

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 åtgärdsförslag	
Arbetsgruppen 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**

Klimatförändringarnas inverkan på drivning och logistik i skogsbruket



Skogsforsk
Johan Sunesson, Isabelle Bergkvist, Gert Andersson,
Magnus Thor

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen,
2007-04-27

Innehåll

Sammanfattning	5
Bakgrund.....	7
Syfte	8
Scenarier.....	8
Avverkning och terrängtransport	9
Transporter på skogsbrukets vägar och det allmänna vägnätet	13
Behov av forskning och utveckling	21
Litteratur.....	21
Personliga meddelanden	22
Bilaga 1 – CTI, Central Tire Inflation	22

Sammanfattning

Scenarierna för framtidens klimat beskriver en utveckling mot mildare vintrar och mer nederbörd än i dag. Mindre tjäle och ökad markfuktighet kan leda till problem både i avverkningsarbete och virkestransporter, med ökade kostnader för skogsbruket och risk för störningar i skogsindustrins råvaruförsörjning som följd.

För att möjliggöra en uppskattning av effekterna av ett förändrat framtida klimat på skogsbrukets drivning och logistik måste de aktuella klimatscenarierna omsättas i ett eller flera scenarier för tjälens förekomst och egenskaper.

Trots svårigheterna att förutsäga framtidens tjälförhållanden har vi varit tvungna att göra vissa antaganden för att kunna genomföra denna studie. Vi har utarbetat två scenarios, ett för skogsmark och ett för vägar.

Vårt scenario för tjälperiodens längd i skogsmark redovisas i tabell 1.

Figur 1 Tjälperioden längd i skogsmark (dagar), scenario

År	Götaland	Svealand	S. Norrland	N. Norrland
1975	60	100	160	170
2025	20	60	120	140
2050	0	30	100	120

Vårt scenario för klimatpåverkan av vägarna år 2025–2050 kan sammanfattas:

- Götaland och Svealand: större nederbördsmängder höst och vinter, ingen stabil vinter med tjälade vägkroppar, ett tillstånd som kan liknas med "ständig tjällossning" under vinterhalvåret.
- Norrland, blötare höstar, flera intjältnings- och urtjältningsperioder, därefter en kortare vinterperiod med tjälade vägkroppar, tidigare och svårare tjällossning p.g.a. större nederbördsmängder.

En mycket begränsad andel av drivningen kommer att kunna genomföras på tjälad mark, och då främst i norra Sverige. Studier har dock visat att det inte i första hand är beståndets bärighet som påverkar åtkomsten av virket utan snarare hur beståndet är

utformat samt statusen på skogsbilvägen. Kortare perioder med tjälad mark kommer sannolikt att medföra fler körskador.

Det finns metoder att helt eller delvis undvika körskador i bestånden. Vid överfarter över vattendrag ska mobila broar användas. På övrig mark med sämre bärighet finns olika tekniska hjälpmedel som t.ex. risning, kavelbroar och markskonare. Att utrusta maskinerna med miljöband och bredare däck, alternativt variabelt lufttryck är också effektiva metoder att minska marktryck och risk för markkompaktering.

Merkostnaden för anpassning till fuktigare och varmare klimat i avverkningsarbetet uppskattas till mellan 5 och 10 kr per m³fub eller 500–1000 miljoner kr.

Den minskade tillgängligheten på råvara och bristande standard på de statliga vägarna orsakar skogsnäringen redan idag stora kostnader. Tidigare analyser (Skogforsk, 1994 och 1999) av skogsnäringens kostnader för bristande vägstandard i det allmänna vägnätet visade på en total årlig kostnad på ca 750 respektive 900 miljoner kr per år eller 15,3–16,9 kr/m³fub. I kostnaderna ingick både direkta transportkostnader och lagerkostnader.

Vi antar i denna utredning att skogsbruket för att klara industriförsörjningen i vårt framtida scenario avsevärt måste öka virkeslagren vid bäriga vägar. Inte minst då instabila vintrar med svårare tjällossning och större nederbörsmängder under höst och vår skapar stora variationer mellan åren varvid säkerhetsmarginalen i planeringen måste öka.

Antaget en lagerökning med 50–100 % jämfört med 1994 och 1999 års utredningar skulle detta motsvara en kostnad på ca 24–32 kr/m³fub i dagens penningvärde för ökade transport- och lagerkostnader. För en avverkningsvolym på 100 miljoner m³fub en total kostnad för skogsindustrin på 2400–3200 miljoner kronor. Kostnaden är en ökning jämfört med dagens nivå med ca 8–16 kr/m³fub.

Sammantaget visar denna begränsade analys att en framtida klimatförändring enligt scenario A2 översatt till skogliga förutsättningar för avverkning, terrängtransport och vidaretransport i det enskilda och allmänna vägnätet kan leda till stora krav på insatser för att klara försörjningen av en alltmer krävande skogsindustri avseende leverans av specificerad råvara i ett förutbestämt flöde. För att klara denna uppgift på ett kostnadseffektivt sätt finns ett behov av insatser i forskning och utveckling av både besluts-

stödssystem och tekniska lösningar för såväl avverkningsmaskiner och lastbilar som vägkonstruktion.

Den sammantagna kostnadsökningen skattas till 13–26 kr per m³fub eller 1,3–2,6 miljarder kronor per år vid en avverkningsnivå på 100 miljoner m³fub per år. Till detta kommer ytterligare kostnader bl.a. för att större insatser krävs för att planera avverknings- och transportarbetet. Vid stora variationer mellan veckor, månader och år kommer det dessutom bli svårt att nyttja kvalificerade beslutsstöd för resursallokering (t.ex. flödesplanering, daglig transportplanering av lastbilstransporterna och turordningsplanering av avverkningsresurserna) vilket leder till stora inoptimalförluster.

Bakgrund

Scenarierna för framtidens klimat beskriver en utveckling mot mildare vintrar och mer nederbörd än i dag. Mindre tjäle och ökad markfuktighet kan leda till problem både i avverkningsarbete och virkestransporter, med ökade kostnader för skogsbruket och risk för störningar i skogsindustrins råvaruförsörjning som följd.

I avverkningsplaneringen klassar man idag vissa områden som s.k. "vintertrakter", vilket innebär att man behöver tjälad mark för att klara avverkning utan oacceptabla markskador. I ett klimat med kortare tidsperioder med tjälad mark alternativt endast sporadiska tjälepisoder uppstår problem för skogsbruket med kostnader för ojämn resursallokering eller skadeförebyggande åtgärder. Vissa skogsområden, t.ex. myrholmar, är dessutom tekniskt svåra eller omöjliga att nå utan tjäle.

Ökande bärighetsproblem i vägnätet förorsakar redan idag stora problem med virkesflödena främst under våren, när tjälen går ur marken och under höstarnas regn. Vissa vägavsnitt klarar inte tunga transporter över huvud taget, medan andra riskerar att bli kraftigt skadade med stora upprustningskostnader som följd. Vägverket begränsar därför på dessa vägavsnitt transporterna genom olika viktsbegränsningar vilket diskvalificerar skogstransporter på dessa vägar. Även det enskilda vägnätet begränsas kraftigt under tjällossningen med nedsatt framkomlighet som följd.

Minskad tillgänglighet på råvara och bristande standard på de statliga vägarna och minskat farbarhet på de enskilda vägarna orsakar skogsnäringen kostnader. Kostnaderna är kopplade både till det lager man måste bygga upp för att klara försörjningen av sin

industri under vårperioden, och till direkta ökningar av transportkostnaderna till följd av bristande vägstandard.

Utvecklingen av svensk skogsindustri bygger allt tydligare på en kontinuerlig försörjning av kundanpassad råvara med hög kvalitet. Utvecklingen går mot allt högre kvalitetskrav samtidigt med en högre grad av uppdelning av råvaran i flera, produktspecifika sortiment. Denna trend mot högre kvalitetskrav och ökad differentiering av råvaruflödena ställer nya, tuffare krav på råvarans tillgänglighet och ökar därmed behovet av att kunna nå avverkade volymer under hela året. Kraven på bärighet på både de statliga och enskilda vägarna hamnar därför i fokus.

Det statliga vägnätet utgör den enda länken mellan skogsbrukets egna vägar och industrin och således är skogsindustrins konkurrenskraft och fortsatta utveckling helt beroende av en god standard på det statliga vägnätet. Skogsindustrin kan således inte säkerställa en kontinuerlig råvaruförsörjning enbart genom att förbättra de egna vägarna.

Syfte

Att utifrån scenarier för framtida klimat analysera sannolika effekter på avverkning och logistik i skogsbruket. Att kvantifiera kostnaderna för de viktigaste effekterna samt beskriva aktuella motåtgärder. Kostnaderna för motåtgärder skall uppskattas och kostnadseffektiviteten i olika typer av åtgärder bedömas.

Scenarier

För att möjliggöra en uppskattning av effekterna av ett förändrat framtida klimat på skogsbrukets drivning och logistik måste de aktuella klimatscenerierna omsättas i ett eller flera scenarier för tjälens förekomst och egenskaper. Det finns idag inga tjälscenarier för framtiden, delvis för att tjälbildnings- och tjällossningsförloppen är mycket komplexa. De påverkas förutom av temperatur även av snötäcke, jordart, vegetation och markfuktighet.

Trots svårigheterna att förutsäga framtidens tjälförhållanden har vi varit tvungna att göra vissa antaganden för att kunna genomföra denna studie. Vi har utarbetat två scenarios, ett för skogsmark och ett för vägar. Dessa har baserats på klimatsceneriet ECHAM A2

och förändringar i variablerna nederbörd, dygnsmedeltemperatur, snötäcket varaktighet och vegetationsperiodens längd. Dessutom har vi vägt in resultat från de vetenskapliga och relevanta studier vi funnit (Venäläinen 2001, Mellander et al. 2005) och haft diskussioner med Mikael Ottosson-Löfvenius vid SLU och David Gustavsson vid KTH.

Avverkning och terrängtransport

SCENARIO FÖR SKOGSMARK

Tjäl förekomsten i skogsmark är en synnerligen komplex variabel. Snötäcke, humustäcke, bestånd, markfuktighet mm har stor betydelse, varför variationen oftast är stor, både spatialt och mellan år. Generellt gäller dock att minusgrader behövs för att tjälbildning skall påbörjas och tjällossningen börjar fört när snötäcket försvinner och går då ofta mycket fort. Det finns därför en rationalitet i att omsätta klimatscenarier i tjälscenarier. Vårt scenario för tjälperiodens längd redovisas i tabell 1.

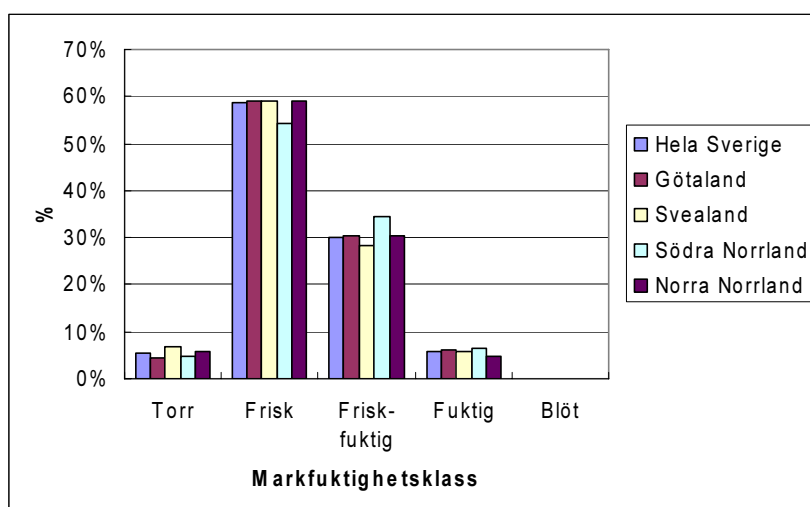
Tabell 1 Tjälperioden längd i skogsmark (dagar), scenario

År	Götaland	Svealand	S. Norrland	N. Norrland
1975	60	100	160	170
2025	20	60	120	140
2050	0	30	100	120

DRIVNING

Drivning – dvs. avverkning och terrängtransport – sker på ca 150 000 slutavverknings och gallringstrakter per år. Enligt statistik från riksskogstaxeringen samt erfarenhet från skogsföretag utförs ca 35% av dessa på mark med sämre bärighet (figur 1).

Figur 1 Fördelning av skogsmarken på fuktighetsklasser. Data från riks-skogstaxeringens tillfälliga ytor 1993–2001



Antaganden som tidigare redovisats i denna rapport visar att en mycket begränsad andel av drivningen kommer att kunna genomföras på tjälad mark, och då främst i norra Sverige. Studier har dock visat att det inte i första hand är beståndets bärighet som påverkar åtkomsten av virket utan snarare hur beståndet är utformat samt statusen på skogsbilvägen (Staland mfl 2002 a och b). Kortare perioder med tjälad mark kommer sannolikt att medföra fler körsador. Körsador i bestånden kan delas in i två olika klasser:

- Körsador i eller i nära kontakt med rinnande vatten -Drivning ska alltid undvikas i rinnande vatten oavsett om marken är tjälad eller ej. Mobila broar ska användas vid tvingande överfarter
- Körsador i beståndet utan kontakt med rinnande vatten - Dessa skador är främst kosmetiska men kan till stor del undvikas genom att utnyttja tekniska hjälpmedel.

Studier på Skogforsk har dessutom visat att en stor del av markskadorna i bestånden kan undvikas genom en noggrannare planering av avverkningstrakterna (Staland mfl 2002 b). Dessa studier

visade att det fanns ett antal beståndsfaktorer som bidrog till att bestånden kunde avverkas utan större markpåverkan även under perioder med blöt väderlek trots att bestånden klassats med dålig bärighet;

- Väg tangerar avverkningstrakten vilket ger korta skotningsavstånd, flera utskotningsvägar och möjlighet till flera avlägg.
- Små avverkningsobjekt innebär små volymer att skota och därigenom färre skador
- Bestånd utan flaskhalsar där allt virke måste skotas ut över ett känsligt område, t.ex ett smalt område mellan två vattendrag eller liknande
- Dela bestånd om möjligt och skota ut åt två håll om beståndet korsas av ett vattendrag eller smalt område med känslig mark.
- Använd tekniska hjälpmedel

Det finns alltså metoder att helt eller delvis undvika körskador i bestånden. Vid överfarter över vattendrag ska mobila broar användas. På övrig mark med sämre bärighet finns olika tekniska hjälpmedel som t.ex. risning, kavelbroar och markskonare. Att utrusta maskinerna med miljöband och bredare däck, alternativt variabelt lufttryck är också effektiva metoder att minska marktryck och risk för markkompaktering.

Tabell 2 Uppskattade kostnader för några olika åtgärder som kan minska skadorna på mark och vatten. Uppgifterna baseras på Staland och Larsson (2002)

Åtgärd	Kostnad	Enhet	Förutsättningar för kalkylerna
Mobil bro för längre överfarter (Trä, betong, plast, aluminium mm)	10000–50000	SEK	Praktisk längd: ca 5 m
Byta till bredare däck på skotaren	3000 9000	SEK/däck + fälg (merkostnad)	700 mm däcksbredd jfr 600 mm 800 mm jfr 600 mm
Använda miljöband till skotaren	60 000	SEK/par	
Skydda marken vid dålig bärighet:			Praktisk längd:
Risning	Tidsåtgång för skotaren	SEK/m	max 10 m
Kavelbro	140	SEK/par	max ca 40 m
Markskonare	1600–2400	SEK	max 30 m (3 m vid dikesöverfart)
Träbro	10000–20000		2–5 m

Ett större uttag av skogsbränsle som en följd av behovet av att minska oljeberoendet innebär att man inte kan använda grenar och toppar som underlag för skördaren vid avverkning. Materialet i skogsbränslesortimentet måste vara fritt från föroreningar och risning av mark med sämre bärighet omöjliggörs därmed. Det naturligaste sättet att ersätta risningsåtgärden borde vara utnyttjandet av markskonare som kan plockas med efter avslutad avverkning och återanvändas. Alternativt minskar den tillgängliga mängden skogsbränsle. Skulle samtliga avverkningslag utrustas med tekniska hjälpmedel i syfte att minimera körskador kan nedanstående kostnader antas.

