelar sig på havsområden och grupper av fiskslag.

Figur 2 Geografisk fördelning av totala fångstvärdet i svenskt marint yrkesfiske och fördelningen av värdet mellan pelagiska arter, bottenfisk och kräftdjur. Värdet baseras på genomsnittliga landningspriser år 2004.



Ser man till vilka arter som fiskas svarar torsk tillsammans med de pelagiska arterna för cirka $\frac{3}{4}$ av fångstvärdet. Bland de nio viktigaste arterna är det bara ål och rödtunga som inte är kvoterade. Figur 3 ger proportionerna artvis för dessa nio värdemässigt dominerande arter, vilka år 2004 svarade för >90 % av infiskningen. Resterande 10 % är fördelade på 56 olika arter. Insjöfiskets samlade värde var samma period ca 50 miljoner kr vilket är i nivå med Nordsjöfisket.

Figur 3 Fördelning av de 90 % av fångstvärdet som kom från de nio viktigaste arterna i hav- och kustfiske 2004. Totala fångstvärdet var cirka 870 miljoner kr



Statistiska data för 2004

Fångstsektorn

Licensierade fiskare saltvatten:	1 727
Varav kvinnor	17
Licensierade fiskare i insjöar:	186
Licensierade fiskefartyg:	1 597
Varav <12 meters längd	1 290
Varav >12 meters längd	307
Totalt Bruttotonnage (BT)	44 447
Total motorstyrka (kW)	217 089

Vattenbruk

Produktion totalt:	8 284 ton
Varav: Regnbåge för mat:	5 338 ton
Sättfisk(utsättningar i naturvatten):	1 505 ton
Musslor:	1 435 ton
Röding	328 ton
Värde totalt:	220 milj kr
Antal sysselsatta: ca 200 helårsarbetskrafter.	

Beredningsindustri och handel

Antalet anställda år 2003:	1 691 personer (1 804 år 2002)
Omsättning år 2003:	3 861 milj kr (4 061 år 2002)
Inköp av råvaror år 2003:	2 163 milj kr (2 074 år 2002)
Export förädlad fiskprodukter	751 milj kr
Import förädlade fiskprodukter	1 593 milj kr

Appendix 2: Ändrade vindförhållanden i svenska farvatten

Erik Kjellström, Rossby Centre, SMHI

Bakgrund

Klimatet är i snabb förändring. Den globala temperaturökningen har ökat med lite drygt 0.7 grader under de senaste 100 åren. Denna mycket snabba ökning kan inte förklaras utan att man tar hänsyn till de ökande halterna av växthusgaser i atmosfären. Att den s.k. förstärkta växthuseffekten, som alltså beror på människans utsläpp av växthusgaser, ligger bakom uppvärmningen bedöms nu som säkert inte bara för jorden som helhet utan även för enskilda kontinenter (IPCC, 2007). Andra förändringar i klimatsystemet är mindre entydiga och därigenom svårare att upptäcka och fastlägga. När det gäller vindklimatet så rapporterar IPCC om generellt ökande västvindar på mellanbreddgraderna sen 1960-talet. För Nordatlanten, inklusive svenska farvatten, finns det studier som visar på att den signifikanta våghöjden ökat de senaste 50 åren, något som är förknippat med ökade vindhastigheter (Trenberth et al., 2007). Stor variabilitet i lågtrycksbanorna, både för intensitet och frekvens hos lågtrycken, gör det svårt att slå fast några trender i de allra högsta vindhastigheterna. Många framtida klimatscenarier visar på en viss ökning av vindhastigheterna i samband med djupaste lågtrycken (som blir något djupare i scenarierna) och en förskjutning av lågtrycksbanorna mot polerna (Meehl et al., 2007). Stora skillnader mellan olika modeller gör det svårt att slå fast hur stora förändringar som kan förväntas i olika områden. Den här rapporten beskriver hur vindförhållandena kring de svenska kusterna kan komma att ändras under det innevarande århundradet till

följd av förändringar i klimatet. Fokus ligger på de dagar då det råder friska eller hårda vindar. Vi har valt att studera frekvensen av antalet dagar med vindhastighet som överskrider 10 respektive 14 m/s som mått på dessa förhållanden.

Klimatunderlag

Underlagsmaterial är regionaliseringar utförda med Rossby Centres regionala klimatmodeller RCAO och RCA3 (se exv. Räisänen et al., 2004, Kjellström et al., 2005, Meier et al., 2006). Den regionala klimatmodellen har körts med en horisontell upplösning av ca 50km vilket kan jämföras med 200–300 km som är en vanlig upplösning i globala klimatmodeller. Tabell 1 sammanfattar de olika regionaliseringarna som använts. De globala klimatmodellerna som använts för att ge randvärden till den regionala modellen är HadAM3H från Hadley Centre i Storbritannien samt ECHAM4 och ECHAM5 från Max-Planck-Institutet för Meteorologi i Tyskland. Utsläppsscenarierna kommer från en specialrapport framtagen av FNs klimatpanel (Nakićenović et al., 2000). Alla scenarierna leder till kraftigt ökande koncentrationer av växthusgaser i atmosfären. B2-scenariet är det måttligaste och A2-scenariet det som ger störst förändring. Skillnaderna mellan scenarierna är liten under de närmaste decennierna och blir framträdande först från mitten av seklet. En mer genomgripande beskrivning av scenarierna finns i Persson et al. (2007).

Tabell 1 Sammanfattning av olika scenarier som använts i denna rapport. Kolumnerna avser 1) benämning i denna rapport, 2) regional modellversion, 3) global modell, 4) utsläppsscenarie och 5) vilken tidsperiod som simulerats.

Benämning	RCM	GCM	Utsläppsscenarie	Tidsperiod
RCAO-H-B2	RCAO	HadAM3H	B2	1961–1990, 2071–2100
RCAO-H-A2	RCAO	HadAM3H	A2	1961–1990, 2071–2100
RCAO-E-B2	RCAO	ECHAM4	B2	1961–1990, 2071–2100
RCAO-E-A2	RCAO	ECHAM4	A2	1961–1990, 2071–2100
RCA3-E-B2	RCA3	ECHAM4	B2	1961–2100
RCA3-E-A2	RCA3	ECHAM4	A2	1961–2100
RCA3-E5-A1B	RCA3	ECHAM5	A1B	1961–2100
RCA3-ERA40	RCA3	ERA40	Observerat	1961–2005

Det är alltså frågan om fyra olika scenarier med den äldre modellversionen RCAO (två globala klimatmodeller på ränderna och två olika utsläppsscenarier). Alla dessa gäller för slutet av seklet jämfört med en kontrollperiod i slutet av 1900-talet. Dessutom finns tre klimatförändringsscenarier med RCA3 för hela tidsperioden 1961–2100. Slutligen har RCA3 körts med en återanalys¹ (ERA40) på ränderna. Den körningen används dels som en referens för att undersöka hur väl modellens resultat stämmer överens med observationer under slutet av 1900-talet och dels för att kunna studera hur klimatet utvecklats under de senaste 45 åren.

I en regional klimatmodell där varje beräkningspunkt (gridruta) är representativ för ett stort område (här $2\,500 = 50 \times 50 \text{ km}^2$) fångas inte de högsta vindhastigheterna upp på ett bra sätt och vindarna är därför i regel underskattade, särskilt vid högre vindhastigheter (Meier et al., 2006). I den här rapporten används därför medelvindhastigheterna för att ge en kvalitativ bild av vindförändringen, inte för att läsa av absoluta förändringar. En skillnad mellan de två modellversionerna RCAO och RCA3 är att det i RCA3 finns en s.k. byvindsparametrisering. Denna används för att ge en mer rättvis bild av just de höga vindhastigheter som är förknippade med lokala tillfälliga vindbyar. I den här parametriseringen tas hänsyn till medelvindhastigheten men också till hur vindhastighet och temperatur ändras med höjden nära marken. På så sätt fås ett mått på hur turbulent atmosfären är och därigenom kan man uppskatta frekvens och intensitet hos vindbyarna. I verkliga atmosfären spelar småskalig variabilitet hos markytans egenskaper (kuperad, flack, skogstäckt, stadsbebyggelse, jordbruksmark, våghöjd m.m. ...) också en stor roll men denna variabilitet inom varje gridruta tas inte hänsyn till i byvindsparametriseringen. En utvärdering av byvindsparametriseringen gjordes i Kjellström et al. (2005) varvid det konstaterades att byvindarna över land i Sverige som regel representerade vindförhållandena på ett bra sätt. Över hav har ingen utvärdering av modellresultaten gjorts.