Tabell 3 Kostnader för tekniska hjälpmedel förutsatt en årlig avverkning på 100 000 000 m³fub utfört av 1500 avverkningslag (1 skördare och 1,5 skotare)

Hjälpmedel	Antal	Kostnad	SUMMA
Mobil bro	1 per avverkningslag	25 000 * 1500	0,37 kr/m ³ fub
Miljöband	1 par per skotare	60 000 * 2250	1,35 kr/ m ³ fub
Markskonare	10 par per lag	20 000 * 1500	0,3 kr/m ³ fub
Merkostnad			Ca 2 kr/m ³ fub

AVVERKNINGPLANERING

Redan idag drabbas skogsbruket av inoptimalförluster i den skogliga planeringen till följd av väder, svängningar i efterfrågan samt plötsligt ändrade förutsättningar som skadeangrepp och stormfällningar. Dessa förluster är svåra att beräkna och varierar mellan kategorier. Skogsägareföreningar och köpsågverk har t ex mycket kortare planeringshorisont till följd av en mindre traktbank än t ex skogsföretag med eget skogsinnehav. Det är mycket svårt att skatta kostnader bl.a. för att det är svårt att förutspå hur de framtida tekniksystemen för avverkning kommer att se ut.

MERKOSTNAD FÖR DRIVNING OCH PLANERING

Med en kostnad på ca 2 kr per m³fub för att utrusta avverkningslagen med teknisk utrustning samt kostnader för hantering av utrustningen, fördyrad traktplanering och inoptimalförluster i operativ planering så uppskattar vi merkostnaden till mellan 5 och 10 kr per m³fub

Transporter på skogsbrukets vägar och det allmänna vägnätet

SCENARIO FÖR VÄGAR

Tjälförekomst i vägar kan i viss mån anses enklare att prognostisera eftersom man kan bortse från snötäckets isolerande inverkan, förutom i de fall då igensnöade skogsbilvägar öppnas under vintern. Det gör att tjälbildningen är mer direkt korrelerad med lufttemperatur. Dessutom är vägarna mer homogena till sin "markstruktur"

än skogsmarken. Det som gör väg-scenariot svårt är att de tider som vägarna ej är farbara, d.v.s. tjällossning och kraftiga regnperioder under hösten, är relativt korta men mycket kostsamma att hantera i virkeslogistiken.

I områden där man även i ett framtida varmare klimat kan förvänta sig en distinkt vinter med ett varaktigt snötäcke så kan man förvänta sig ett tjällossningsförlopp som i allt väsentligt liknar dagens. Det som möjligen talar för något större problem är de ökade nederbördsmängder i oktober-december som scenarierna beskriver. Detta torde innebära att vägarna oftare än idag är mättade med vatten när tjälen bildas, vilket i sin tur leder till kraftigare effekter av tjällossningen.

I Götaland och Svealand kan man förvänta sig framtida vintrar som består av episoder av snötäcke och kyla omväxlande med milda perioder med snösmältning, regn och tjällossning. Detta torde innebära avsevärt längre perioder då vägarna ej är tillförlitliga jämfört med idag.

En tredje faktor som kommer att minska vägnätets tillgänglighet är de ökade regnmängder som beskrivs i klimatscenerierna framförallt för oktober-december. Milda höstar med mycket regn som liknar hösten 2006 torde bli vanligare, och vi har ju färsk erfarenhet av vilka konsekvenser på virkesförsörjningen detta kan innebära.

Vårt scenario för klimatpåverkan av vägarna år 2025–2050 kan sammanfattas:

- Götaland och Svealand: större nederbördsmängder höst och vinter, ingen stabil vinter med tjälade vägkroppar, ett tillstånd som kan liknas med "ständig tjällossning" under vinterhalvåret.
- Norrland, blötare höstar, flera intjälnings- och urtjälningsperioder, därefter en kortare vinterperiod med tjälade vägkroppar, tidigare och svårare tjällossning p.g.a. större nederbördsmängder.

SKOGSNÄRINGEN UTNYTTJAR HELA VÄGNÄTET

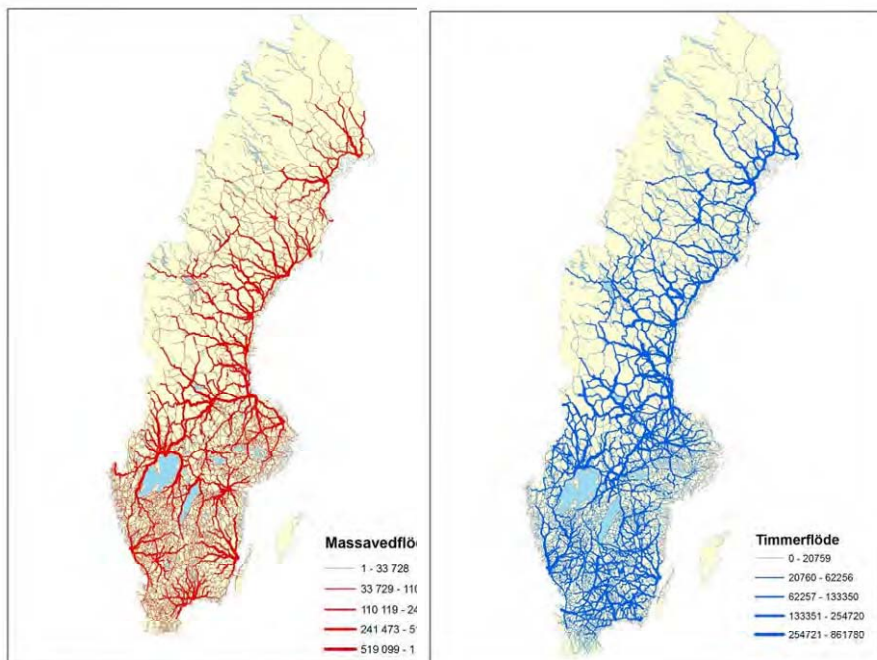
Skogsnäringen står för ca 25 % av landsvägstransporterna i Sverige enligt SCB. Rundvirkestransporterna utgör ca 12 % av transportarbetet. Transportkostnaderna för rundvirke utgör ca 25 % av kostnaderna för virket fritt industri

Skogforsk har analyserat de flesta virkestransaktioner som utfördes under 2004 avseende rundvirke, sågade trävaror, skogsenergi, cellulosaflis och övriga biprodukter från sågverk. Syftet med analysen vara att med hög detaljeringsgrad kartlägga skogsbrukets och delar av skogsindustrin godsflöden.

Analysen bekräftar ett känt faktum nämligen att mängden rundvirkestransporter är betydligt större än vad SCBs statistik visar. SCB redovisar transport av ca 40 miljoner ton rundvirke. Vårt material från SDC innehåller drygt 61 miljoner ton.

Analysen visar också att hela det allmänna vägnätet utnyttjas för skogsindustrins transporter, även de mest perifera vägarna. Vilken vägtyp eller vägklass som används i en region beror framförallt på i hur stor utsträckning olika vägtyper förekommer och hur industrierna är placerade.

Figur 2 Timmer och massavedsflöden i Sverige 2004



TRANSPORTER PÅ SKOGBILVÄGAR

I vårt framtidsscenario antas bärighetsproblemen i vägnätet öka jämfört med idag. För att motverka detta skissar vi på två motåtgärder för att klara transporterna på skogsbilvägnätet:

- Förbättring av befintliga vägar med lägst en klass eller nybyggnation av skogsbilvägar till aktuella avverkningstrakter.
- Utrusta fler virkesbilar med CTI (Central Tire Inflation, se bilaga 1).

Figur 3 Virkesfordon utrustat med CTI – Central Tire Inflation, vid Skogforsks implementeringsstudie av tekniken



Tabellen nedan är ett försök att skatta kostnaden för en anpassning till blötare väderlek. Uppskattningsvis skulle ca 70% av all vidaretransport påverkas av blötare väderlek (i medel 8 av 12 månader om året).

Tabell 4 **Kostnad om 70% av skogsbilvägar skulle förbättras eller nyproduceras och 70% av virkesbilarna skulle utrustas med CTI. Kostnaden är utslagen på 70% av en avverkningsvolym på 100 000 000 m³fub**

Åtgärd	Antal enheter	Kostnad per enhet	SUMMA
Förbättring av skogsbilvägar	100 000 trakter, 50 m skogsbilväg/trakt	20 kr/m	1,5 kr/m ³ fub
CTI utrustning	1400 lastbilar	100 000 kr/bil	2 kr/m ³ fub

I norra Sverige skapas ofta vintervägar över sjöar, vattendrag och myrar vilket möjliggör lastbilstransport av virke från öar och myrholmar som ej är åtkomliga med vare sig lastbilar eller avverkningsmaskiner utan tjäle. Med en kortare tjälperiod blir denna typ av transportlösningar svårare att genomföra och innebär en ökad ekonomisk risk. Detta ställer högre krav på planering och logistik för att kunna genomföras i framtiden. Ett alternativ är att bygga permanenta skogsbilvägar över myrar och runt sjöar samt broar över vattendrag. Det finns alltså lösningar även på dessa transportproblem, men givetvis till en kostnad som är svår att uppskatta men ofta hög.

SKOGSBRUKETS KOSTNADER FÖR BÄRIGHETSBEGRÄNSNINGAR I DET ALLMÄNNA VÄGNÄTET

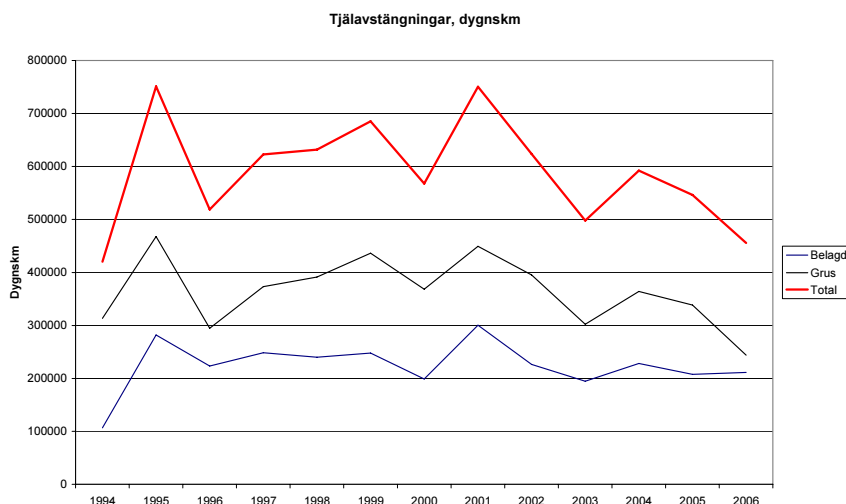
Det statliga vägnätet utgör den enda länken mellan skogsbrukets egna vägar och industrin och således är skogsindustrins konkurrenskraft och fortsatta utveckling helt beroende av en god standard på det statliga vägnätet. Skogsindustrin kan således inte säkerställa en kontinuerlig råvaruförsörjning enbart genom att förbättra de egna vägarna. Detta gäller även de volymer som transporteras på järnväg eller med båt eftersom första delen av transporten i regel sker med lastbil.

Bärighetsproblem i samband med skogstransporter förorsakar stora problem med virkesflödena främst under våren, när tjälen går ur marken och under höstarnas regn. Vissa vägavsnitt klarar inte tunga transporter över huvud taget, medan andra riskerar att bli kraftigt skadade med stora upprustningskostnader som följd. Vägverket begränsar därför på dessa vägavsnitt transporterna genom olika viktsbegränsningar, exv. 4 ton totalvikt eller ett maximalt

axeltryck på 8 ton/boggitryck på 12 ton. Detta diskvalificerar skogstransporter på dessa vägar.

Vägverkets statistik för tjälavstängningarnas uttryckt som dygnskm (dygn x km) redovisas i figur 4 nedan.

Figur 4 Begränsningar i det allmänna vägnätet, nedsatt framkomlighet, dygnskm



Källa: Vägverket.

Över tiden har policies för tjälavstängningarna förändras. Idag söker Vägverkets regioner i större omfattning begränsa avstängningstiden för vägarna och också i dialog med transportföretagen finns lösningar även under tjällossningen, t.ex. möjligheter att köra på avstängda vägar nattetid, så länge vägen bär. Förändrad policy är troligen den största förklaringen till minskningen av tjälavstängningar över tiden, inte förbättrad vägkvalitet.

Den minskade tillgängligheten på råvara och bristande standard på de statliga vägarna orsakar skogsnäringen kostnader. Tidigare analyser (Skogforsk, 1994 och 1999) av skogsnäringens kostnader för bristande vägstandard i det allmänna vägnätet visade på en total årlig kostnad på ca 750 respektive 900 miljoner kr per år eller 13,4–15,3 kr/m³fub.

Ovanstående kostnaderna grundar sig på en beräkningsmodell där hänsyn tas till *direkta transportkostnader* och *lagerkostnader*.

De *direkta transportkostnaderna* orsakas av att transportkapaciteten inte kan utnyttjas fullt ut då lastbilarna måste gå med reducerad last, samt att en ojämn vägbana medför ett ökat slitage på fordon och en ökad tidsåtgång för transport.

Lagerkostnaderna är kopplade till det lager som byggs upp under vinterhalvåret för att säkerställa industrins behov av råvara under den tid då många vägar är bärighetsbegränsade. Detta lager medför en rad kostnader.

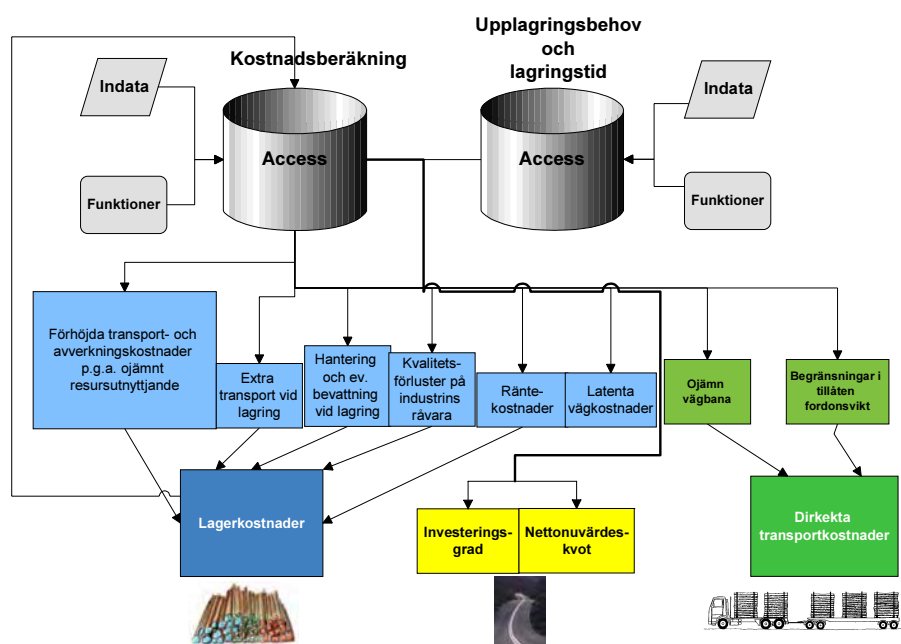
De direkta transportkostnaderna beror på:

- Begränsningar i tillåten fordonsvikt
- Ojämn vägbana

Lagerkostnaderna omfattar:

- Förhöjda transport och avverkningskostnader p.g.a. ett ojämnt resursutnyttjande
- Extra transport vid lagring
- Hantering och eventuell bevattning vid lagring
- Kvalitetskostnader, som består av processkostnad för kvalitetsbrister på industrins råvara samt direkt prispåverkande effekt på industrins produkter (marknadseffekt)
- Räntekostnader

Figur 5 Modell för beräkning av kostnader för bristande bärighet i vägnätet, Skogforsk arbetsrapport nr 439, 1999



Avverkningsnivån har sedan utredningarna 1994 och 1999 ökat 15–20 %, från 55,9 respektive 58,7 miljoner m³fub till 70,1 miljoner m³fub 2004. Med ökade avverkningsvolymerna ökar också kostnaderna för begränsningar i vägnätet. För ett framtida scenario ca 30 år framåt antas avverkningsvolymerna ökat ytterligare till ca 100 miljoner m³fub per år.

Skogsindustrins kostnader för begränsningar i det allmänna vägnätet uppgick enligt 1994 och 1999 års utredningar till 15–17 kr/m³fub i dagens penningvärde.

Vi antar att skogsbruket för att klara industriförsörjningen måste i vårt framtida scenario avsevärt måste öka virkeslagren vid bäriga vägar. Inte minst då instabila vintrar med svårare tjällossning och större nederbörmängder under höst och vår skapar stora variationer mellan åren varvid säkerhetsmarginalen i planeringen måste öka.

Antaget en lagerökning med 50–100 % jämfört med 1994 och 1999 års utredningar skulle detta motsvara en kostnad på ca 24–36 kr/m³fub i dagens penningvärde. För en avverkningsvolym på

100 miljoner m³fub en total kostnad för skogsindustrin på 2400–3600 miljoner kronor.

De skattade kostnaderna baseras på fördjupade studier gjorda 1994 och 1999. För att bättre kunna skatta skogsbrukets kostnader för begränsningar i det allmänna vägnätet idag och i en nära framtid skulle en förnyad fördjupad studie vara önskvärt. I en framtid med ett ständigt föränderligt klimat skulle det dessutom vara värdefullt med återkommande konsekvensanalyser.

Behov av forskning och utveckling

Med anledning av våra resultat bedömer vi att det finns ett behov av följande insatser:

- Utveckling av avverkningsmaskiner med lägre marktryck och/eller kostnadseffektiva hjälpmedel för att minska markskador.
- Nya flexibla beslutsstödssystem för taktisk och operativ planering i skogsbruket.
- Teknisk utveckling av lastbilar för att minska vägskador och/eller möjliggöra transport på dåliga vägar
- Utveckling av ny teknik för konstruktion av skogsbilvägar som ger ökad bärighet med kostnadseffektiva metoder
- Förbättrade beslutsstödssystem för optimering av virkeslogistik där stor vikt läggs vid flexibilitet inför ett föränderligt klimat

Litteratur

”Skatt på väg SOU 2004:63”. Slutbetänkande från Vägtrafikskatteutredningen.

Arvidsson, P. & Holmgren, M. 1999. Vägstandardens inverkan på skogsnäringens transportarbete och försörjning av högkvalitativa råvaror, Skogforsk Arbetsrapport 433.

Arvidsson, P.-Å., Holmgren, M. 1999. Modell för beräkning av kostnader orsakade av bristande bärighet i vägnätet, Skogforsk, Arbetsrapport 439.

- Bjurulf, A. & Normark, U. 1994. Vägstandardens inverkan på skogsnäringens råvara, SkogForsk, Stencil 1994–05.
- Brunberg, T. 2006. Skogsbrukets kostnader och intäkter.
- Ekstrand, M., Löfroth, C. & Andersson, G. 2005. Fördjupad analys av utredningen om konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63), Skogforsk, Arbetsrapport 595.
- Jansson, H & Staland, F. 2002. Avverkningstrakter för tjällossningen, mer än bara skogsmarkens bärighet., Resultat nr. 9.
- Granlund, P. 2005. CTI. (Arbetsrapport 587) Skogforsk.
- Löfroth, C., Ekstrand, M. & Rådström, L. 2005. Konsekvenser för skogsnäringen av Skatt på väg (SOU 2004:63), (Arbetsrapport 587) Skogforsk.
- Mellander, P-E., Laudon, H. & Ottosson Löfvenius, M. 2005. Snödjup och marktemperatur i norrländska skogar idag och om 100 år. Fakta Skog, nr 14. SLU
- Skogsstyrelsen. Skogsstatistisk årsbok 2006.
- Staland, F., Larsson, K. 2002. Bra planering och rätt teknik minskar risken för markskador. Skogforsk, Resultat nr. 4.
- Venäläinen, A. 2001. Klimatförändring på frusen grund. I: Expertstöd i klimatfrågan, årsrapport 2001. SWECLIM.

Personliga meddelanden

Mikaell Ottosson-Löfvenius. SLU (Klimat, och tjäle i skogsmark)

David Gustavsson, KTH (Tjälbildning och tjälperiodens längd)

Claes Löfroth, Skogforsk (Skattning av kostnader för utökande och upprustning av skogsbilvägsnätet)

Bilaga 1 – CTI, Central Tire Inflation

CTI – Central Tyre Inflation är ett system för att under färd kunna variera ett fordon's däcktryck. Med minskat däcktryck får man en ökad kontaktyta mellan däck och väg och därmed minskat marktryck. Det ger också en möjlighet att på bärighetsnedsatta vägar öka lastvikten.

Skogforsk tillsammans med ett antal skogsföretag, transportföretag, fordonstillverkare, Vägverket och andra organisationer

genomförde ett treårigt implementeringsprojekt där tolv virkesfordon utrustades med CTI-system. Fordonen följdes beträffande kostnader och funktionalitet. Därutöver genomfördes riktade studier och analyser av påverkan på väggkroppen, bränsleförbrukning, vibrationer och miljöpåverkan. Målsättningen var att samla tillräckligt beslutsunderlag för att eventuellt implementera CTI i större skala.

Kostnaden för ett CTI-system inklusive montering på rundvirkesfordon var 150–220 kkr. Reparationskostnader var 0,14 kr/km (0,01–0,58 kr/km). Tekniska utnyttjandegraden av CTI-systemet var i genomsnitt 95,5 %.

Det lägre marktrycket ger en påtagligt mindre påverkan nära vägytan (<200 mm). Längre ner i väggkroppen tar lastvikten överhand och skillnaden i vägpåverkan mellan olika däcktryck försvinner.

Visserligen ökar bränsleförbrukningen (l/km) marginellt vid lägre lufttryck, men detta har en försumbar (<1 %) inverkan. Per transporterad m³ rundvirke minskar i stället bränsleförbrukningen med CTI under förutsättning att fordonet kan köras fullastat på bärighetsnedsatta vägar. Samma effekt fås beträffande avgasemissioner. Fullt utnyttjat kan detta innebära en minskning från 100 till 50 µg NO_x per tonkm.

Förarkomforten förbättras med CTI genom att vibrationsnivån sjunker. Detta förklaras av att däckets inbyggda dämpning kan utnyttjas även när bilen är olastad. Vibrationerna minskade med ca 8 % för en hel vända.

Samlade erfarenheter från studier i Nordamerika och Sverige samt de praktiska lärdomarna från projektet visar att CTI är en teknik som kommer att ge en ökad tillgänglighet på både det allmänna och det privatägda vägnätet. Ett ökat utnyttjande av CTI kan underlätta åtkomst av virke under tjällossning samt minska kostnaderna för transporter på bärighetsnedsatta vägar. Projektresultaten pekar entydigt på att CTI kan implementeras i stor skala.

De huvudsakliga för- och nackdelar som framkommit i projektet listas i tabellen nedan.

Tabell För och nackdelar med CTI-teknik.

Fördelar	Nackdelar
Minskade kostnader för lagerhållning.	Extra investeringskostnad
Minskade kostnader för vägunderhåll	Extra fordonsvikt på 100–120 kg
Minskade kostnader vid vägbyggnation	Mer teknik som kan påverka utnyttjandegraden
Minskning av skadliga vibrationer för föraren	Förkortad livslängd på fälgar
Minskade vibrationer ger minskade kostnader för fordonsunderhåll	
Inbyggda punkteringsvarningar	
Risken för överhettade däck eliminerad	
Fordonet går alltid med rätt tryck i däcken	
Förlängd livslängd på drivdäck	
Ökad dragkraft	
Förbättrad backtagningsförmåga	
Bättre framkomlighet på svaga vägar	

Vegetationsbrand 2020, 2050 och 2080

Räddningsverket
Med stöd av SMHI och SLU

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen

Innehåll

Sammanfattning	7
1 Bakgrund	9
2 Brand i det fria	10
Grundläggande processer för den flammande elden.....	11
Intensitet och spridningshastighet.....	13
Intensitet-bekämpningssvårighet.....	17
Glödbrand.....	20
3 Bränslestruktur	25
Levande kontra döda bränslen.....	29
Träd som bränsle	30
Risväxter som bränsle	31
Örter och gräs som bränsle	32
Vattenrelationer.....	34
Skogsbeståndets och expositionens inverkan på avdunstningen.....	41
4 Brandbeteende. Styrande faktorer	42
Eldens accelerationsfas.....	42
Vindens effekt på brandbeteendet	44
Effekt av sluttning.....	47
Inverkan av bränslets fukthalt	48
Spridningshinder	53

5	Brandriskmodeller och information om brandrisk	60
	HBV-modellen	61
	FWI-modellen	61
	Egenskaper i HBV- respektive FWI-modellen	63
	Användning av brandriskmodeller	64
6	Nuläge bränder	67
7	Förebyggande åtgärder och släckresurser.....	70
	Förebyggande åtgärder och legala grunder	70
	3 kap. (LSO) Kommunens skyldigheter.....	71
	Samhällets beredskap för skogsbränder hos kommunerna, staten, m.fl.....	74
8	Hur påverkas den svenska skogen av klimatförändringen.....	78
	Ökad biomassa i skogen som följd av ökad tillväxt	78
	Förändringar av växtsamhällen	79
9	Förändrat klimat som påverkar brandrisken	80
	Inledning	80
	Regionala klimatscenarier	81
	Utvärdering av RCA	82
	Användning av RCA-resultat i effektstudier.....	83
	RCA-resultat levererade för brandriskmodellering	83
	RCA-resultat som indata till effektmodellering – erfarenheter från hydrologin	83
	Rosby Centre regionala klimatscenarier – sammanfattning av resultat.....	86
	Temperatur och snö	86
	Varma perioder	88
	Nederbörd	88
	Vind	89

Variabilitet och extremer	89
Torrperiod och torrdagar	90
Relativ fuktighet.....	90
Markvatten	90
Scenariematerial från RCA	91
10 Resultat av brandriskanalyser med simulerade väderdata	101
Inledning.....	102
Metoder.....	103
Indexberäkningar från verkliga väderdata.....	104
Indexberäkningar från simulerade väderdata.....	108
Jämförelser av CO ₂ -scenario B2 respektive A2 för perioden 2011–2040	112
Trender fram till 2100	115
11 Förändrade konsekvenser	124
Konsekvenser av ökad brandintensitet	125
Påverkan på samhället	126
12 Förslag till åtgärder	127
Behov av forskning och utveckling:	127
Fördjupad studie och forskning av klimatdata till brandriskmodeller	127
Studier och forskning av växtsamhällenas betydelse för brandförlopp, intensitet och spridning.....	127
Operativt stöd, m.m.	128
Förebyggande åtgärder	128
Legala åtgärder, förbud etc.	129
Åtgärder inom skogsnäringen	129
EU och internationellt samarbete	130

13	Kostnader	130
	Statliga kostnader	130
	Totalkostnader för släckning.....	132
14	Referenser och noter	135

Sammanfattning

Räddningsverket har genomfört en övergripande studie i möjlig framtidsutveckling av vegetationsbränder med tyngdpunkt på skogsbrand. Studien beaktar bland annat tänkbara förändringar i brandrisk och möjliga konsekvenser som ändrat klimat kan medföra. För att kunna hantera och anpassa samhället till nya förhållanden ges också förslag på åtgärder. Dessa utgår främst från vilka förebyggande åtgärder som bör vidtas, hur skogsbränderna ska kunna släckas och vilka forsknings- och utvecklingsinsatser som behöver initieras.

För att kunna genomföra trovärdiga effektstudier med brandriskmodeller krävs en forskningsinsats av överföringen av klimatmodellens resultat till drivdata för brandriskmodellerna. Detta innebär kalibrering av flera vädervariabler än de som hittills har använts vid hydrologisk modellering. Justering av variabler i klimatmodellen innebär även att energibalansen i modellen påverkas. I metoden för att överföra data är det därför viktigt att samtliga variabler som används är konsistenta.

Klimatmodellerna har visat sig inte kunna generera utdata som är jämförbar med det väder som kan observeras. Det krävs därför anpassning av dagliga väderdata för brandriskmodell FWI om trovärdiga simuleringar ska kunna utföras. Detta har exempelvis gjorts vid arbeten med hydrologiska modelleringar från klimatmodellens indata.

Trots att klimatdata inte hunnit verifierats och specifika variabler anpassats för brandriskmodellerna har ändå försök gjorts att genomföra en beräkning med befintlig klimatdata. De modellberäkningar för brandriskindex (FWI) som genomförts med simulerade klimatdata, visar en tydlig tendens i att antalet dagar med hög brandrisk ökar främst i södra Sverige. Ökningen av antalet högriskdagar har varit i storleksordningen 50 %.

Ett generellt varmare klimatet medför dessutom att säsongen för brand i vegetationen förlängs. Det innebär en möjligheter till fler bränder. Det kan medföra att räddningstjänsten måste ha större beredskap för vegetationsbränder. I de allra sydligaste delarna av Sverige kan det till och med bli så att vegetationsbränder är möjliga året om.

Om klimatet blir varmare och nederbördsrikare i norra Sverige så som klimatsimuleringarna indikerar medför det en ökad skogs-

marksareal där skogsbränder kan uppstå. Dessa områden sammanfaller till stor del med de områden idag som har begränsade resurser för insatser mot skogsbrand. På grund av resursbristen och att det tar lång tid att nå fram till brandplatsen kan det antas att skogsbrändernas utbredning till ytan blir större. Trenden i detta område är dessutom minskande befolkning och därmed kan svårigheter uppstå att i framtiden kunna upprätthålla en erforderlig nivå på beredskap mot bränder.

Ett varmare och torrare klimat (nederbördsfattigare) på sikt i södra Sverige kan ge högre risk för allvarliga bränder på grund av att mer uttorkat bränsle kan delta i branden och att branden kan brinna med högre intensitet. Ett varmare och torrare väder i södra Sverige kan alltså leda till stora konsekvenser för brandbeteendet och resultera i stora och omfattande skogsbränder. En förändring i antal dagar från ca 15–20 dagar/år med dygnsmaxtemperatur $>20^{\circ}\text{C}$ dagar/år till 65–70 dagar/år med dygnsmaxtemperatur $>20^{\circ}\text{C}$ dagar/år och mindre nederbörd kan innebära att de skogsbränder som uppstår i de nederbördsfria perioderna kan bli svåra att bekämpa med dagens resurser. Såväl ytan som skogsbrändernas antal kan komma att öka. Om flera stora bränder sker samtidigt inom samma regioner kan resursbristerna antas bli påtagliga då konkurrensen uppstår om befintliga resurser.

Hur skogsbruket och vegetationen kommer att förändras är svårbedömt. Vilka metoder som används i skogsbruket kan påverka hur mycket bränsle det finns tillgängligt. Ganska små förändringar i bränsletillgång kan ge förändrad brandintensitet.

Även samhället kan komma att påverkas om omfattande skogsbränder uppstår. Ett ökande antal fasta installationer i skogsmark för infrastruktur (telekommunikation, etc.) kan komma att påverkas.

Flera omfattande större skogsbränder inom samma del av landet kan leda till att samhällets resurser och förmåga inte räcker till för att åtgärda skogsbränderna. Även möjligheten att hantera andra olyckor kan begränsas på grund av svårigheten att samtidigt också upprätthålla beredskap för andra nödlägen.

För att få ökad förståelse för hur en framtida förändrad struktur på växtsamhällena i skogen, i olika delar av Sverige, kommer att påverka brandförlopp, intensitet och spridning etc., behöver ytterligare forskningsstudier genomföras. Detta för att se vilka konsekvenserna kan antas bli för strukturen på skogen, brändernas intensitet, potentiella brandarealer, etc.

Sverige kan behöva delta mer i ett internationellt samarbete till följd av det blir ändrade förutsättningar för brand i vegetation som följd av klimatförändringen. De omfattande vegetationsbränder som kan uppstå kräver bättre kunskaper, ökade förebyggande åtgärder och slagkraftigare operativa resurser än vad som idag finns i Sverige. Det internationella samarbetet kan bland annat omfatta teknik och taktik för släckning av brand, förebyggande åtgärder och forskning.

Det bör framgå tydligare i lagstiftningen att även skogsägare eller nyttjanderättshavare har skyldighet att vidta brandskyddsåtgärder för egendom.

Skogsnäringen bör anpassa sin dagliga aktivitet till aktuell brandrisknivå och dessutom hålla en beredskap för att kunna släcka skogsbränder. En anpassning av vilken verksamhet som kan tillåtas utifrån brandrisknivån är en möjlig lösning. Det kan resultera i en begränsning av vissa arbetsmoment som kan medföra risk för antändning eller att verksamheten begränsas för vissa geografiska områden.

De åtgärder och resurser som skogsnäringen måste tillskapa sig och framöver hålla i beredskap för att skydda sig mot brand bör också kunna utnyttjas av samhället för att släcka skogsbränder. Därför bör en skyldighet att redovisa sin brandskyddsorganisation till samhället införas för skogsnäringen.