I den här undersökningen studeras frekvensen av dagar då vindhastigheten (byvind eller medelvind) överskrider vissa tröskelvärden (10 respektive 14 m/s). Vi har alltså inte studerat förändring i medelvindhastighet över en hel säsong eller månad eller förändring

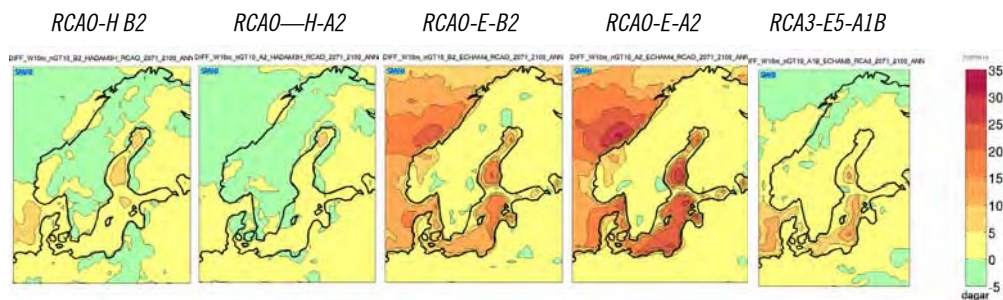
¹ En återanalys är en klimatologi baserad både på olika sorters väderobservationer och på modellresultat. Återanalyser är det bästa tillgängliga verktyget för att beskriva atmosfärens tillstånd under de senaste decennierna. Från den här aktuella återanalysen finns 3-dimensionella data från atmosfären samt data som beskriver markförhållanden för vart 6:e timme för drygt 40 år.

i extremt höga vindhastigheter (stormar). Materialet avser hela året, dvs. ingen uppdelning har gjorts i månad eller säsong. Den typen av förändringar i vindklimatet i de här använda simuleringarna beskrivs i Räisänen et al. (2003), Kjellström et al. (2005), Pryor et al., (2005), Meier et al. (2006).

Resultat

Förändring i medelvindhastighet

Figur 1 visar hur förändringen i antalet dagar med medelvindhastighet över 10 m/s ökar fram till slutet av seklet (2071–2100 jämfört med 1961–1990) i fem klimatscenarier. Alla fem simuleringarna visar på en ökning i antalet dagar med vindhastighet över 10 m/s över havsområdena runt Sveriges kust. Det är tydligt att inverkan av den drivande globala modellen är mycket stor då skillnaderna mellan de båda RCAO-H-simuleringarna och de båda RCAO-E-simuleringarna inbördes är relativt liten medan skillnaden mellan de två drivarna är stor. RCA3-E5-A1B ligger närmare RCAO-H-simuleringarna med en relativ måttlig ökning. I alla RCAO-scenarier syns en ökning i Bottenviken, den hänger samman med att det blir mindre havsis där i scenarierna och därigenom mindre stabila förhållanden i lägre atmosfären vilket gynnar högre vindhastigheter. RCAO inkluderar en havsmodell för Östersjön och representerar därför temperatur- och isförhållanden bättre än RCA3 som inte har en havsmodell utan tar dessa parametrar direkt från den globala modellen. Med en havsmodell kopplad till RCA3 skulle ökningen över Bottenviken, Bottenhavet och Finska Viken vara något större än vad som visas längst till höger i Figur 1.

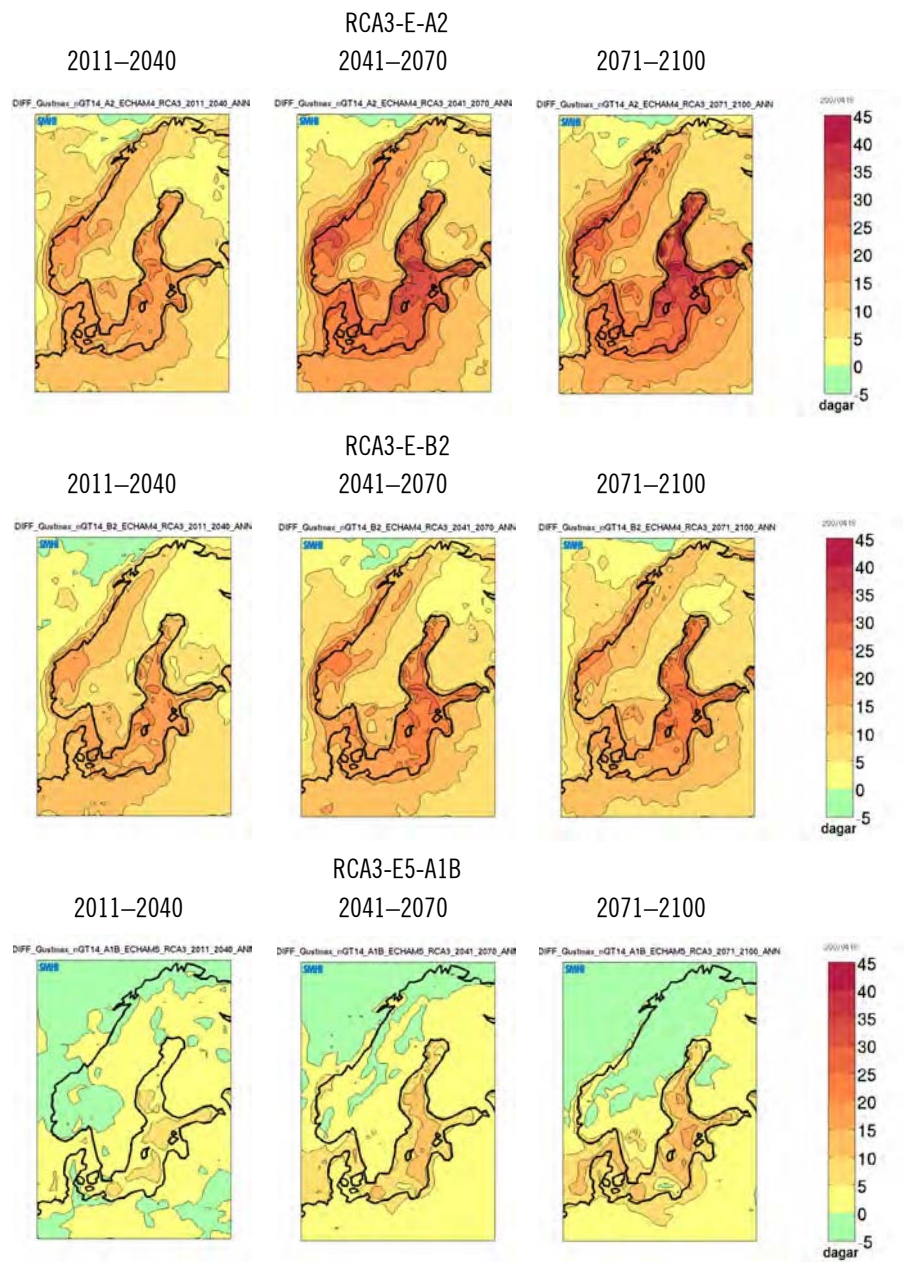
Figur 1 Förändring i antal dagar per år då medelvinden överstiger 10 m/s

Ökningen i antalet dagar med vind över 10 m/s är allt emellan någon/några dagar uppemot en månad i det blåsigaste scenariet. Resultaten är liknande för gränsvärde 14 m/s men ökningen i absoluta tal är mindre. Detta hänger samman med att modellen underskattar antalet dagar med höga vindhastigheter (Meier et al., 2006) och man skall därför ta värdena i Figur 1 som en indikation på åt vilket håll förändringen går åt och inte ta fasta på de absoluta värdena.