1 Bakgrund

Räddningsverket har genomfört en övergripande studie i möjlig utveckling av vegetationsbränder med tyngdpunkt på skogsbrandens tänkbara förändring. Studiens syfte är att ge ett underlag till klimat- och sårbarhetsutredningen med möjliga konsekvenser och förslag till åtgärder. SMHI med Rossby center har svarat för att ta fram underlag till förändringen i väder som ett ändrat klimat kan medföra. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå har medverkat i bedömningen om förändrat brandbeteende och utifrån Rossby centers data genomfört flera olika scenarioräkningar enligt brandriskmodellen FWI. SLU i Alnarp har medverkat med underlag för vilken typ av skog som kan förväntas i ett ändrat klimat.

SLU har utifrån datamodellernas resultat tolkat och värderat vilka möjliga brandscenarier som kan antas bli aktuella framöver.

Räddningsverket har uppskattat vilka konsekvenser det kan bli för samhället med ett förändrat klimat. För att kunna hantera och anpassa samhället till nya förhållanden ges också förslag på åtgärder. Åtgärderna utgår främst från vilka förebyggande åtgärder som bör vidtas, hur skogsbränderna ska kunna släckas och vilka forsknings och utvecklingsinsatser som behöver göras.

Kapitel 2–4 i denna rapport är en förkortad text från rapporten ”Skogsbrand” – ”Brandbeteende och tolkning av brandriskindex” av Anders Granström Institutionen för skoglig vegetationsekologi SLU, Umeå.

Kapitel 9 i denna rapport utgör SMHI:s underlag till utredningen som sammanställts av Patrick Samuelsson, Johan Andréasson och Marie Gardelin.

Kapitel 10 i denna rapport redovisar resultat av brandriskindex (FWI) från olika modellberäkningar utgående från verkliga och simulerade dagliga väderdata (från Rossby Center) och som utförts av Anders Gransström, SLU.

Rapporten har sammanställts av Ulrika Postgård och Leif Sandahl, Räddningsverket.

2 Brand i det fria

Utdrag ur rapporten ”Skogsbrand – Brandbeteende och tolkning av brandriskindex” av Anders Granström, Institutionen för skoglig vegetationsekologi, SLU, Umeå.

En brand i det fria, som sprider sig över marken, skiljer sig i en rad olika avseenden från en brand i byggnad, bil eller annan liknande struktur. En avgörande skillnad är att bränslet för elden potentiellt har oändlig utsträckning i rummet. En annan är att syrsättning i princip aldrig är begränsande för förbränningsprocessen. De styrande faktorerna är istället bränslebäddens struktur, dess fukthalt, topografin, och det momentana vädret, främst vinden. Egentligen är det ganska stora krav för att eldspridning skall kunna fortgå spontant. Bränslestrukturen varierar och det finns vissa naturtyper som är så gott som obrännbara på grund av bränslebäddens struktur. För områden med lämplig bränslestruktur är brandspridning dessutom omöjlig de flesta av årets dagar, på grund av för hög fukthalt i bränslet. När brandspridning väl kan ske är det tillika

mycket stor skillnad i brandens potentiella förlopp. De variabler som då skiljer är främst spridningshastigheten och brandintensiteten. Dessa två variabler är intimt länkade och helt avgörande för svårigheten att begränsa elden. För att kunna förstå förutsättningar för eld i det fria och för variationen i brandbeteende behöver man en klar bild för hur elden fungerar som process, hur bränslena varierar i rummet och hur vädret påverkar dels fukthalten i bränslet, dels själva elden.

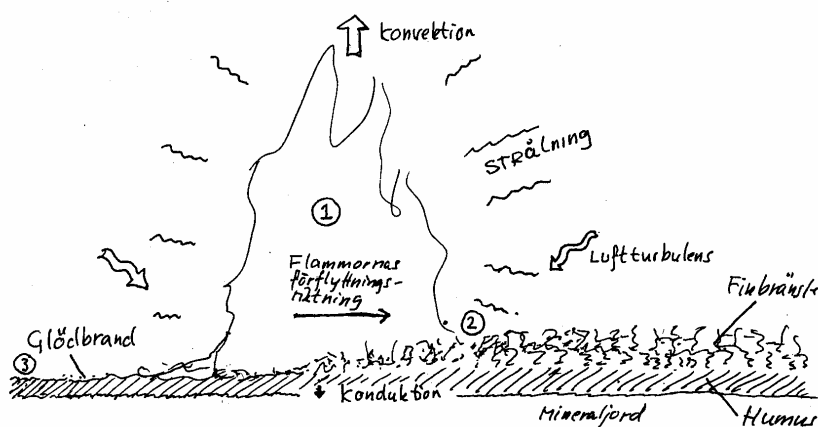
Grundläggande processer för den flammande elden

Figur 1 är en schematisk återgivning av de olika processer som verkar under en brand. Skissen visar en genomskärning av en eld i en stiliserad bränslebädd. Branden har pågått en stund och etablerat en flamfront, som sprider sig åt höger i bilden. Flammorna drivs av gaser som frigörs ur bränslet, främst från det luckra lagret av förna, mossor, lav som finns på marken. Humusen, det vill säga den filt av halvt nedbrutet organiskt material som finns under mossan, avger brännbara gaser i mycket sämre grad och tillför relativt lite till flambildningen.

Flammorna avger strålningsenergi i alla riktningar. En del av strålningen träffar bränslet framför elden och absorberas, varvid temperaturen stiger snabbt. Vid en temperatur av 100°C har allt vatten avgått och vid 300°C börjar termisk nedbrytning av cellulosa och andra organiska föreningar, varvid olika kolväteföreningar avges i gasform och antänds av flammans framkant. Denna gasfrigöring intensifieras när bränslepartikeln hamnat inne i flammorna, där temperaturen är i storleksordningen 800–1 000°C. När bränslet i en viss punkt inte längre avger tillräckligt med gas för att driva flammen befinner sig denna punkt i dess bakkant. Tiden för flambasen att förflytta sig över en viss punkt, det vill säga från det att bränslet antänds till att det slocknar, är ganska kort för de flesta bränsletyper. Ofta i storleksordningen en minut (se dock nedan). Grov död ved som tjärstubbbar, grova nedfallna kvistar etc. kan fortsätta att brinna med flammor en kortare eller längre tid, men dessa spridda element inverkar inte längre på flamfronten.

Figur 1

Principskiss för de olika processer som verkar i en spridande eld. Genomskärning av eldbandet som sprider sig åt höger i bilden, in över färskt bränsle. Flammorna (3) förvärmer bränslet intill (2), vilket när dess temperatur stigit till bortåt 300°C börjar frigöra brännbara gaser. I och med att dessa antänds flyttar flammen in över bränslet. Finbränslet konsumeras successivt under tiden i flammorna och när de passerat återstår en bädd av ytkolad humus (3), där glödbrand fortsätter under kortare eller längre tid, beroende på humusens fukthalt. Om det undre skiktet av finbränsle är fuktigt, kan även en del av detta bli kvar efter att flammorna passerat.



Närmast efter flammorna fortsätter markytan att glöda en stund. Vanligen kan inte denna glöd underhålla sig själv och slocknar inom några minuter, men kan hänga kvar i särskilt gynnsamma positioner betydligt längre. En kritisk variabel för glödbrandens omfattning är torrheten i humuslagret. Efter lång torka kan man därför få omfattande glödbrand och stor konsumtion av markens humuslager. Glödbrandens dynamik beskrivs närmare i ett separat kapitel.

Energien som frigörs i flammorna sprids alltså effektivt genom strålning (flammar från den här typen av bränslen antas vanligen stråla som en svart kropp, åtminstone när flamdjupet inte är alltför tunt). Dessutom avgår mycket energi i form av konvektion uppåt, till följd av den starka expansionen av heta gaser. Konvektionen är väsentlig i dessa sammanhang främst på grund av två fenomen. Dels kommer den att värma eventuella bränslen som finns ovan flammorna, det vill säga uppe i träden, om branden sker i skog. Dels kan

fasta bränslepartiklar, som glöder eller flammar, dras med i den starka uppåtgående luftströmmen, drivas av vinden ett stycke och sedan landa i "färska" bränslen och antända dessa. Detta är den viktigaste mekanismen för elden att ta sig över större hinder, det vill säga avbrott i bränslebädden, som vägar, vattendrag etc.

Konvektionen ger också upphov till en förändring av vindfältet i närheten av flamfronten. De uppåstygande heta gaserna ersätts genom en inströmning från sidorna, som delvis kan avlänka den rådande vinden. Ju högre intensitet elden har, desto starkare är denna effekt. För en eld som sprider sig med vinden får man därför, närmast före flamfronten, ett lokalt drag in mot elden, som går rakt mot den rådande vinden. När intensiteten är hög kan motdraget göra sig gällande flera tiotals meter framför fronten. Detta fenomen kan underlätta i samband med skyddsavbränning eller anläggning av moteld.

Värme sprids också genom konduktion. Detta kan eventuellt ha viss betydelse för brandbeteendet genom att öka energitransporten inne i bränslebädden, men denna är lucker och dåligt värmeledande och förvärmningen av bränslet antas därför ske främst genom strålningsöverföring. Nedåt i marken sker också värmespridning genom konduktion. Även om den inte är särskilt effektiv är den av stor relevans för eldens effekter på levande organismer. Zonen närmast den slutgiltiga kvarvarande kolade markytan är steriliserad på grund av den höga temperaturen, men redan på omkring 2 cm djup kan man finna överlevande rötter, frön och markdjur. Där har då temperaturen under branden aldrig varit högre än ca 60°C, vilket är letaltemperaturen för levande celler.

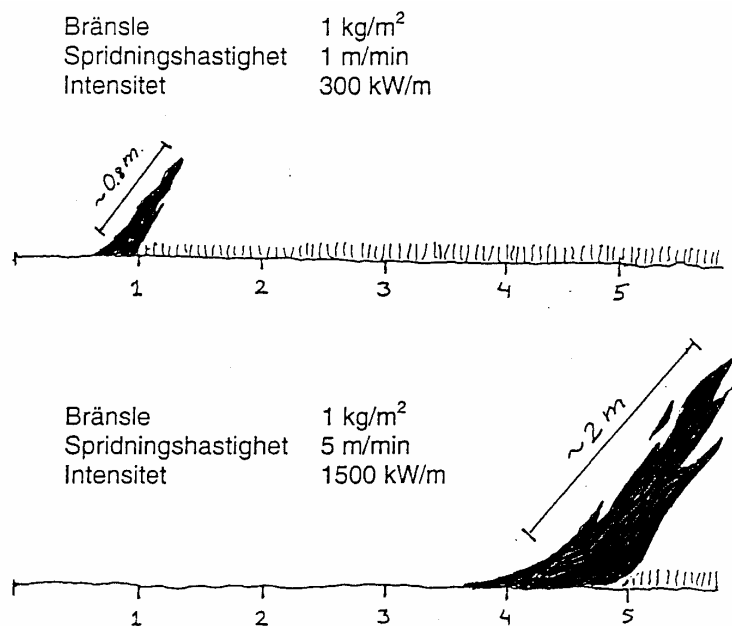
Intensitet och spridningshastighet

Effektutvecklingen i flamfronten är helt avgörande för svårigheten att begränsa elden och den kan variera inom mycket vida gränser. Till skillnad från brand i byggnad måste man dock ange ett något annorlunda intensitetsmått. Den totala effektutvecklingen inom hela brandområdet är ointressant, varför man vanligen definierar brandintensitet som effektutveckling per längdenhet av eldbandet. I SI-enheter blir det kW/m. Det betyder att en och samma brand längs eldbandet kan ha en stor variation i brandintensitet. Vissa segment, exempelvis där elden drivs på av vinden, kan ha flerfaldigt högre intensitet än i de partier där elden går fram mot vinden.

Figur 2 Två scener från samma brand. Vänstra bilden är tagen i en sektor där elden backar mot vinden. Låg spridningshastighet, låg intensitet och fri sikt över eldbandet. Rök och värme drar ut över redan avbränd mark, vilket gör släckningen oproblematis. I högra bilden går elden med vinden, vilket ger snabb brandspridning, hög intensitet, stark värmestrålning och rök ut i obränt område. Inte minst den dåliga sikten gör det riskabelt att arbeta framför fronten.



Figur 3 Sambandet mellan spridningshastighet och intensitet



Intensitet i denna mening blir liktydigt med eldbandets energikonsumtion per tidsenhet. Den kommer alltså att variera med mängden bränsle som kan konsumeras i flammorna och med hastigheten i eldbandets förflyttning. I Figur 3 illustreras sambanden för ett hypotetiskt fall. I den övre bilden sprider sig elden med en hastighet av 1 m/min. Det finns 1 kg bränsle per m^2 på marken, som har ett energiinnehåll av 18 000 kJ/kg. På en bredd av 1 m av flambältet utvecklas då en effekt av $18\,000 \text{ kJ/minut} = 300 \text{ kJ/sec} = 300 \text{ kW}$. I den undre bilden går elden av en eller annan anledning fram med en fem gånger större hastighet, trots att det rör sig om samma bränslemängd. Vinden kan till exempel ha ökat! Per tidsenhet konsumerar nu elden fem gånger så mycket bränsle och intensiteten blir med andra ord fem gånger högre ($1\,500 \text{ kW/m}$).

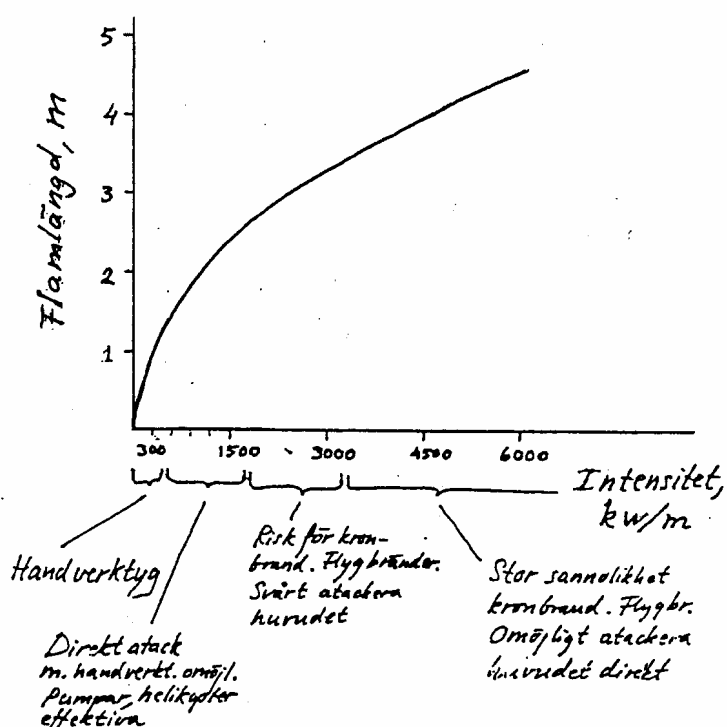
Figur 4 Eld som sprider sig med vinden (cirka 3 m/sekund) i en svag uppförsbacke. Relativt hög intensitet. Elden har långa flammor och bred flambas. Den klättrar villigt i granar som har lågt ansatt krona, och i torrträdet som ligger diagonalt över bilden.



Man kan lägga märke till två andra förändringar som följer med ökad intensitet. Dels blir flammorna längre och dels blir flambasen bredare (Figur 4). Flamlängden är dock inte direkt proportionell mot intensiteten (Figur 5). I exemplet i Figur 3 ger en intensitets-

ökning från 300 till 1 500 kW en ökning av flamlängden från en knapp meter till drygt två meter. Att flambasen ökar hänger samman med att brinntiden för en viss punkt på marken inte förändras nämnvärt när intensiteten ändras. Om det tar en minut för bränsle av en viss typ att brinna från antändning till det har slocknat när intensiteten är låg, tar det lika lång tid när intensiteten är hög. Därmed blir flambasen bredare. Det finns ingen undersökning av dessa samband i detalj, med i grova drag verkar generaliseringen (att residenstiden är konstant) hålla streck. Olika bränslen har dock klart olika residenstid. Ju tunnare de enskilda bränsleelementen är, desto snabbare brinner de ut. För gräsförna är residenstiden mycket kort (ofta kring 20 sec), för en bränslebädd av mossor/förna 1–2 minuter och för avverkningsrester på ett hygge flera minuter.

Figur 5 Sambandet mellan intensitet och flamlängd samt "svårighetsgrad".



Intensitet-bekämpningssvårighet

Eldens spridningshastighet och dess intensitet är båda väsentliga för möjligheten att begränsa en skogsbrand. För en viss bränsletyp är dessa direkt länkade, så att hög spridningshastighet samtidigt innebär hög intensitet (se figur 3), men som enskild faktor är det utan tvekan intensiteten som mest influerar bekämpningen. Hög intensitet betyder ett högt värmestrålningstryck, vilket gör att man måste hålla ett större avstånd till eldfronten. Elden passerar också lättare olika avbrott i bränslebädden genom antändning av strålningvärmen eller via flygbränder (se nedan). I figur 5 har några gränser lagts in som antyder hur bekämpningssvårigheten ökar med ökande intensitet. En mycket allvarlig konsekvens av ökande intensitet är att risken ökar för att kronskiktet skall antändas. Om så sker fördubblas (i medeltal) i ett slag mängden bränsle som elden konsumerar, samtidigt som spridningshastigheten ökar, vilket sammantaget resulterar i en dramatisk ökning av brandintensiteten. Vilken intensitet på elden som behövs för att kronskiktet skall fatta eld beror på kronbränslenas mängd och höjdfördelning. Täta skogsbestånd som samtidigt har en god vertikal bränslekontinuitet, kräver lägre intensitet än bestånd där finbränslena i kronskiktet (främst barr) är väl separerade från marken, så som är fallet till exempel i gamla, rena tallbestånd. Har elden en intensitet av mer än 3 000 kW/m, (flamlängd >3m) ökar risken kraftigt att den gör "kvantsprånget" och antänder kronskiktet.

Ofta söker man karakterisera en skogsbrand utifrån vilka bränslen som tas av elden. Samtidigt vill man därigenom grovt ange eldens svårighetsgrad. Tyvärr finns ingen väletablerad svensk terminologi här. I Kanada och USA används beteckningarna surface fire och crown fire. Den viktiga skiljelinjen är om elden huvudsakligen drivs av finbränslen på marken (surface fire) eller om även bränsle uppe i trädkronorna involveras (crown fire). Dessutom brukar man använda termen ground fire för en pyreld i humus eller torv (utan samtidig brand med öppen låga). En rimlig svensk terminologi enligt samma principer skulle vara jordbrand – ytbrand – kronbrand. Äldre svensk litteratur har använt en rad olika beteckningar. Således har en brand som involverar bara bränslen på marken ("surface fire") kallats alternativt ytbrand, markbrand eller löpbrand, medan en eld som berör också trädkronorna kallats toppeld eller kronbrand.

Figur 6 Helikopterbekämpning kräver att brandbeteendet tolkas rätt. Helikoptrar kan inte flyga i het rök. Vid högintensiva bränder är de begränsade främst till flankbekämpning och att lägga vattenlinjer en bra bit framför eldfronten.

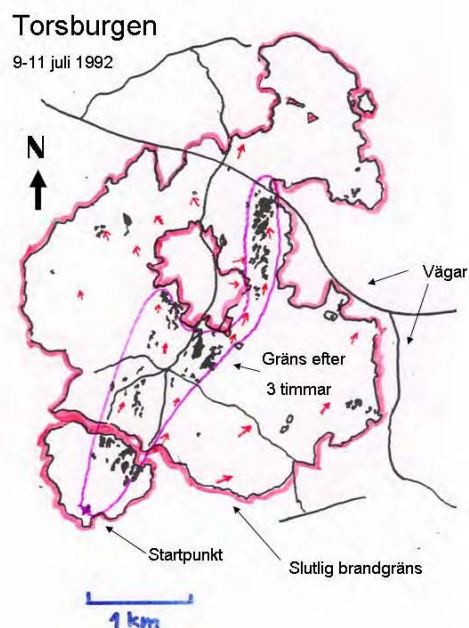


Även kronbränder kan vara av olika karaktär. Om enstaka träd fattar eld, till exempel enstaka granar inne i ett tallbestånd, påverkar detta inte brandfrontens beteende nämnvärt, utom att det ökar risken för flygbränder. Internationellt beskrivs detta vanligen som "torching" (inte heller för detta finns någon etablerad svensk term). Man kan också ha en situation där elden går fram som en ytbrand, med måttlig intensitet, vilken tänder träden ett efter ett, när eldfronten når fram. Det beskrivs i USA och Kanada som "passive crown fire". Ofta är det bara en del av trädkronorna som berörs av elden. Den allvarligaste formen är när man har en sammanhängande eldfront som äter sig genom skogen. Flammorna sträcker sig då på bred front från markytan till långt över trädtopparna och spridningen sker genom en förflyttning även uppe i kronskiktet. Detta benämns i USA och Kanada för en "active crown fire". En vanlig föreställning är att en sådan eld kan sprida sig från träd till träd utan stöd av brand på marken. Under exceptionella förhållanden (stark vind) kan elden verkligen gå före i kronorna en kortare sträcka, men det typiska förloppet är istället att elden agerar som en enhet och involverar markbränslena och kronbränslena samtidigt. Om stödet från markbränslena av någon anledning (ökad

fukthalt, svagare vind etc.) minskar, upphör strax elden i kronskiktet och elden övergår till att bli en ytbrand.

Figur 7

Brandfältet på och norr om Torsburgen på Gotland från den torra sommaren 1992. Sammantaget avbrändes omkring 1 100 hektar skogsmark, till största delen tallskog, under tre dagar av aktiv brandspridning. Elden hade rapporterats kring midnatt den 8 Juli och släckts ner inom kort. Arealen var då någon hektar. Efterföljande dag blåste omkring 8 m/s SSV och kring kl. 12 tappade man elden, som spred sig hastigt norrut. Tre timmar senare gick elden över länsvägen i norr. Under denna första eftermiddag gick elden ofta fram som en fullt utvecklad kronbrand. Intensiteten, den snabba framryckningen och flygbränder gjorde alla begränsningsförsök ineffektiva. Därefter spred sig elden huvudsakligen som flankeld, från den korridor som då dragits upp. Vinden växlade något följande dagar, men observationer av trädens sotning indikerar att merparten av arealen brann med sydlig/sydvästlig vind (röda pilar). Områden där elden gått fram som kronbrand är markerade med svart. Dessa ligger nästan uteslutande inom den yta som brändes av under de tre första timmarna (markerat med lila). Det obrända smala bältet en knapp km från startpunkten är sluttningen mellan den plana Torsburgen och det likaledes plana området norr därom. I slänten dominerades markbränslena av kompakta mossor, som inte bar elden. Den stora obrunna ytan i centrum av brandområdet är kulturmark, som till stora delar var fårbete.



Större brandområden brukar visa en stor variation i hur elden betett sig. Även om det varit högriskförhållanden (torra finbränslen, stark vind) brukar bara en del av den totala avbrända ytan ha brunnit i regelrätt kronbrand. Ett instruktivt exempel är branden vid Torsburgen på Gotland i Juli 1992. Av en total avbränd areal om 1 100 ha hade mindre än 15 % brunnit som kronbrand. Dessa partier låg företrädesvis inom den ganska smala sektor där elden gick fram under de första tre timmarna, med stöd av vinden i ryggen (Figur 7). En stor del av den övriga arealen brann genom expansion av flankerna, utan motsvarande vindstöd, och med avsevärt lägre intensitet.

Eftersom kronbränslena vanligen är separerade från marken och dessutom har en låg grad av "bränslepackning" (lite bränsle per volymsenhet) krävs att elden har en viss minsta spridningshastighet för att vidmakthålla förbränning i kronskiktet. Man har beräknat att den lägsta hastigheten som medger en "active crown fire" i barrskog är omkring 20 m/min. Detta motsvarar ganska väl vad som uppmätts i det lilla antalet goda observationer som gjorts vis svenska "kronbränder". Spridningshastigheten under tre timmar på Torsburgen var således i medeltal 33 m/min, vilket innebär att framryckningen antagligen på mindre sträckor var något snabbare, eftersom den inte hela tiden gick som kronbrand. Denna siffra kan dock tas som en övre gräns för svenska förhållanden om man ser till spridning över en längre sträcka.

Glödbrand

Bränsle som inte förmår avge tillräckligt med brännbara gaser för att underhålla flammor, kan under vissa förutsättningar glödbrinna. Denna process är välbekant också när det gäller brand i byggnad, då ju många inomhusbränder startar med en glödbrand i exempelvis sågspånsfyllning eller skumgummi, för att sedan utvecklas till en flammande eld. Glödbrand är en oxidation som sker vid relativt låg temperatur (400–600°C) och som kan fortskrida vid betydligt högre fukthalt i bränslet än flammande eld. Den kan också ske vid relativt låg syresättning, även om dess intensitet ökar med både ökande vind och sjunkande fukthalt. Bränslets karaktär är mycket viktig för att glödbrand skall utvecklas. Tjocka skikt av relativt poröst organiskt material, som inte kollapsar vid pyrolys, underlättar etablering av en glödbrand (jfr sågspån). Det är främst två

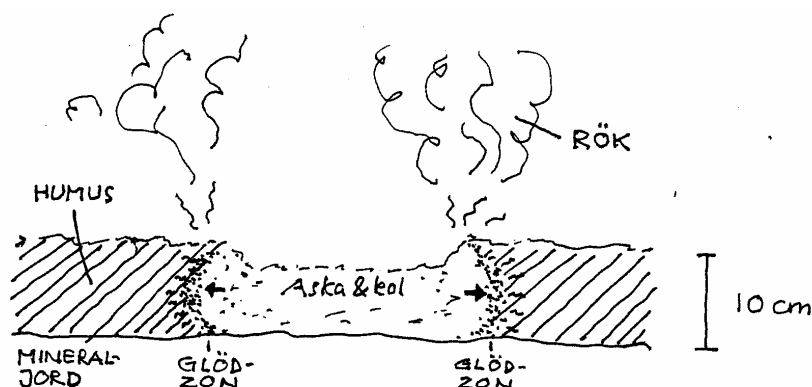
typer av bränsle som gärna tar glödbrand i skogsmark. Dels murket trä, dels humus och torv. Efter att den flammande elden har passerat sker alltid en viss glödbrand i små kolfragment från finbränslet och i gränsskiktet mellan finbränsle och humus. Om humusen är fuktig upphör glödbranden inom några minuter, men ju torrare humusen är, desto längre tid pågår den. Mycket ofta är humusen som torrast överst, nära gränsen mot finbränslet, och här sker då en efterbränning på bred front, till dess att det torraste materialet har pyrt igenom.

Humus har ideala egenskaper för glödbrand, men dåliga egenskaper för att underhålla flammande eld. Dels är den för kompakt, dels avger den mindre kvantiteter brännbara gaser vid pyrolys. Det är dock inte någon skarp gräns här mellan de två typerna av förbränning. Även humus avger en hel del brännbara gaser vid pyrolys. En pyrande eld producerar rök som har hög partikelhalt och en hög CO-halt jämfört med den flammande elden. Bakom flammorna stiger därför en ganska tät rök, med karakteristisk lukt. Om man har ett starkt vindtryck kan glödbranden intensifieras så att pyrolysen blir tillräcklig för flammande eld, men oftast är denna helt lokal intill glödbranden. Brandspridning med en egentlig flamfront kan dock undantagsvis förekomma med humus som bränsle. Det kan ske om den exponerade, ytkolade humusytan fått torka ut under några dagar efter att den första flamfronten passerat (som brände upp finbränslena). Några dagar senare har det hunnit torka ut, och om det då finns glödbrand kvar här och där inom brandområdet kan man få en andra episod av brandspridning med öppen låga. Stark vind brukar vara en förutsättning för detta, och det är troligt att det är vanligare på hygge än i skog. En särskilt farlig situation är om den första eldfronten inte förtärt den undre delen av finbränslet i mossor/förnaskiktet på grund av att det då var för fuktigt.

Om humusen är rejält fuktig, upphör alltså glödbranden snabbt. Vid måttlig upptorkning brukar man ha spridda rökar inom brandområdet åtskilliga timmar efter att den flammande elden passerat. Glödbrand har då bitit sig fast på de mest förmånliga ställena, det vill säga där elden kommit i kontakt med tillräckligt torr humus. Mycket vanligt är att det sker intill stubbar eller vid basen av levande träd. Dels kan humusen vara torrare där (särskilt under granar, vilkas grenar avlänkar regnvattnet); dels kan humusen vara tjockare intill träden; dels utgör kontaktzonen mellan bark och humus ett bra läge för initiering av en glödbrand.

Glödbranden tenderar att formera en front som sakta rör sig genom humustäcket (Figur 8). Värmen som genereras kommer att torka ut humusen strax framför den glödande zonen, vilket gör att glöden från en väl etablerad front kan sprida sig in i material som är något fuktigare än att det initialt skulle börja glödbrinna. Fuktgränsen för glödbrand i humus är svårdefinierad (kan ofta ligga kring 50 %), men i tjocka lager av humus är gränsvärdet högre, antagligen på grund av att värmeförlusterna från den glödande zonen till atmosfären och till underliggande mark då blir proportionellt mindre.

Figur 8 Exempel på hur en pyrande eld kan arbeta i humuslagret långt efter att den flammande elden passerat och bränt upp allt finbränsle på markytan. Där glödbrand bitit sig fast, etablerar sig snart en vertikal glödzon, som sprider sig lateralt (i pilarnas riktning) genom humusen, med en hastighet av några cm per timme. Värmen från glöden driver ut vatten ur humusen intill glöd-zonen och orsakar också pyrolys, varvid en grå rök filtrerar upp genom humusen. Om glödbrandens aktivitet är stor, till exempel om vinden friskar i, kan gaserna antändas, men vanligen sker då ingen vidare spridning av den flammande elden ut över den avbrända humusytan. Om glödbranden ligger i anslutning till färska finbränslen får man dock lätt en återtändning.



Den laterala spridningshastigheten för en väl etablerad glödbrand är bara några få centimeter per timme, vilket innebär att den kan pågå mycket länge innan den har gjort slut på bränslet, eller nått ett parti med tillräckligt fuktig humus för att glöden skall dö. Under natten är det mycket ofta så pass hög luftfuktighet, och därigenom fukt i finbränslet, att den flammande elden dör ut. Glödbranden fort-

sätter dock förhållandevis oberörd, då fukthalten i humusen är nära nog konstant över dygnet. Kallare temperatur och svagare vind under natten har dock en hämmande inverkan. När så morgonen kommer och finbränslena torkar, startar åter en flammande eld från glödbränder i kanten av brandområdet, som står i kontakt med färskt finbränsle.

Den här typen av förbränning sker alltså i humus, förutsatt att den är tillräckligt torr. Samma sak med torv. Torv har likartade egenskaper som humus, men bildas i sänkor i terrängen, där nedbrytningen av förnan hämmas av ett högt grundvattennivå. Efter extrem torka kan så mycket som ett par decimeter av yttorven torka ut tillräckligt för att möjliggöra glödbrand. I dessa fall är det mycket svårt att släcka effektivt. Grunda torvpackar i små kärr brukar brinna ur fullständigt och trädens rötter brinner av och träden faller successivt ut. Allra värst är situationen på dikad torvmark, där grundvattenytan har sänkts artificiellt och där mycket tjocka torvskikt kan vara tillgängliga för glödbranden.

Vad gäller flammande eld är det ganska små mängder vatten som behövs för att dräpa brandspridningen. I princip skall finbränslet föras upp till en fukthalt över "moisture of extinction". Erfarenhetsmässigt räcker 1 mm vatten, det vill säga 1 liter/m², som sprayats ut över finbränslet. För att släcka en glödbrand krävs helt annan teknik, och andra vattenmängder. Uttorkad humus är hydrofob och det är svårt att få ner vatten till glödزونen. Vattnet måste läggas med koncentrerad stråle i och strax framför glödزونen.

Figur 9 Brinnande myrstack omkring två timmar efter att flamfronten passerat. De övre välventilerade delarna av stacken brinner ut med flammande eld inom några timmar, medan den kompakta basen, samt underjordiska delar, kan pyra i många dagar.