Förändring i byvindar

Figur 2 visar hur förändringen i antalet dagar med byvindar starkare än 14 m/s förändras för tre olika perioder jämfört med kontrollperioden (1961–1990). I alla fallen sker en gradvis ökning i antalet dagar med blåsiga förhållanden så att den största ökningen syns i slutet av seklet. Liksom för medelvinden sker den största ökningen i RCAO-E-A2-simuleringen där antalet dagar med byvind över 14 m/s ökar med mer än en månad per år i stora delar av Östersjön. Även i de två andra scenarierna är ökningen störst över Östersjön. Liksom för medelvindsförändring ses att osäkerheten som beror på vilken global modell som använts (här ECHAM4 eller ECHAM5) spelar större roll än utsläppsscenariet (utsläppen i A1B är större än i B2 men mindre än i A2). För antalet dagar med byvindar över 10 m/s är mönstret likartat fast ökningen är ytterligare något större, särskilt över land (visas ej).

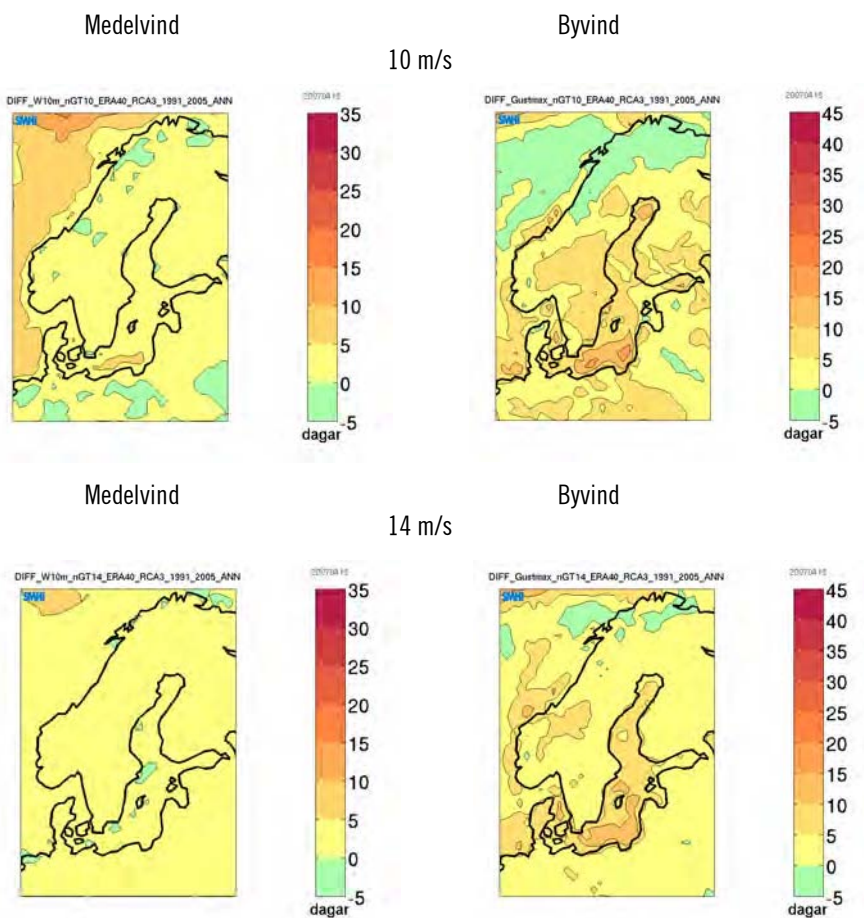
Figur 2 Förändring i antal dagar med byvindar överstigande 14 m/s för tre lika scenarier och tre olika tidsperioder.



Förändringar i vindklimatet de senaste 15 åren

Figur 3 visar hur frekvenserna av dagar med medelvind och byvind över 10 respektive 14 m/s ändrats mellan referensperioden (1961–1990) och den senaste 15-årsperioden (1991–2005). Både för medelvind och byvind syns en viss ökning främst över havsområdena med den största ökningen över Södra Östersjön. Ökningen i byvind är i paritet med den förändring som ses i de olika framtida perioderna i RCA3-E5-A1B (Figur 2).

Figur 3 Förändring i antal dagar med medelvind och byvind överstigande 10 respektive 14 m/s för referensperioden (1961–1990) och den senaste 15-årsperioden (1991–2005).

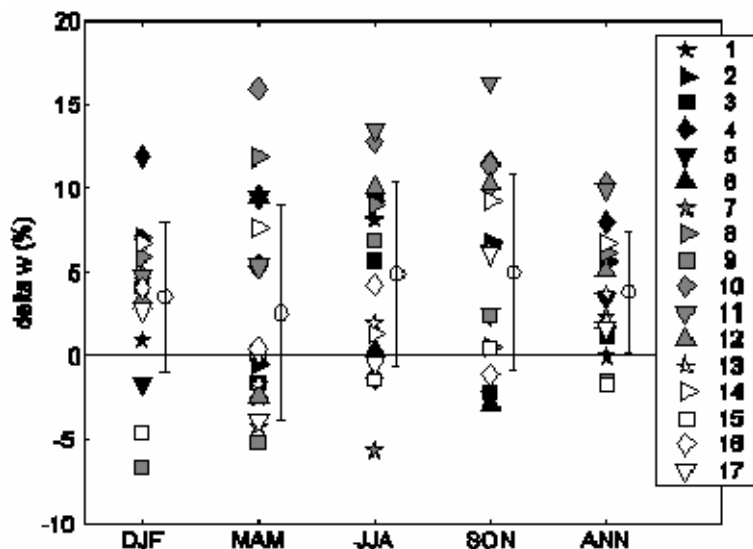


Sammanfattning och diskussion

Resultaten av den här studien, och tidigare arbeten, visar på mycket stora skillnader i det framtida vindklimatet beroende på vilken global modell som används för att ge randvillkor till den regionala modellen. I ett fall (med HadAM3 på ränderna) är de framtida förändringarna i vindhastighet mycket små, i ett annat måttliga (ECHAM5) och i ytterligare ett annat (ECHAM4) stora med uppemot ytterligare en månad per år med blåsiga förhållanden (dagar med medelvind eller byvind över 10 m/s). Ett generellt drag i alla scenarierna är att de största vindökningarna förväntas över hav (både Östersjön och Nordsjön).

De scenarier som presenteras representerar ett litet urval av alla möjliga framtidsscenarier. Figur 4 visar på hur 17 olika globala modeller simulerar förändring i vindhastighet över Östersjön vid fördubblad koldioxidhalt i atmosfären jämfört med ett referensklimat. Figuren visar tydligt på en stor spridning mellan modellerna med i vissa fall ökad och i andra fall minskad vindhastighet i medeltal.

Figur 4 Beräknad förändring av den geostrofiska² vinden i Östersjöregionen efter en fördubbling i atmosfärens halt av växthusgaser. De olika symbolerna representerar olika globala klimatmodeller. Ringen och den vertikala linjen visar på medelvärde och standardavvikelse baserat på de 17 olika modellerna. ANN står för årsmedelvärde, DJF står för december, januari och februari osv. Från Chen och Aschberger (2006).



Baserat på de data från globala klimatmodeller som visas i Figur 4 är det mycket svårt att säga något entydigt om framtidens vindklimat i Svenska farvatten. En viss övervikt av modellerna visar på en ökning av vindhastigheten under alla säsongerna men ökningen är signifikant ur ett statistiskt perspektiv (om man använder en standardavvikelse som mått). Framtidsscenarierna med RCAO, som inkluderar en bra representation av Östersjöns isförhållanden, gör det ändå troligare att vindhastigheterna ökar än att de minskar. Detta är då pga. ändrade stabilitetsförhållanden i atmosfären då det blir mindre is på havet.

² Med geostrofisk vind menas den vindhastighet som råder då det är balans mellan den av jordrotationen orsakade corioliskraften och den kraft som beror på horisontella tryckskillnader.

Referenser

- Chen, D and C. Aschberger, 2006. Past and future atmospheric circulation over the Baltic region based on observations, reanalysis and GCM simulations. Research report C74, Earth Science Centre, Göteborg university
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén U. and Wyser, K., 2005. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3). Reports Meteorology and Climatology, 108, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, 54 pp.
- Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Meier, H.E.M., Andréasson, J., Broman, B. Graham, L.P., Kjellström, E., Persson, G., and Viehhauser, M., 2006: Scenarios of wind, sea level, waves and river discharge in the Baltic Sea and Lake Mälaren Region – a dynamical downscaling approach from global to local scales. Reports Meteorology and Climatology, 109, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, 52 pp.
- Nakićenović, N., Alcamo, J., Davis, G., de Vries, B., Fenhann, J., Gaffin, S., Gregory, K., Grübler, A., et al., 2000. Emission scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 599 pp.

- Persson, G., Barring, L., Kjellström, E., Rummukainen, M., Strandberg, G., 2007. Climate indices as basis for vulnerability studies. Reports Meteorology and Climatology, 1XX, SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, (in preparation).
- Pryor, S.P., Barthelmie, R.J. & Kjellström, E. 2005. Analyses of the potential climate change impact on wind energy resources in northern Europe using output from a Regional Climate Model. *Climate Dynamics*, 25(7–8), 815–835.
- Räisänen, J., Hansson, U., Ullerstig, A., Döscher, R., Graham, L.P., Jones, C., Meier, M., Samuelsson, P. and Willén, U. 2003. *GCM driven simulations of recent and future climate with the Rossby Centre coupled atmosphere – Baltic Sea regional climate model RCAO*, SMHI Reports Meteorology and Climatology 101, SMHI, SE 60176 Norrköping, Sweden, 61pp.
- Räisänen, J., U. Hansson, A. Ullerstig, R. Döscher, L.P. Graham, C. Jones, H.E.M. Meier, P. Samuelsson, U. Willén, 2004. European climate in the late 21st century: regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Clim. Dyn.*, 22, 13–31.
- Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Rennäringen

Underlagsrapport, Klimat- och sårbarhetsutredningen, 2007

Innehåll

1	Dagsläget	5
2	Effekter till följd av ett förändrat klimat.....	7
3	Möjliga anpassningsåtgärder.....	16

1 Dagsläget

Renskötseln viktigt ur lokalt och kulturellt perspektiv

Samerna intar genom sin status som urfolk en särställning i Sverige. Samerna har eget språk, egen kultur och eget samhälls- och näringsliv. Renskötselrätten är i Sverige förbehållen samerna och grundar sig på urminnes hävd. Renskötselrätten är av avgörande betydelse för bevarandet av den samiska kulturen. Det finns cirka 3 500 renägande samer och drygt 900 renskötselföretag i Sverige. Därutöver finns det ungefär 1 000 personer, med icke-samisk härkomst, som främst har renar i landets koncessionssamebyar. Sammanlagt finns cirka 230 000 renar i Sverige men antalet varierar betydligt mellan åren (Moen & Danell, 2003). Rennäringens ekonomiska omfattning är i relation till Sveriges totala ekonomi liten. Den är dock viktig för den lokala ekonomin i glesbefolkade områden i Norrlands inland och fjälltrakter. Rennäringen skapar också förutsättningar för annan näringsverksamhet t.ex. i transportföretag och verkstäder liksom för samhällsservice som förskolor, skolor och sjukvårdsinrättningar.

Renens årstidsbundna vandringar och födosök samt renskötselns sårbarhet för extremt väder

Renen lever naturligt i hjordar. På våren/försommaren föds kalvarna. Under sommaren bygger renarna upp kroppens reserver med fett. De lever då mest på gräs och örter som finns i fjällen. Renarna uppehåller sig sommartid gärna i högre terräng (på kalfjället) eller på snölegor för att få svalka och skydd mot insekter. På vintern betar renarna i huvudsak lav, främst markväxande renlavar, som växer i skogsområdena i inlandet och ned mot kusten. Vid svåra betesförhållanden är tillgången på hänglavar ett viktigt komplement. Stödutfodring kan fordras vid svåra betesförhållanden till följd av is och skare. Den renstam som finns i Sverige är domesticerad, men mycket av dess ursprungliga livsmönster finns kvar. Renhjordarna förflyttas mellan sommar- och vinterbetesmarkerna. Förflyttningarna sker längs älvdalarna. Utökad infrastruktur, annan markanvändning, tät oröjd ungskog och svåra snö- och isförhållanden kan utgöra problem vid förflyttningarna. Under det att renen betar rör den sig över stora ytor för att hitta de växter som är mest lämpade som föda.

Lagstiftning kring renskötseln

Rennäringen regleras i rennäringslagen från 1971 (SFS 1971:437) jämte vissa andra lagar och förordningar. Renskötsel får enligt denna lag utövas av personer som är medlemmar i samebyar. Samebyar är såväl juridiska personer som ett särskilt bestämt betesområde som också omfattar mark med olika ägare.

Renskötsel utövas efter renens behov under olika tider av året genom att vissa marker – enkelt beskrivit de som är belägna inåt landet – får användas året runt, medan andra – belägna nedåt svenska kusten – endast är tillåtna att begagnas för renbete under vintertiden, den 1 oktober–30 april. De samebyar som flyttar renarna från fjällområdet ned mot skogs- och kustlandet brukar benämnas fjällsamebyar medan skogssamebyar flyttar efter samma mönster men då inom områden som inte är lika vidsträckta. I tidigare lagstiftning skilde man på skogs- och fjällsamebyar men nuvarande rennäringslag innehåller gemensamma bestämmelser för dessa typer av samebyar. En särskild juridisk form av renskötsel är den som bedrivs med tillstånd, koncession, inom vissa områden nedanför lappmarksgränsen i Norrbottens län. Koncessionsrenskötseln innebär att den same som fått tillståndet och är medlem i sameby får driva renskötsel även med renar som ägs av andra, främst fastighetsägare inom koncessionsområdet.

Rennäringen bedrivs i Sverige i stort sett i hela Norrbotten, Västerbotten och Jämtlands län samt i delar av Dalarnas och Västernorrlands län. Renskötselområdet utgör omkring en tredjedel av Sveriges yta (Gränsdragningskommissionen). Rätten att bedriva renskötsel är en grundlagskyddad civil rättighet på motsvarande sätt som äganderätt. På en och samma egendom kan bedrivas olika sorters näringar och verksamheter. Egendomen belastas således av rättigheter i olika skikt. Renskötselrätten bygger ytterst på historiska förhållanden; den rättsliga grunden har i lag beskrivits som *urminnes hävd*. Samhället och näringslivet har genomgått stora förändringar sedan de första lagarna antogs men den huvudsakliga systematiken i denna lagstiftning är oförändrad. Rennäringslagen är således uppbyggd på ett sådant sätt att den stundtals avviker från gängse systematik inom rättsordningen. Konstruktionen gör att tillämpningssvårigheter kan uppstå i flera avseenden. En sådan svårighet är att det inte inom alla områden är fastslaget var renskötselrätten får utövas vintertid. Otydligheten har i flera fall gett upphov till tvister, som drivits till domstol av markägare som yrkat få fast-

ställt att betesrätt inte föreligger på deras fastigheter. Otydligheten leder också till osäkerhet kring rennäringens framtida villkor.