De värsta problemen med glödbrand orsakas ofta av myrstackar. De utgör enastående stora ansamlingar av organiskt material och detta material är, till skillnad från tjocka torvpackar, alltid torrt nog att plocka upp glödbrand. Stackens ytmaterial antänds i flamfronten och brinner några timmar med öppen låga (Figur 9). När glöden börjar täckas av aska dämpas den och stacken pyr sedan med en glödbrandzon som sakta äter sig allt djupare ner. Till slut har allt material förtärts, men det brukar ta några dagar för en normalstor stack. Allra värst är stora, döda myrstackar, vilka är mer kompakta och därför brinner långsammare. Elden kan där ligga kvar utan problem i två veckor. Att släcka ner en myrstack med vatten kräver hårt pumptryck och i storleksordningen fem minuters arbete. Alternativt kan man täcka den med mineraljord. Mindre vattenkvantiteter som tillförs utan tryck (hinkar etc.) är verkningslösa. Vattnet lägger sig på asklagret i kratern och kokar snart bort, utan att nå glödزونen.

Figur 10 Typiskt brandförlopp för en torrtall, som gillrar en lömsk fälla. Nederst är ytveden rötad och en glödbrand sätter sig fast där när eldfronten passerar. Efter ett par timmars kombinerad glödbrand/flammande eld är stammen reducerad till en smal kärnvedspelare. Ofta faller den ljudlöst.



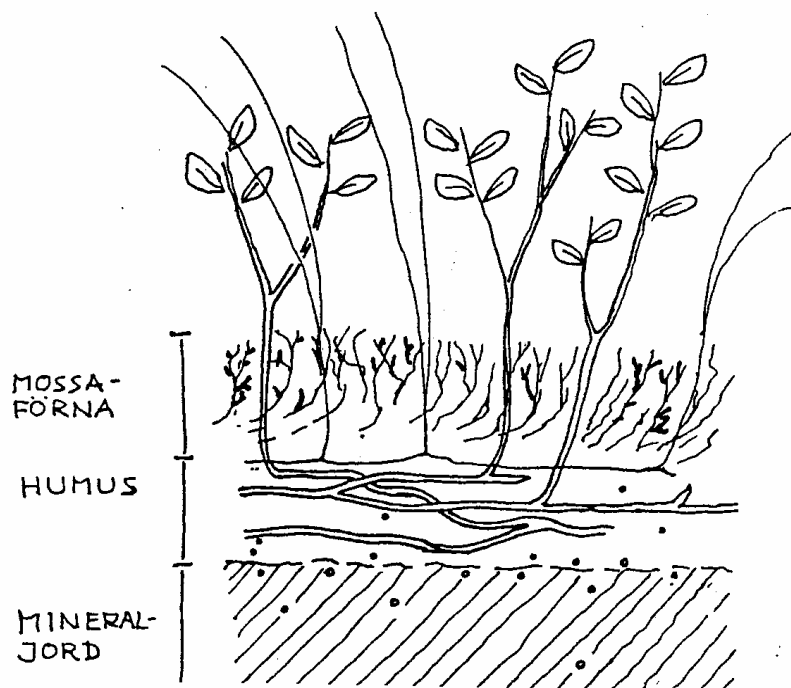
3 Bränslestruktur

Utdrag ur rapporten "Skogsbrand – Brandbeteende och tolkning av brandriskindex" av Anders Granström, Institutionen för skoglig vegetationsekologi, SLU, Umeå.

I stort sett all naturmark täcks av levande och dött organiskt material, men det är stora skillnader i materialets "kvalitet" som bränsle för elden. Till största delen beror det på vilka arter som utgör vegetationen. En mycket vanlig bränslesituation är skisserad i Figur 11. Det är en vanlig marktäckning i barrdominerad skogsmark över större delen av landet och utgör ett gott bränsle för elden. Skogsbeståndet utgörs av äldre tall och gran. På marken växer ett glest skikt av blåbär och lingon. Där finns också ett litet inslag av örter och gräs.

De levande kärlväxternas massa kan vara kring $0.2\text{--}0.5\text{ kg/m}^2$ (torrvikt), varav det allra mesta faller på risväxterna. På själva markytan finns vidare ett så gott som heltäckande skikt av mossor, främst väggmossor, och i detta finns inblandat en stor mängd förna (döda växtdelar) från träden och de andra växterna. Mossan och förnan utgör vanligen ett knappt kg/m^2 , varav mossor kan utgöra omkring 50 %. Mosskiktet, som kan vara omkring 3–8 cm tjockt, övergår nedåt ganska distinkt till humuslagret, som består av gradvis alltmer nedbrutna växtdelar. Humuslagret varierar kraftigt i mäktighet, men är ofta mellan 3 och 10 cm tjockt. 5 cm humus väger omkring 2.5 kg/m^2 . Den viktigaste komponenten i hela detta komplex är skiktet av mossor/förna. Elden behöver ett nära nog heltäckande skikt av lättantändliga bränslepartiklar på markytan för att kunna spridas och väggmossor med inblandad förna fyller väl kraven. De andra komponenterna kan bidra till elden (barris), eller hämma den (örter), men utan ett skikt av finbränsle på marken kan ingen brandspridning ske. Mossor växer ofta omkring en cm på höjden varje år och en stor mängd förna tillförs dessutom. Enbart förnafallet i form av barr kan utgöra omkring 0.2 kg/m^2 per år. Samtidigt sker en nedbrytning och nedpressning år för år, koncentrerad till mossor/förna-skiktets undre del, vilket gör att det behåller en förhållandevis konstant tjocklek och massa. Tillskottet balanseras av nedbrytningen.

Figur 11 Genomsnitt av bränslebädden i en typisk skogsmark där finbränslet huvudsakligen utgörs av mossor och inblandad förna, samt bärris.



För att ytbränslet skall vara gynnsamt för brandspridning krävs att det är tillräckligt luckert. Ett enkelt test av detta kan man göra genom att trampa till mossmattan i ett bälte framför en eldfront. Eldspridningen hämmas då och inte sällan stoppas den helt.

Figur 12 Husmossa är ett utomordentligt bränsle för elden och tillsammans med väggmossa den vanligaste marktäckningen i äldre skogsbestånd. De översta 3–4 cm är gröna, men ända ner till den kompakta humusen är strukturen gynnsam för flammande eld. I mossan sitter barr, finkvist och annan förna inbäddad. Hela mosstäckets kan hålla ungefär 5 mm regnvatten. Upptorkningen sker uppifrån och redan när halva skiktet är genomtorrt kan en eld sprida sig.



Mossan är väsentlig genom att den fångar upp barr och annan förna i sin luckra struktur; annars skulle den ligga väsentligt mer kompakt på markytan. Rena barrbäddar av gran är ganska vanliga i fullslutna, yngre och medelålders granskogar och dessa är mycket effektiva att stoppa elden. Likaså är brandspridning dålig i rena mattor av vissa kvastmossor. Dessa är väsentligt mer kompakta än hus- och väggmossa och underhåller vanligtvis inte elden.

På samma sätt är humuslagret för kompakt för att föda flammande eld. En ytterligare faktor är att humuslagret har en låg andel av cellulosa och en förhållandevis hög andel av svårnedbrutet lignin, vilket inte lika effektivt levererar brännbara gaser vid upphettning. Slutligen har humuslagret, även efter lång torka, en förhållandevis

hög fuktighet. När väl mossan/förnan brunnit ut sker därför ingen ytterligare flambildning.

Flera olika variabler har använts för att karakterisera bränslen och bränslebäddar i samband med modelleringar. Mängden, uttryckt som massa per ytenhet, är naturligtvis viktig, men brukar inte skilja sig dramatiskt utom i de fall man avverkat skog och fått stora mängder hyggesavfall. Mer betydelsefullt för brandbeteendet är hur pass finfördelat bränslet är och hur luckert det är arrangerat. Generellt gäller att ju finare de enskilda bränslepartiklarna är och ju luckrare de är arrangerade, desto snabbare sprider sig elden. Genom att olika växtarter kan variera avsevärt i byggnaden av blad/barr och finkvist, liksom de ger en förna som varierar i motståndskraft mot nedbrytning, ger de upphov till väsentligt skilda bränslebäddar med väsentligt skild kvalitet. Däremot är det sällan några avgörande skillnader i energiinnehållet mellan olika bränslen. För döda bränslen ligger det relativt konstant kring 18 000 kJ/kg torrsvikt. För vissa levande bränslen kan det vara något högre energiinnehåll. Exempelvis kråkbär med 24 000 kJ/kg.

Levande kontra döda bränslen

Ur bränslesynpunkt är det stor skillnad mellan levande växter och dött växtmaterial. Fukthalten i dött material svarar direkt på förändringar i omgivningens fukthalt. Fukt tas upp i gasfas och via nederbörden och fukt avges i gasfas till dess att materialets fukthalt står i jämvikt med ångtrycket i omgivande luft. Levande kärlväxter bibehåller däremot i stort sett samma fukthalt oberoende av vädret, genom att de hela tiden söker balansera avdunstningen genom bladens klyvöppningar (transpiration) med upptag av vatten via rötterna. Detta fungerar ända tills växternas rotzon är uttömd på vatten, vilket sällan sker i vårt klimat. Däremot är det betydelsefulla skillnader vattenhalt mellan olika växtarter, liksom ibland också inom samma växtart över brandsäsongen.

Generellt har örter, gräs och lövträd så hög fukthalt i bladen (200–250 %) att de verkar bromsande på elden, medan bärris och barrträd bara har ungefär hälften så hög fukthalt (kring 120–150 %) och i stället kan ge ett väsentligt bidrag till energiutvecklingen i elden. Levande bränslen kan alltså brinna vid mycket högre fukthalt än dött material, till följd av högre energiinnehåll och större produktion av flambara gaser. Det gäller i synnerhet barren hos tall

och gran, liksom hos vissa buskar som kråkbär, ljung, lingon och skvattram.

Träd som bränsle

Träden kan bidra med avsevärda kvantiteter finbränsle, men det är väldigt situationsbundet huruvida detta skall involveras i en eld eller inte. Barrmassan i ett fullslutet tallbestånd är omkring 0.5 kg/m². Till det kommer en viss mängd död finkvist som ännu inte hunnit brytas av och falla till marken. Dessutom kan man räkna med ett litet bränsletillskott från lavar som växer på barkytan, liksom även från själva barkytan. Däremot utgör inte veden i de levande kvistarna något tillgängligt bränsle, på grund av för hög fukthalt i innerbark och ved. Även efter en högintensiv kronbrand, som förtärt all barrbiomassa, sitter de finaste grenspetsarna kvar. Granbestånd håller en större barrmängd, ca 1.5 kg/m², och genom att grenaxlarna är tunnare kan ibland även en mindre del av de ytersta grenspetsarna förtäras i elden.

Om man har ett plantbestånd eller ungskogsbestånd, där det är en mer eller mindre direkt anslutning av barr och död finkvist mot markbränslena, kommer flammorna från en eld på marken lätt att antända barr och torrkvist. Med tilltagande ålder på trädbeståndet flyttar "trädbränslena, dvs. barr och död finkvist, allt högre upp från marken. Detta har att göra med att den gröna delen av träd-kronorna växer på toppen medan de understa grenarna i samma takt dör bort underifrån på grund av ljusbrist. Mängden barr per ytenhet förändras inte från det skede när beståndet har slutit sig (grenkontakt mellan träden), men barrskiktet flyttar successivt uppåt. Död finkvist utgör också ett gott bränsle, men kvantiteterna bränsle per volymsenhet är då lägre, och över tiden faller allt mer av de döda grenarna i träd-kronans undre del av trädet. Ju mer separerade finbränslena i kronskiktet är från marken, desto intensivare brand på marken behövs för att flammorna skall kunna antända trädskiktet. En annan faktor som är av betydelse för risken för kronbrand är densiteten av bränsle uppe i kronskiktet. Glesa, väl-gallrade skogsbestånd är obenägna att underhålla en kronbrand.

Gran är väsentligt mer fördragsam mot skugga än tall och gran kan därför ofta växa som underbestånd i talldominerad skog. Det kan skapa en beståndstyp med god kontinuitet av bränsle ända från

marken till trädtopparna. Sådan beståndsstruktur är gynnsam för uppkomst och spridning av kronbrand.

Lövträd har alltså en mycket högre fukthalt i sina blad än barrträden och minskar därför risken för kronbrand. Dessutom kan lövförna kväva mosskiktet, vilket ofta leder till en för elden ofördelaktig bränslebädd på marken under täta lövträdsbestånd. Dessutom brukar gräs och örtfloran vara rikare, genom det bättre ljusinflödet. Under högsommaren kan därför förutsättningarna för brand vara dåliga här.

Risväxter som bränsle

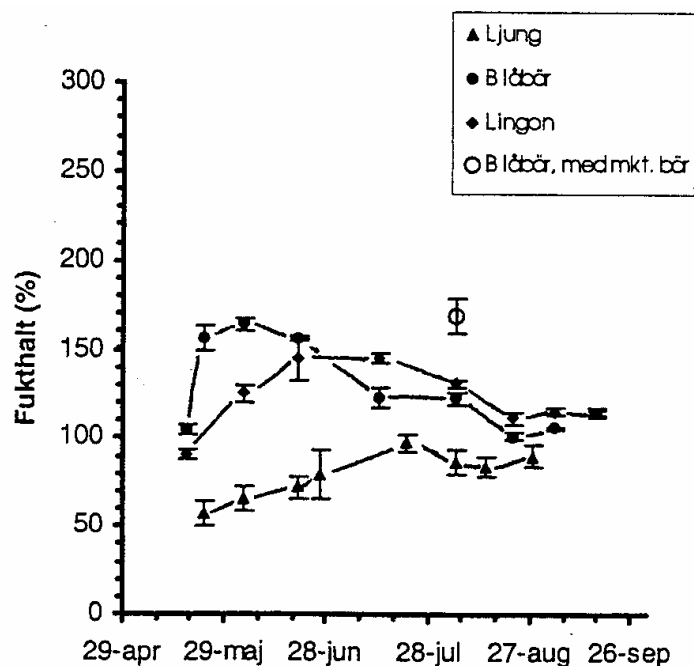
Risväxter är gynnsamma bränslen. Det gäller i synnerhet de städsegröna arterna kråkbär, mjölon, skvatram, lingon och ljung. Deras blad har generellt låg fukthalt. Blåbär och odon är sämre, då bladen som faller varje år har väsentligt högre fukthalt. Risväxterna tillför i allmänhet inte mer än ett par hekto finbränsle /m², men i synnerhet ljung kan ibland nå väsentligt större tal: Upp till 10 kg/m² i extrema fall. Om ljungskiktet är tillräckligt tätt kan man få en eld att gå fram även om den underliggande förnan och mossan är för fuktig för att brinna. Samma sak gäller för kråkbär. Detta hör dock till undantagen och så fort det blir ett mindre avbrott i den täta fällen av ris, stannar elden. Risväxterna förmår alltså normalt inte själva bära en eld, utan stöd från brand i bränslet på marken.

Levande växter strävar att hålla en konstant fukthalt i sina blad, men för risväxterna, som har en försvarlig del ved i form av tunna kvistar, sker en betydelsefull förändring av hela växtens fukthalt under säsongen. Till det bidrar också dynamiken mellan gamla och nya blad. I figur 13 visas förändringen i de ovanjordiska skotten hos tre risväxter över säsongen. Man kan notera hur låg fukthalten är för alla arterna tidigt på våren, innan de nya årsskotten och de nya bladen vuxit ut. För blåbär sker en dramatisk förändring i och med lövsprickningen, vilket i tid brukar sammanfalla med lövsprickningen för björk.

På blåbärsdominerad mark leder detta till en ytterligare förändring: marken skuggas nu effektivt av blåbärsbladen och vinden nära markytan bromsas, vilket leder till väsentligt långsammare avdunstning från markytan. Man kan notera att det även sker en kraftig förändring för lingon, när årsskotten utvecklas, men det sker senare än för blåbär. Första tiden är de unga skotten mycket

vattenrika, varefter det sker en successiv mognad av skott och blad och vattenhalten sjunker.

Figur 13 Fukthaltens förändring över säsongen hos blåbär, lingon och ljung. Data från skogsmark i Umeå.