Gränsdragningskommissionen (SOU 2006:14), vilken hade i uppdrag att kartlägga den yttre och inre gränsen för renskötselområdet, presenterade ett förslag till ett svenskt utrednings- och medlingsinstitut. Anledningen till detta är att det, som ovan nämns, under senare år förekommit flera processer om samernas markrättigheter. I de fall domstolarna gjort en sakprövning har denna föregåtts av en synnerligen långvarig handläggning och de utrednings- och rättegångskostnader som belastat parterna i målen har blivit betydande. I några fall har dock laga kraftäggande domstolsavgöranden kommit till stånd utan att domstolen gjort någon prövning i sak, något som i samtliga fall berott på att man från samernas sida inte ansett sig ha ekonomiska möjligheter att gå i svaromål. Gränsdragningskommissionen ansåg med anledning av ovanstående att staten bör verka för att konflikter om samernas markrättigheter i första hand bör lösas avtalsvägen, i samförstånd mellan sakägarna.

Rennäringspolitiken var vid tiden för 1971 års rennärlags tillkomst fokuserad enbart på rennäringen och genomsyrades av ett tidstypiskt rationaliseringstänkande. Det ansågs finnas ett behov av att effektivisera näringen, att förstärka inkomsterna inom den liksom att utjämna inkomsterna mellan olika renägare. För att åstadkomma detta försökte man uppnå en mera rationell företagsstruktur inom samebyn genom att stödja en utveckling mot färre och större företag där renskötaren och hans familj skulle kunna försörja sig på inkomsterna från renskötsel-företaget. Vidare främjades olika åtgärder för att mekanisera driften och därmed minska arbetskrävsbehovet. På senare år har detta synsätt kritiserats från utgångspunkten att de sameer som arbetar inom renskötseln blir för få för att vara ett underlag för en levande kulturutveckling med renskötseln som grund och att mekaniseringen är kostsam att bära för den enskilde renägaren samt medför en ökad påfrestning på miljön och miljömålet en storslagen fjällmiljö.

2 Effekter till följd av ett förändrat klimat

Klimatförändringarna kommer påverka förutsättningarna för att bedriva renskötsel. Såväl sommarbetet, vinterbetet som förflyttningsmöjligheterna kommer att förändras. Dagens markanvändningskonflikter riskerar att förvärras.

Inledningsvis bättre fjällbete/sommarbete

Till de positiva effekterna av de klimatförändringar utredningen studerat hör att växtproduktionen under barmarkstiden (sommarbetet) kan öka med 20 till 40 procent och vegetationsperioden kommer att förlängas. Mot slutet av seklet kan förlängningen av vegetationsperioden bli upp till 2–3 månader (Danell, 2007; Moen, 2006). Förlängningen av sommarsäsongen är positiv för renarna. Sommarbetet är näringsrikare än vinterbetet och det är under denna säsong som renen bygger upp sina reserver av fett och protein inför vintern. Vajor (honrenar) i god kondition föder också kalvar i god kondition, vilket i sin tur ger en bättre återväxt och bättre slaktvolym. Förekomst av små träd, örter och gräs förväntas öka, vilket är positivt för renen då det innebär en ökad tillgång på föda. För fjällmiljön nya växtarter kan också komma att etablera sig. Högre temperaturer och ökad näringsomsättning hos växterna kan leda till en ökad förekomst av buskar på skyddade platser och mer gräs på mer utsatta platser i fjällen (Moen, 2006). En varmare klimat kan leda till att mängden tillgängliga näringsämnen, särskilt kvävehalten, i fjällen ökar. Detta kan få långtgående effekter då de svenska fjällen domineras av kvävefattiga ekosystem. En ökad kvävehalt kan missgynna växter med långsam tillväxt och låg konkurrensförmåga, t.ex. lavar och mossor, medan växter med snabb tillväxt och vegetativ förökning, t.ex. gräs- och starrarter, kan gynnas (Moen, 2006; Uusitalo, 2005; Sonsson & Lilliesköld 2000). Beteskvalitén är viktig för renens tillväxt och välbefinnande. Det är dock oklart hur denna kommer att påverkas i ett förändrat klimat (Arvidsjaur, 2007; Danell, 2007; Moen, 2006). Överlag är fjällfloran relativt robust mot miljöförändringar och har en stor buffertförmåga. Ifall denna buffertförmåga överskrids finns det dock risk för abrupta och omfattande förändringar i fjällfloran (Moen, 2006). Det finns redan indikationer på att stora förändringar skett.

Till de negativa effekterna som framför allt kan bli problematiska på längre sikt hör att kalfjällsarealerna förväntas krympa, vilket kommer öka betestrycket i fjällen om nuvarande renbestånd bibehålls. Särskilt utsatta torde de södra delarna av fjällkedjan vara. Samtidigt kan ett högt betestryck eventuellt motverka en igenväxning av kalfjällen. De förväntade högre temperaturerna sommartid kan innebära problem för renarna, då dessa inte trivs i värme.

Mer insekter och risk för mer sjukdomar

Ett förändrat klimat med högre temperaturer och ökad nederbörd kan allvarligt förvärra insektsplågan t.ex. från nässvalgkorm (*Cephenemyia trompe*) och renstyng (*Hypoderma tarandi*) (Danell, 2007; Moen, 2006). De värsta insektssituationerna uppstår vid värme och fukt, förhållanden som tenderar att bli vanligare enligt klimatscenarierna. Insekter stör renens betesro och begränsar den tid renen kan ägna åt födointag och att bygga upp sina fettreserver. Enligt vissa undersökningar kan renen ägna 70 procent av dagen åt födointag när förekomsten av insekter (nässvalgkorm) är begränsad. Dagar då förekomsten av insekter är riklig kan renen ägna mindre än 10 procent av tiden åt födointag och måste röra på sig 40 procent av dagen (Hagemoen & Reimers 2002). Undersökningar i Finland visar på ett samband mellan varma somrar med fler insekter och lägre slaktvikt på hösten för renkalvar (Gunn & Skogland 1996). Då renkalvarna står för cirka 60 procent av renköttproduktionen, skulle en minskning av kalvarnas slaktvikt få allvarliga ekonomiska konsekvenser för rennäringen (Jonsson, 2005; Uusitalo, 2005). Insektsplågan kan dessutom bli svårare för renarna att undkomma i takt med krympande kalfjällsmiljöer och färre snölegor. Förekomsten av parasiter, bl.a. bindvävsmask och hjärnhinnemask, kan öka till följd av en högre temperatur. Det finns även risk för att nya parasiter och sjukdomar introduceras. Renarnas relativa isolering från andra däggdjur gör att de har en dålig resistens mot nya sjukdomar. Det finns risk för att varje enskilt djur kommer att behöva behandlas mot sjukdomar och/eller parasiter, vilket knappast är praktiskt genomförbart (Arvidsjaur, 2007).

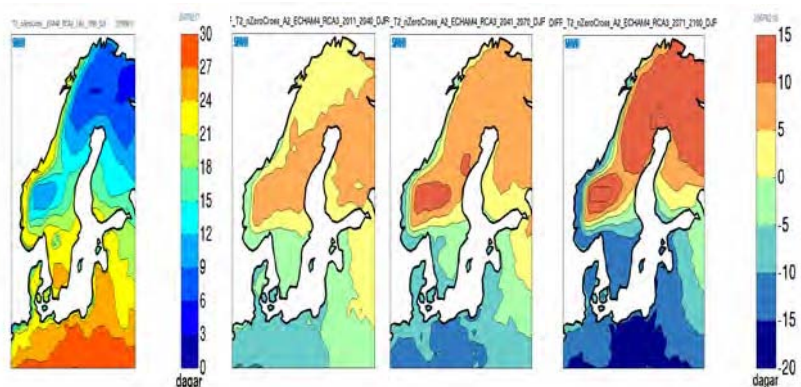
Det är svårt att förutspå vilka samlade effekter ett förändrat klimat kommer innebära för sommarbetet/fjällbetet. Å ena sidan innebär en längre vegetationsperiod och ökad växtproduktion att renens sommarbetestid förlängs och den ges möjlighet att bygga upp större kroppsreserver för vintersäsongen. Å andra sida kan en förvärrad insektsplåga innebära att renens betesro kraftigt försämras och den totala effektiva betestiden minskar. Förekomsten av parasiter kan också öka till följd av en högre temperatur.