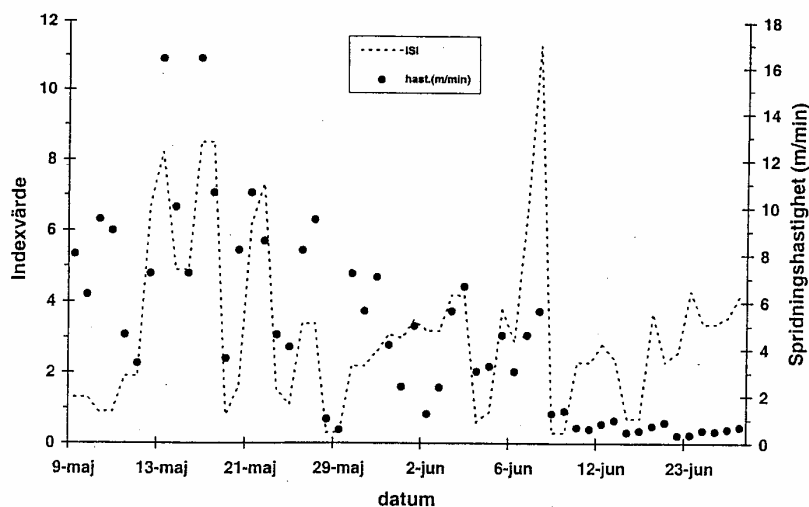
Örter och gräs som bränsle

Levande örter och gräs har så hög fukthalt att de verkar direkt hämmande på brandspridningen. Är ört/gräsinlaget litet märks det knappast, men när det är täta bestånd av grönt gräs eller örter kan elden ofta självdö, även om det råder stor torka. Samtidigt ger i synnerhet gräs en förna som är idealisk som bränsle, varför ört/gräsdominerade marker har en distinkt växling från "brandfarlig" under våren till "brandsäker" under högsommaren. I Figur 14 visas förändringen i spridningshastighet i en serie försöksbränningar som utfördes på ohävdad gräsmark från början av maj till sen juni. När den nya gräsväxten på allvar började sticka upp över förnan hämmades spridningshastigheten dramatiskt. Samtidigt sker en viss nedbrytning av den gamla förnan under säsongen, men denna

effekt är antagligen helt underordnad det ökade fukthalten i bränslebädden som orsakas av inväxning av färska gröna gräsblad.

Det finns inga kvantitativa undersökningar av ört/gräsvegetationens bromsande förmåga i skogsvegetation. Så länge man under örterna och gräsen har ett kontinuerligt skikt av lucker mossor och förna, brukar elden långsamt äta sig fram, men om det är heltäckande örtvegetation dör elden oftast. Det finns en intressant successionsbetingad förändring i detta avseende. Efter avverkning ökar inslaget av gräs och örter påtagligt, i synnerhet på bördiga marker. Hyggen på bördiga marker blir då, liksom kulturmarker med gräsvegetation, högriskområden under vår-försommar, men lågriskområden under högsommar. På mager mark sker inte så dramatiska förändringar i markvegetationen efter avverkning, och därmed inte heller i bränsleförhållandena. (Däremot är avdunstningen, och därmed förutsättningarna för brand, dramatiskt olika på hygge och skog även för mager mark (se eget kapitel).

Figur 14 Spridningshastighet i en serie försöksbränningar på gräsmark. Efter att de nya grässkotten börjat sticka upp genom förnan under senare delen av maj, bromsades brandspridningen effektivt. Indexvärde för ISI under försöksperioden ges som streckad kurva. Lägg märke till den dåliga spridningen under den senare delen trots relativt höga indexvärden. Data från Nyby, 15 km NV Umeå. För södra delen av landet sker detta inemot en månad tidigare.



En ganska viktig aspekt när det gäller gräs/örtförna är om den har pressats ned av ett tjockt snötäcke eller ej under vintern. Dels torkar bränslebädden långsammare om den är nedpressad, men framförallt är brandspridningen långsammare. Om vintern varit snöfattig kan man alltså räkna med ännu snabbare (och därmed mer intensiva) bränder på gräsmark. På gräsmark med ett inslag av videbuskar hindras förnans nedpressning och man får en mer upprättstående bränslebädd.

Vattenrelationer

Förna, det vill säga dött växtmaterial, tar upp fukt via nederbörd eller dagg samt direkt från luftens vattenånga. Det avges sedan i ångfas till luften. Mossa och lav fungerar i detta avseende precis som dött växtmaterial. Det beror på att de saknar rötter och ledningsbanor för att ersätta vatten i torksituationer. Mossornas blad saknar också en effektiv kutikula (tätt ytskikt) som kan hämma avdunstningen.

Mossor, lavar och dött organiskt material på marken tar alltså upp vatten i samband med regn. När det är helt mättat är fukthalten i storleksordningen 400–500 % (beräknat på torrsvikt). Om man beräknar att finbränslena i mossa/förnaskiktet utgör ca 1 kg/m² innebär det en vattenmängd motsvarande 4–5 mm nederbörd. Tillförs ytterligare vatten sjunker det bara ner i djupare lager. Humuslagret under mossan kan på motsvarande sätt hålla ett förråd av mellan 10 och 20 mm, beroende på dess massa. Vattenavgivningen från mossan sker sedan via avdunstning som gör att torkning sker från ytan. Den interna vattendiffusionen i mossa/förnagret är dålig på grund av den luckra strukturen och efter en tids torka finner man därför skarpa gradienter i fukthalt från ytan och neråt.

Hastigheten i vattenavgivning från en yta med fritt vatten är proportionell mot ångtrycksdeficitet (skillnaden mellan ångtrycket vid mättnad och aktuellt ångtryck) i gränsskiktet mellan vattnet och luften. Flera olika vädervariabler påverkar detta: relativ luftfuktighet, temperatur och vind. Temperaturen verkar på två sätt. Dels kan varm luft hålla mer fukt (den relativa fukthalten sjunker) och dels ökar avgivningen från bränslet med dess egen temperatur. Vindeffekten beror på att fuktmättad luft förs bort från gränsskik-

tet och ersätts med torrare luft, vilket leder till snabbare avdunstning.

Ett skogsbestånd förändrar avdunstningen både genom att sänka temperaturen i markytan och i den marknära luften samt genom att bromsa vinden. Det är därför flerfaldiga skillnader i avdunstningshastighet mellan ett tätt skogsbestånd och öppen mark, även om bränslena på marken är desamma.

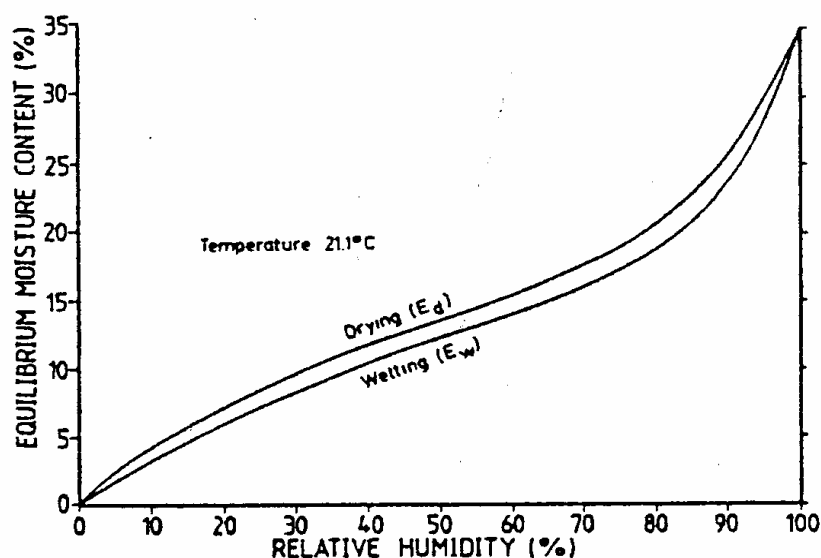
Olika brandriskindex simulerar vanligen avdunstningen med temperatur, relativ luftfuktighet och vind som ingångsvariabler. Av de tre "fuktindex" som finns i FWI (se beskrivning under eget kapitel) ingår alla tre variablerna bara vid beräkningen av FPMC, det vill säga det index som beskriver ytskiktet av finbränslen. Avdunstningsfunktionen för DMC beräknas enbart på temperatur och relativ luftfuktighet, med bedömningen att vinden har liten effekt på avdunstningen från lite djupare bränsleskikt på marken. Avdunstningsfunktionen i DC beror bara av temperatur. Tanken är att främst diffusionshastigheten (vilken beror av temperaturen) är begränsande för avdunstningshastigheten från djupa organiska marklager.

Vatten kan naturligtvis också tas upp och avföras via växternas rötter. Detta är helt försumbart i mossan/förnan, men nere i humusen finns en stor mängd rötter och det är troligt att ganska mycket vatten förs bort den vägen snarare än via direkt avdunstning till atmosfären. Eftersom torkindex som DMC och DC eller HBV är baserade på anpassning till experimentella data snarare än på teoretisk analys, behöver de exakta mekanismerna inte vara perfekt beskrivna. Modellen kan ändå ge en god simulering. Om det är en längre följd av dagar utan nederbörd, brukar man kunna se en successiv förflyttning av "torkgränsen" allt djupare nedåt i humusen. Det talar för att den mesta uttorkningen verkligen sker genom avdunstning uppåt, snarare än via rotupptag.

Allteftersom bränslet blir torrare, sjunker vattenavgivningen i absoluta tal. För FPMC, DMC och DC förutsätter man en exponentiellt sjunkande fukthalt över tiden (vid konstanta förhållanden i vädret). Det betyder att den procentuella vattenavgivningen är konstant (lika stor andel av det kvarvarande fria vattnet avges per tidsenhet). Argumentet är att det blir successivt allt svårare för vatten att lämna materialet ju torrare detta är. Antagandet om ett exponentiellt samband stöds rätt väl av undersökningar där man följt uttorkningen över tiden i skilda bränslen. Däremot har bränsle av olika dimension, respektive olika djup i markens bränslebädd,

olika hastighet i vattenavgivning. Under samma väderförhållanden tar det alltså olika tid att nå en viss fukthalt. De tre fuktindexen i FWI-systemet är konstruerade för att fungera just så: alla har en logaritmiskt avtagande fuktavgivning och med olika hastighet i processen. Som exempel tar det vid konstant väder (ingen nederbörd, RH 45 % och 21°C) för FPMC 0,7 dagar att förlora 2/3 av materialets initiala fukthalt, för DMC 12 dagar och för DC 52 dagar.

Figur 15 Sambandet mellan relativ luftfuktighet och fukthalt i bränslet (dött organiskt material) vid jämvikt. Det finns en liten skillnad i jämviktsfukthalt vid samma RH, beroende på om materialet har gått från ett fuktigare tillstånd (övre kurvan) eller från ett torrare (nedre kurvan). Anledningen är inte fullt klarlagd, men har med vattenbindning att göra. Dessa kurvor är relativt oberoende av temperaturen och av exakt vilket bränsle det gäller. Däremot skiljer det stort i hur snabbt jämvikt inställer sig. För tunna och välventilerade bränslen som gräsförna eller mossans ytskikt går det mycket snabbt (minuter-timmar), när väl det fria vattnet har avdunstat. För riktigt grova bränslen, som döda trädstammar, tar det veckor.



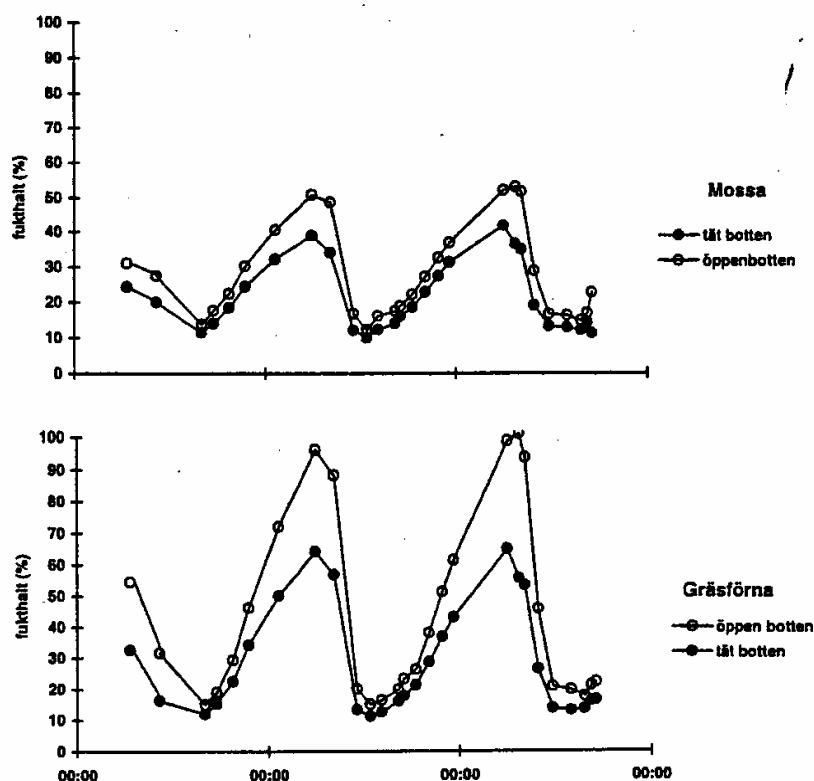
Så småningom når man ett skede när fukthalten i bränslet står i jämvikt med luftens fukt. Det finns då inte längre något fritt vatten kvar i hålrum etc. utan allt vatten är hygroskopiskt bundet till de olika molekyler som bygger upp materialet. Sjunker den relativa luftfuktigheten så avges ytterligare vatten från bränslet och stiger den tas fukt upp ur luften. Sambandet mellan relativ luftfuktighet och fukthalt i bränslet är ganska lika för olika typer av organiskt material och även ganska oberoende av temperaturen.

Detta samband visas i Figur 15, och är av yttersta vikt för brandriskbedömningar. När luften är fullt mättad, dvs. när den relativa fukthalten är 100 %, är jämviktsfukthalten i bränslet kring 30–35 %. Man är då väl över den fukthalt när brandspridning alls är möjlig (ligger kring 20–25 %). När den relativa fukthalten istället är nere kring 20 % (inte ovanligt under riktigt torra och varma vår- och försommardagar) ligger jämviktsfukthalten vid ca 7 % och man kan förvänta sig en explosiv brandspridning.

När väl det fria vattnet är borta ur bränslet svarar det förvånansvärt snabbt på förändringar i den relativa luftfuktigheten, vilket gör att man har en ständig pendling i fukthalt allteftersom RH förändras över dygnet. Att förändringen kan gå så snabbt beror på att det är ganska små fuktmängder i absoluta tal. Det är naturligtvis en viss eftersläpning i bränslets fukthalt relativt RH, men denna är bara någon timme, när det rör sig om finbränslet i markens ytskikt (Figur 16).

Figur 16

Förändringar i finbränslets fukthalt över två dygn för bränslebäddar av mossor respektive gräsförna. I detta fall skedde en viss daggbildning, vilket gör att fukthalten kunde stiga över 35 % (=jämviktsfukthalten vid 100 % RH). Upptaget av vatten var per m^2 var likartat för båda bränslebäddarna under kväll/natt, men genom att mossan höll 0.7 kg/m^2 gentemot gräsförnans 0.3 kg/m^2 , nådde den förra inte upp i så hög fukthalt. I en behandling var en ångspärr placerad mellan bränslet och underliggande mark (fyllda punkter i figuren). Detta ledde till lägre uppfuktning under natten, vilket visar att upptag via ångfas från marken även bidrar till återfuktning under natt, i synnerhet när underliggande mark är ordentligt fuktig. Dessa typer av bränsle kan bara bära en eld vid fukthalt under 20–25 %, vilket i detta exempel motsvarar ca 1/3 av dygnets timmar.



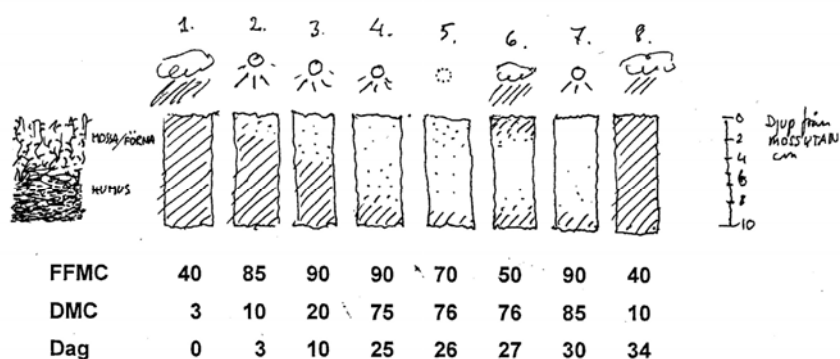
Figur 17 På grund av stigande relativ luftfuktighet och svagare vind under kväll och natt dämpas elden, och om Rh stiger över 60 % brukar flammorna dö ut. Om luftmassan är mycket torr, vilket ofta är fallet under vår och försommar, kan aktiv brandspridning ske hela natten. Bilden tagen halv två på morgonen i slutet av juni. Rh 45 %.