Svårare skogsbete/vinterbete

Till de positiva effekterna hör att ett varmare klimat kan innebära 2–3 månader kortare vintrar. Kortare vintrar innebär således bättre möjligheter för renen att bevara kroppens reserver fram till kalvningen (Arvidsjaur, 2007; Moen, 2006).

Till de negativa effekterna hör att vintrarna enligt klimatscenarierna kommer bli varmare och blötare. Risken för svåra snöförhållanden med is och skare som är mycket svår genomträngliga för renen när den letar föda ser ut att öka då mängden regn vintertid ökar enligt scenarierna samtidigt som temperaturen oftare kommer växla mellan plus- och minusgrader. Norrlands kustområden kan dock bli snöfria under längre perioder även under högvintern. En ökad förekomst av is och skare innebär att renen får ett sämre vinterbete och i större utsträckning måste använda sig av de under sommarbetet uppbyggda kroppsreserverna med nedsatt kondition som följd (Moen, 2006). De problematiska förhållanden som rått i stora delar av renbetesområdet under vintern 2006–2007 riskerar alltså att bli vanligare. Ett mått på risken för sådana situationer är att antalet dagar med nollgenomgångar (perioder då temperaturen stiger från minusgrader till plusgrader eller sjunker från plusgrader till minusgrader).

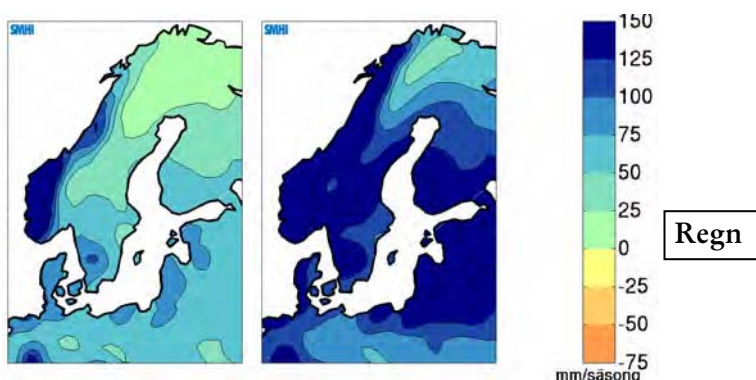
Förändring i antal dygn som temperaturen på 2m nivå varit både över och under 0 °C, för tidsperioderna 2011–2040, 2041–2070, 2071–2100 relativt 1961–1990 (ECHAM A2/RCA3)



I dagens klimat (1961–1990) sker detta under ca 5 dygn under vintern (dec–feb) i inre Lappland och upp till ca 10–15 dygn i Väster-

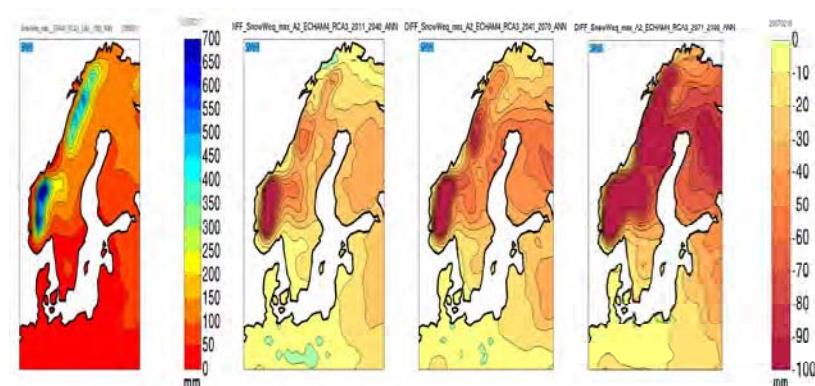
botten och i Västra Jämtland. Enligt klimatscenerierna ökar antalet med ca 5 dygn till 2020-talet och med upp till omkring 10 mot slutet av seklet i stora delar av renbetsområdet i ECHAMs A2 scenario. Enligt B2 scenariot blir ökningen nästan lika stor, men i Hadleys modell är ökningarna mindre. En annan klimatparameter som utredningen studerat är mängden nederbörd i form av snö respektive regn under vinterperioden. Här sker också en tydlig ökning av mängden nederbörd som regn vintertid i hela renbetesområdet. Ökningen är 25–50 mm till 2020-talet med de största ökningarna i södra norrland. Mot slutet av seklet (2080-talet) är ökningen över 100 mm utom i inre Lappland där den stannar kring ca 50 mm. Denna ökning av nederbörd som regn talar också för en väsentligt ökad risk för is- och skarbildning under högvintern.

Förändringar av nederbördsmängder i form av regn under vintermånaderna (dec–feb) till 2020-talet respektive 2080-talet



Samtidigt kommer snötäckets maximala tjocklek att minska, framför allt i kustnära områden. Enligt A2 scenariot kan det maximala snötäcket ett normalår komma att uppgå till motsvarande betydligt mindre än 50 mm vattenvärde (ungefär samma värde i cm snötäcke) i stora delar av kustområdena i norra Norrland i slutet av seklet. I inlandet skulle trots allt något mer snö finnas. Detta skulle kunna innebära att långa perioder blir mer eller mindre snöfria i kustregionen och skulle kunna leda till ett ökat tryck på bete i kustregionerna vid i övrigt svåra betesförhållanden.

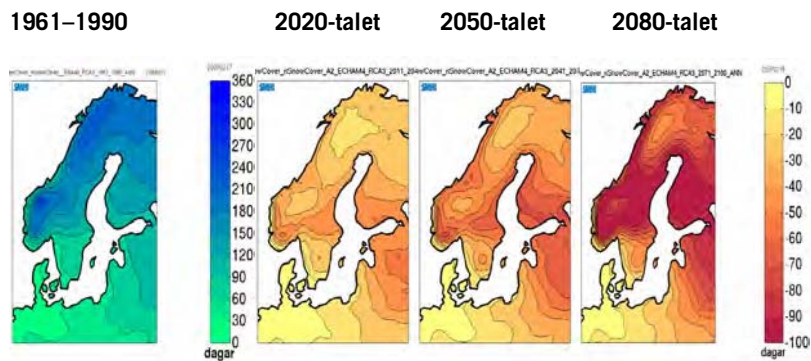
Förändring i snöns vatteninnehåll, maxivärde under året, för tidsperioderna 2011–2040, 2041–2070, 2071–2100 relativt 1961–1990 (ECHAM A2/RCA3)



Enligt Hadleys modell är minskningen av maximalt snötäckte i den inre delen av norrland inte så stor medan minskningen vid kusten är betydande även här.

Även längden på snösäsongen kommer att minska. Det är fråga om en minskning med några veckor till 2020-talet i Lappland, lite mer i kustområdena. Till 2050-talet är minskningen upp till nära 2 månader i Västerbottens kustland och i slutet av seklet är minskningen 3–4 månader här och ca 2 månader i Lappland (något mindre i B2 scenariot).

Snötäckte (antal dagar med snötäckt mark), ECHAM, RCA3 Scenario A2



Observationer från Fennoskandia, Ryssland samt Svalbard visar på ett samband mellan vintrar med svåra snöförhållanden och kraftiga nedgångar i renpopulationens storlek (Callaghan et al., 2004). Svåra snöförhållanden innebär att de dräktiga vajorna måste använda en större del av sitt kropps-förråd för sin egen överlevnad på fostrets bekostnad. Följden blir att renkalvens födelsevikt blir lägre vilket minskar kalvens möjlighet att överleva (Uusitalo, 2005). Svåra snöförhållanden kan innebära att man i ökad utsträckning måste stödutfodra renarna för att undvika minskade renpopulationer. Stödutfodring är kostsamt. Det kan kosta cirka 4 kronor per dag och ren eller 2 000 kr/dag för en renhjord på 500 renar. För en ägare av en renhjord på 500 renar, med en omsättning på kanske 400 000–500 000 kr/år (SSR, 2005), blir ekonomin snabbt ansträngd vid längre perioder av stödutfodring. I regeringens budget finns ett anslag (45:1 Främjande av rennäring m.m.) på 46,7 miljoner kronor för stöd till främjande av rennäringen som bl.a. skall täcka prisstöd vid slakt och kostnader vid stödutfodring. De svåra snöförhållandena vintern 2006/2007 medförde att anslaget behövde tillföras 37 miljoner kronor till följd av omfattande stödutfodring.

Sammantaget är det svårt att kvantitativt uppskatta effekterna av ett förändrat klimat för vinterbetet/skogsbetet och på rennäringen. Å ena sidan kommer vintrarna antagligen bli kortare, vilket är positivt då vintern är den svåraste säsongen för renen. Ett kortare vinterbete kan samtidigt innebära att renen stannar längre på sommarbete/fjällbete och därmed utsätter dessa betesmarker för ett större betestryck. Å andra sidan kommer vintrarna att bli blötare och varmare, vilket innebär en ökad risk för svåra snöförhållanden (is och skare). Ett sämre vinterbete kan allvarligt påverka renens överlevnadsmöjligheter och kan innebära minskade renpopulationer. Stödutfodring är mycket kostsamt och ökade behov av stödutfodring skulle allvarligt anstränga rennäringens ekonomi. Klimatförändringarna kommer dessutom påverka olika geografiska områden olika.

Förflyttning mellan sommar och vinterbete

Ökad nederbörd kan få negativa konsekvenser då möjligheterna att förflytta renarna försämras vid höga vattenflöden (Arvidsjaur, 2007). Det är kanske särskilt renarnas möjligheter att förflytta sig

från sommarbete till vinterbete som kan komma att försämrats. Renflyttningslederna går ofta över istäckta vattendrag men mildare vintrar, med tunnare isar och kortare perioder då vattendragen är isbelagda, kan innebära att dessa leder inte längre är farbara. Alternativa transportleder t. ex. genom skog mellan sommar- och vinterbete kan bli nödvändiga. Det kan också bli aktuellt att i ökad utsträckning förflytta renarna med lastbil. En sådan utveckling skulle också innebära ökade kostnader för rennäringen (Arvidsjaur, 2007).

Intressekonflikter rörande markanvändning

Klimatförändringarna kommer tillsammans med den socioekonomiska utvecklingen med en trolig framtida utbyggnad av infrastruktur, ökande turism m.m. att med stor sannolikhet öka risken för markkonflikter. I ett framtida klimat kommer också möjligheterna att bedriva skogsbruk antagligen att förskjutas norrut och högre upp i fjällregionen samtidigt som tillväxten kommer att öka kraftigt i inlandet och i kustregionerna (se bilaga 19). Därmed är det sannolikt att skogsbruket kan komma att intensifieras i renbetesområdet. Detta kan öka risken för konflikter med rennäringen. Idag använda skogsskötselmetoder står ibland i konflikt med rennäringens intressen. Markberedning och gödsling påverkar markfloran och minskar ofta tillgången på renlav. Hur föryngringsavverkningar sker har också betydelse för betesmöjligheterna. Vid avverkning sker en kraftig förändring av markfloran och tillgången på renlav minskar ofta radikalt. Av vikt för renbetesmöjligheterna är att det inom respektive renbetesområde finns marker som är lämpliga för renbete. Oröjda ungskogar utgör ett hinder för renarna vid förflyttningar. Idag ska, enligt Skogsvårdslagens § 20, samråd mellan skogsägare och rennäring ske kring skogsskötselåtgärder i renbetesområdenas året-runt-marker. Denna dialog är viktig men omfattar inte vinterbetesmarkerna och inte alltid alla problemställningar. Rennäringen är inte alltid tillfredsställd med den dialog som sker (Arvidsjaur, 2007). Enligt renägare vore en skonsammare markberedning (fläckvis markberedning), bättre planerade avverkningar (med sparade ytor inom respektive renskötselområde, ökad ungskogsrojning och ökad hänsyn till de viktigaste renbetesområdena vid gödsling viktiga inslag för att främja renbetet i skogsområdena i kust- och inlandet. Skonsammare markbered-

ningsmetoder är dock ofta mer kostsamma än andra metoder och används inte i dagsläget i någon större utsträckning. Kostnaderna kan även i övrigt öka i skogsbruket om ett ökat hänsynstagande till renbetet ska ske. Ett första steg bör vara en breddning av kraven på samråd.

Turism är en annan näringsgren som ibland hamnar i konflikt med rennärningen. Minskade kalfjällsområden kan särskilt på längre sikt innebära att turism såväl som rennäring kommer att koncentreras till de fjällområden som finns kvar med potentiellt ökad risk för intressekonflikter. Turismindustrin verkar redan i dagsläget, i vissa fall, störande på rennärningen. Arrangörer av hundspannsfärder, skoterutflykter, småviltsjakt och vissa former av äventyrsturism tar i dagsläget inte alltid hänsyn till renarnas behov av betesro och stör rennärningens verksamhet. Sådana turismaktiviteter bedrivs ofta med hänvisning till allemansrätten och lyder i många fall inte under något särskilt regelverk, vilket begränsar möjligheterna att motverka störande element. Förbudet för samebyar att driva annan verksamhet än rennäring förhindrar samebyarna att få inflytande över hur turismindustrin utvecklas (Arvidsjaur, 2007). Det vore önskvärt med ett ökat hänsynstagande till rennärningen från delar av turismnäringens sida. Här bör en dialog mellan företrädare för respektive branscher också komma till stand.

Det finns även en risk för markanvändningskonflikter mellan rennäring och gruvdrift, vindkraft, rymdverksamhet, och militärövningar. Ett varmare klimat som gynnar jordbruk i norra Sverige kan också bli en källa till ökade markanvändningskonflikter. Ny beteskonkurrens om sommarbetet kan också uppstå med t.ex. rådjur. En ökning av rådjursstammen och andra bytesdjur kan i sin tur öka förekomsten av rovdjur. En sådan ökning kan också bli effekten av mer skogsklädda fjäll (Arvidsjaur, 2007). Ett hot mot rennärningen och särskilt möjligheterna till förflyttning av renar och vinterbetet är också den ökade fragmenteringen av markerna pga. utbyggnad av infrastruktur och en befolkningsökning i delar av norra Norrland (Arvidsjaur, 2007). Ett utökat hänsynstagande till rennärningens intressen i ett förändrat klimat kan behövas vid planering av infrastruktur, gruvverksamhet och övriga ovan nämnda verksamheter.

Sammanfattning

Klimatförändringarna kommer att påverka förutsättningarna för att bedriva rennäring i Sverige. Klimatförändringarna kommer påverka sommarbete såväl som vinterbete. Vissa av klimatförändringarna kommer vara positiva för rennäringen, andra kommer vara negativa. Det är i nuläget mycket svårt att avgöra huruvida de aggregerade klimatförändringarna kommer vara positiva eller negativa, men man kan förutsätta att rennäringen kommer att behöva flexibla lösningar i en ökad utsträckning i ett förändrat klimat. Till renens fördel talar att det är ett anpassningsbart djur som klarar av vitt skilda levnadsomständigheter. Renen har ett cirkumpolärt utbredningsområde som omfattar habitat från havsnivån till höga bergstrakter. Renen är kräsen vad gäller beteskvalitet men är flexibel i val av foderväxter. Det kommer således med största sannolikhet även i ett förändrat klimat finnas naturliga förutsättningar för att bedriva rennäring i Sverige. Ett förändrat klimat kommer med stor sannolikhet att öka frekvensen av markkonflikter mellan rennäringen och andra intressen (särskilt skogsbruk och turism). Det finns en stor risk att antalet ärenden som kommer behöva dras inför domstol kommer att öka.

3 Möjliga anpassningsåtgärder

Rennäringen är nationalekonomiskt inte av någon större vikt, men har desto större betydelse för den lokala ekonomin i extrem glesbygd. Samerna och rennäringen tillför kultur och miljövärden vilka är svåra att omsätta i ekonomiska termer. Rennäringspolitiken bör utformas så att den skapar förutsättningar för en hållbar och livskraftig rennäring i ett förändrat klimat.

Skogsbruk påverkar förutsättningarna att bedriva renskötsel i renskötselområdet. I ett framtida klimat kommer skogsbruket att expandera och intensifieras. Samtidigt kan klimatförändringarna komma att verka mot en ökad koncentration av renar till vissa områden (särskilt nära kusten) under svåra betesår. Därmed ökar risken för konflikter med rennäringen. Skogsbrukets hänsyn till rennäringen bör vidareutvecklas. Det finns allt att döma ett antal åtgärder som kan vidtas till låga kostnader eller som t.o.m. är lönsamma. Exempel på sådana åtgärder är ökad röjning, skonsammare markberedning samt utökade hänsyn vid avverkning av torra tall-

marker med stor andel renlav i markvegetationen. Vidare skulle ökat uttag av biobränsle också gynna framkomligheten för renarna vid förflyttningar. Skogsstyrelsen bör få i uppdrag att tillsammans med Sametinget identifiera essentiella vinterbetesområden där t.ex. skonsammare markberedning skall användas. Utgångspunkt bör det material om olika områdens beteskvalitet som länsstyrelserna har tagit fram. Skogsstyrelsen och Sametinget bör även analysera och ge förslag på andra åtgärder vilka möjliggör ett undvikande av intressekonflikt mellan skogs- och rennäring. Dessutom bör kraven på samråd enligt 20 § i Skogsvårdslagen utökas till samtliga av Gränsdragningskommissionen (2006:14) identifierade renbetesmarker.

Turismindustrin verkar i dagsläget i vissa fall störande på rennäringen. I ett framtida klimat kommer dessa konflikter antagligen att accentueras då rennäring och turism konkurrerar om krympande fjällområden. Det bör finnas förutsättningar för rennäringen att verka tillsammans med turismindustrin så länge man visar ömsesidig hänsyn. Viss reglering av turismverksamhet i för rennäringen känsliga områden kan bli nödvändig eller att samerna ges utökade möjligheter att påverka hur turismen utformas i dessa områden. Det finns ett behov av utvecklade samrådsformer. Länsstyrelserna i Norrlandslänen bör i samråd med Nutek och Sametinget ges i uppdrag att utveckla former för sådana samråd. Samerna skall ha förutsättningar att utveckla och upprätthålla den samiska kulturen, ett samiskt samhälls- och näringsliv, med renskötselrätten som grund. Med renskötsel som bas skulle samebyarna kunna ges utrymme att bedriva andra verksamheter vilka är förenliga med rennäringen och samisk kultur. Exempel på sådana verksamheter är: turism och naturförvaltning. Medel för att uppnå detta mål kan vara att samiskt näringsliv kan bedrivas på samma villkor som annat näringsliv, t.ex. genom att förbudet för samebyn att bedriva annan verksamhet än renskötsel tas bort. Detta föreslås av ”En ny rennäringspolitik – öppna samebyar och samverkan med andra markanvändare (2001:101) och förslaget bereds f.n. i Regeringskansliet.

Vid byggandet av framtida infrastruktur, bör utökade hänsyn tas till rennäringens intressen. Särskilt bör vid planeringen av infrastruktur och andra anläggningar beaktas att rennäringens traditionella flyttningsleder kan bli svåra att utnyttja i ett förändrat klimat. Rennäringen kan komma att behöva finna alternativa flyttningsleder, i en del fall på områden där man tidigare inte har behövt ta

hänsyn till rennäringsmarken. Framtida infrastrukturlösningar bör utformas så att renarnas framkomlighet garanteras. I största möjliga mån bör framtida infrastrukturbyggnationer följa existerande infrastruktur för att därmed begränsa exploaterandet av renskötselmark.

Rennäringsmarkens förändrade förutsättningar i ett framtida klimat ställer ökade krav på flexibilitet. Tidsperioden, i dagsläget den 1 oktober till den 30 april, då mark belägen nedåt svenska kusten får begagnas för vinterbete kan i framtiden behöva anpassas efter en kortare vintersäsong. En sådan anpassning skulle kunna tänkas göra markägare mer välvilligt inställda till andra föreslagna anpassningsåtgärder.

Nuvarande rennäringsmarks utformning kan ge upphov till omfattande och kostnadskrävande domstolsprocesser vid markkonflikter. En viktig anledning till detta är att lagregleringen i många avseenden framstår som föråldrad. Gränsdragningskommissionen ansåg utifrån detta att konflikter om samernas markrättigheter i första hand bör lösas avtalsvägen i samförstånd mellan sakägarna. Ett framtida klimat med svårare snöförhållanden kommer ställa än högre krav på flexibla lösningar, dvs. i ett framtida klimat kommer kanske andra vinterbetesmarker än de som nyttjas idag att vara av intresse för rennäringsmarken. Genom att ge renägarna möjlighet att välja vinterbetesmark med hänsyn till renens behov, och inte i första hand med hänsyn till var renbetesrätt fastslagits, ger man rennäringsmarken möjlighet att välja de vinterbetesmarker vilka är lämpligast det aktuella året. År då det visar sig att de bäst lämpade vinterbetesmarkerna helt eller delvis är privata marker utan renbetesrätt kan renbetesavtal tecknas, där den privata markägaren erhåller kompensation. Anslaget för stöd till främjande av rennäringsmarken bör kunna användas också till att finansiera avtalslösningar med markägare. Genom att teckna avtalslösningar ad hoc, där man finner lämpliga vinterbetesmarker med hänsyn till det aktuella årets särskilda omständigheter, begränsar man möjligen behovet av kostsam stödutfodring. Med hänsyn till att svåra snöförhållanden förväntas bli vanligare i ett framtida klimat och att omfattande stödutfodring, motsvarande vad som krävdes vintern 2006/2007, riskerar att bli regel snarare än undantag ifall inte åtgärder vidtas, anser vi att avtalslösningar ad hoc framstår som mest ändamålsenliga.

Referenser

- Arthur D. Little, 2005 Konsultstudie: "Studie kring den begränsade förekomsten av renkött i svensk dagligvaruhandel"
- Arvidsjaur. Underlagsmaterial seminarium 22–23 mars 2007
- Callaghan, T.V., Björn, L.O., Chernov, Y., Chapin., Christensen, T.R., Huntley, B.; Ims, R.A., Johansson., Jolly, D. Jonasson, S., Matveyeva, N., Panikov, N., Oechel, W., Shaver, G. Elster, J., Jónsdóttir, I.S., Laine, K., Taulavuori, K. Taulavuori, E. & Zöckler, C. 2004. Climate change and UV-B impacts on arctic tundra and polar desert ecosystems. Responses to projected changes in climate and UV-B at the species level.
- Danell, Öje, 2007. Presentationsmaterial: "Rennäring och annan markanvändning"
- Hagemoen, R.I and Reimers, E. 2002. Reindeer summer activity pattern in relation to weather and insect harassment. – *Journal of Animal Ecology* 71 : 883–892.
- Jonsson, R. 2005. Norrbottensfjällen: Sápmi – samernas land. Länsstyrelsen i Norrbottens län
- Keskitalo, Carina, H. 2007. Social Multi-Level Vulnerability Assessment: Examples from Northern Europe
- Moen, Jon. 2006. Climate change, reindeer, and forage: effects on the ecological basis for reindeer husbandry.
- Moen, J. and Danell, Ö. 2003. Reindeer in the Swedish Mountains: An Assessment of Grazing Impacts. *Ambio* 32
- SOU 2001:101 "En ny rennäringsspolitik – öppna samebyar och samverkan med andra markanvändare"
- SOU 2005:166 "Jakt och fiske i samverkan"
- SOU 2006:14 "Samernas sedvanemarker"
- Uusitalo, Roger Carl Axel. 2005. Master's thesis in biology "Klimatets betydelse för djur- och växtliv, renskötsel samt turism i Abisko-fjällen"