I Figur 18 finns en schematisk återgivning av hur perioder av nederbörd och torka kan resultera i komplexa fukthaltsmönster i markens organiska skikt. Mossa och förna har vanligen en god förmåga att suga upp nederbördsvattnen. En kort tids regn på en uttorkad bränslebädd resulterar därför i ett fuktigt ytskikt över torrare material. Därigenom sker avdunstningen av små regntillskott mycket snabbt.

Figur 18

Förändringar av fukthalten över 35 sommardagar för en typisk bränslebädd där man har omkring 5 cm av mossor och förna över ett 5 cm tjockt humuslager. Rastningen illustrerar fukthalten på olika djup. Ju tätare raster, desto fuktigare. Under respektive bild visas korresponderande värden för de två fukthaltsindexen FPMC och DMC. Indexvärdena är beräknade för det väderscenario som beskrivs. Fukthalten är grovt skisserad och tänkt att gälla för en skog med glest trädbestånd, det vill säga ganska snabb uttorkning. I bild 1 har det regnat en längre tid och allt organiskt material är fullt vattenmättat. Efter fyra dagar av bra torkväder (bild 2) har övre delen av mossan hunnit torka ut så att den känns torr när man hanterar den. Ett par cm ner är dock mossan/förnan fortfarande blöt. En brand kan hjälpligt sprida sig, men bara den översta delen av bränslet brinner, och så fort elden når ett något fuktigare område dör den. I bild 3 har det varit torkväder ytterligare sex dagar. Nu är hela mossan/förnalagret uttorkat och knastrar när man kramar det, medan den underliggande humusen ännu är blöt. En brand sprider sig villigt och förtär allt finbränsle på marken. Efter 25 dagars torka har humuslagret torkat upp väsentligt (bild 4). Bara den nedersta delen, närmast mineraljorden, känns ordentligt fuktig. En brand sprider sig villigt och förtär allt finbränsle. Den efterföljande glödbanden åter sig ner i humuslagret på många ställen och pyr under flera dagars tid. En dag senare är det mulet och disigt väder, men inget regn (bild 5). Mossan/förnan har en fukthalt strax över 25 % och känns ganska smidig när man hanterar den. En eld förmår nu knappast sprida sig alls. Nästa dag faller ett regn på 2 mm. Nederbörden fastnar i övre delen av mossan/förnan som blir rejält blöt (bild 6). Nedersta delen av mossan/förnan och humuslagret påverkas inte. Sedan kommer åter en torr period och efter tre soliga dagar (bild 7) har all fukt som tillfördes i regnet avdunstat. En brand sprider sig nu åter villigt, förtär allt finbränsle och går djupt i humusen. Så börjar en serie dagar med regn och efter fyra dagars ihållande regn (bild 8) är alla bränsleskikt åter fullt mättade.



Skogsbeståndets och expositionens inverkan på avdunstningen

Som tidigare nämnts påverkar träden avdunstningen från markbränslena genom att de bromsar vinden och genom att de hindrar solinstrålningen, vilket sänker temperaturen i mark och marknära luft. Ju tätare skogsbestånd, desto större effekt. Grovt räknat tar det två dagar av bra torkväder innan hyggesmark är brännbar, fyra dagar för gles tallskog, 5 dagar för tät tallskog och 10 dagar för tät granskog. Det är alltså många fler dagar under säsongen när en brand överhuvud taget kan sprida sig på hygge eller i gles skog, jämfört med tät skog. Det är också för varje gränsvärde man sätter upp av torka, fler dagar som når detta värde i de öppna miljöerna. Samtidigt bör man tänka på att även den täta skogen till slut når ett stadium när bränslebädden är fullt uttorkad. När det råder extrem torka kan man alltså inte längre räkna med några avgörande skillnader i fukthalt mellan olika skogsmiljöer.

På samma sätt som uttorkningen skiljer sig mellan öppna och täta skogsmiljöer, är det skillnad mellan sydvända och nordvända sluttningar. Skillnaden beror här på olikheter i solinstrålning. En annan skillnad som kommer av expositionsriktning är snötäckets varaktighet. Inom ett och samma distrikt kan det skilja en månad från det att de första sydvända sluttningarna blir snöfria till dess att den sista snön försvinner i nordluten. Om det råder torrt väder under snösmältningstiden, vilket ofta är fallet, kan man få en initial skillnad i upptorkning under försommaren som kan vara betydelsefull.

Brandriskindexen tar inte hänsyn till sådan lokal variation utan börjar beräknas från första dagen av snöfrihet på respektive beräkningsplats (väderstation eller gridpunkt). Samtidigt kan snön ligga djup ytterligare ett par veckor på kringliggande berg och för dessa områden blir indexberäkningarna inte alls rättvisande i början av säsongen. Samma sak gäller för problemet med avdunstningsskillnader mellan täta respektive öppna skogsmiljöer. Index ger ett "standardvärde" för orten! Detta kan sen i princip kalibreras för olika skogsmiljöer. Lång torka respektive kraftiga regn tenderar att nivellera felen i samtliga dessa fall, det vill säga bränslets fukthalt blir mer likartad *mellan* olika miljöer.

Figur 19 Rökutvecklingen kan på långt håll ge en indikation på eldens intensitet. Hög intensitet ger en stark konvektion och förhållandevis mörk rök. Bilden är tagen på en halvmils håll.



4 Brandbeteende. Styrande faktorer

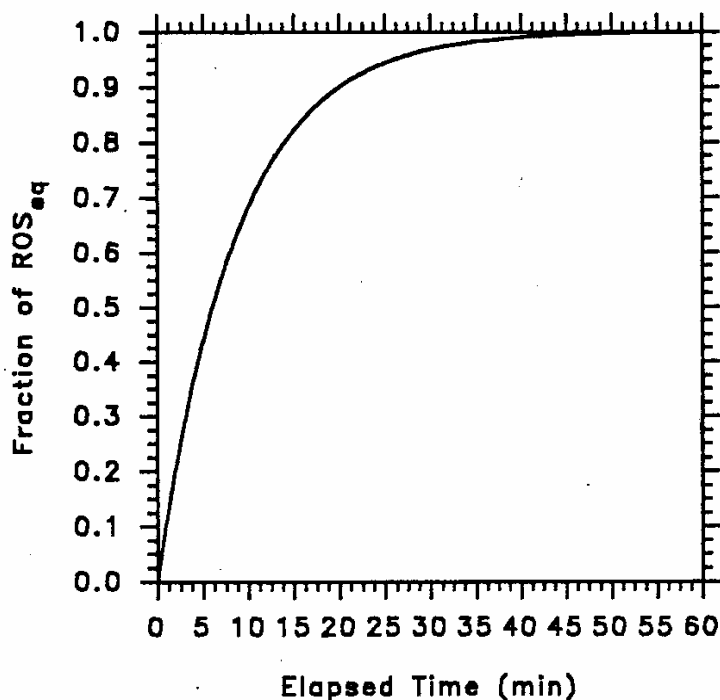
Eldens accelerationsfas

Utdrag ur rapporten "Skogsbrand – Brandbeteende och tolkning av brandriskindex" av Anders Granström, Institutionen för skoglig vegetationsekologi, SLU, Umeå.

De flesta bränder startar med en enda antändning, i en punkt. Det sker sedan en spridning ut från denna punkt i alla riktningar där det finns lämpligt bränsle. Efter någon minut har det först antända bränslet, i själva antändningspunkten, hunnit brinna ut och man har en ring av eld som blir allt större. Om det är homogena bränsleförhållanden, plan mark och ingen vind bildar eldbandet en cirkel. Även ett mindre vinddrag kommer dock att ge snabbare spridning, och högre intensitet, i den del av eldbandet som sprider sig med vinden (Figur 2, Figur 21).

Oavsett de yttre förhållandena kommer elden att visa en tydlig acceleration under den första tiden efter antändningen. Det gäller såväl spridningshastighet som intensitet. I det kanadensiska brandprognossystemet räknar man med att en eld accelererar under en knapp halv timme och att elden har nått 90 % av slutlig spridningshastighet efter 20 minuter (Figur 20). Om man däremot antänder en lång linje i stället för en punkt så når elden nästan omedelbart sin fulla spridningshastighet och intensitet (inom någon minut).

Figur 20 Funktionen för eldens acceleration från en punktantändning i det kanadensiska brandprognossystemet.



Anledningen till att det sker en acceleration under så pass lång tid vid punktantändning, men inte vid linjetändning är att den punkt-tända eldens "huvud" under den första tiden successivt blir allt bredare. Ett bredare huvud har mer stöd från sidorna än ett smalare och därmed blir förvärmningen av bränslet framför elden effektivare. Det kan lätt konstateras om man gör försök där man tänder

linjer av olika längd i samma typ av bränsle och observerar spridningshastighet.

I reella situationer varierar olika styrande faktorer (bränsle, topografi, vind) så mycket att man inte skall förvänta sig att förloppet skall följa kurvan i Figur 20 särskilt väl. De första minuternas acceleration är dock uppenbar i de allra flesta fall.

Figur 21 Eld under tidig accelerationsfas på plan mark, cirka tre minuter efter antändning i en punkt. Bränslebädd av lav och en smula ljung. Vinden var mycket svag (1–2 m/sek) i pilens riktning. Antändningen skedde med tändsticka vid stolpens fot. Observera att förbränningen är effektiv i flammorna och att den mesta röken kommer från pyrande humus etc. efter att flammorna har passerat. Trots den svaga vinden var spridningshastigheten omkring tre gånger högre i vindens riktning än emot den. Lägg också märke till vimpeln i stolpens topp, som lyfts av den uppåtgående konvektionen.



Vindens effekt på brandbeteendet

Alla som sett en skogseld på nära håll torde vara medvetna om vindens stora betydelse för brandbeteendet. Minsta vinddrag ökar spridningshastigheten i vindens riktning. Effekten anses bero huvudsakligen på att vinden böjer flammorna i riktning mot bränslet.

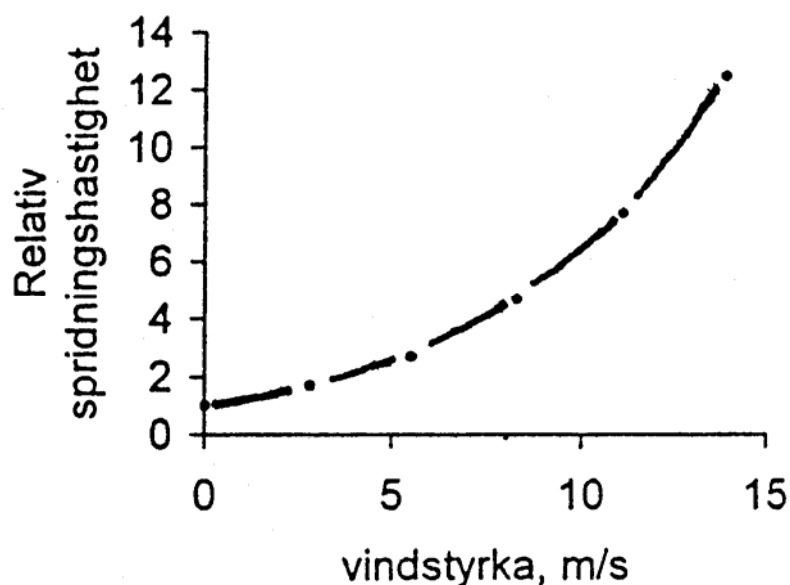
Angreppsvinkeln för strålningen från flammorna blir mer effektiv, vilket leder till snabbare förvärmning av bränslet, snabbare frigöring av brännbara gaser och därmed snabbare spridning av elden, högre intensitet och längre flammor.

För prognossystem är det av största vikt att få en realistisk modellering av vindfaktorn. Det har gjorts en del fältexperiment för att kvantifiera vindens inflytande, främst i Australien. Problemen är uppenbara, eftersom vinden alltid varierar, även i en skala av sekunder till minuter. Man har emellertid mycket data från bränningsförsök i vindtunlar och den mesta kunskapen om vindens effekt baseras på sådana. I det kanadensiska systemet antar man att eldens spridningshastighet ökar logaritmiskt med ökande vind, förutsatt att alla andra faktorer är konstanta (Figur 18). I det australiska prognossystemet låter man vindeffekten vara något mindre dramatisk.

För en eld som sprider sig *mot* vinden är det däremot ingen tydlig effekt av vindstyrka på spridningshastigheten. Man skulle förvänta sig att starkare vind här skulle leda till allt sämre brandspridning, på grund av att lågorna böjs från bränslet, men så verkar inte vara fallet. Möjligen kan en förbättrad syrsättning av en kompakt bränslebädd motverka detta. I regel är spridningshastigheten för motvindselden under 1 m/minut och mycket ofta ligger den kring 0.5 m/minut. Flankeld, det vill säga där vinden går längs med eldbandet, är intermediär i spridningshastighet. Det innebär att en punktantändning efter en tid har bildat ett elliptiskt eldband, med flerfaldig spridning och intensitet i medvindssektorn jämfört med motvindssektorn och flankerna däremellan. Genom den låga intensiteten och genom att vinden driver gnistregn och flammor bort från färskt bränsle, kommer motvindselden ofta att stanna vid första bästa avbrott i markbränslet, så som en stig eller liten bäck.

Figur 22

Sambandet mellan vindstyrka och spridningshastighet för en eld som sprider sig med vinden. Denna funktion används för att inkorporera vindens effekt på spridningshastighet i ISI, Initial spread index.



SMHI mäter vind vid tio meters höjd över öppen mark och det är den vindstyrkan som anges i väderprognoser och som används vid beräkningar av brandriskindex i FWI-systemet. Den vind som inverkar på en eld är emellertid den som direkt verkar på flammorna, det vill säga vindstyrkan betydligt närmare marken. I de flesta fall kan vindstyrkan i brösthöjd (en dryg meter) vara en god approximation. Över öppen mark är vindstyrkan på denna höjd avsevärt lägre än på tio meters höjd, men man kan räkna med att det är ett proportionellt samband, varför "SMHI"-vinden ger en bra indikation på marknära vindstyrka för öppen mark. För skogklädd mark är det mer problematiskt. Skog har en utomordentligt stor vinddämpande effekt, men den varierar med beståndets täthet och struktur, varför det inte går att ange någon generell "dämpningsfaktor". Vinden på någon meters höjd över marken i sluten skog kan ofta vara i storleksordningen 1/5, eller ännu mindre, av den på samma höjd över öppen mark. Det här leder till att elden i ett skogsbestånd kommer att ha mycket lägre spridningshastighet än

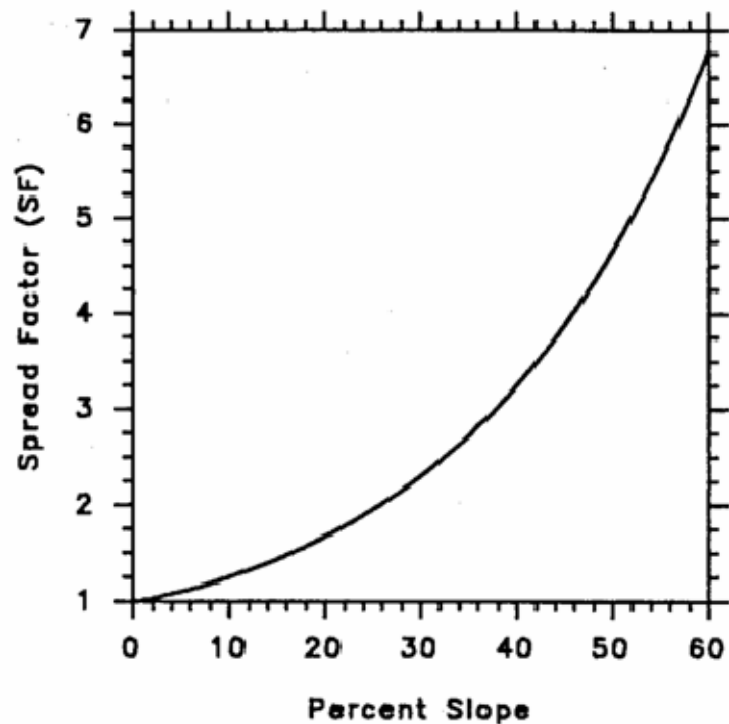
på öppen mark, *så länge alla andra faktorer (bränsle, fukthalt etc.) är lika*. Men mycket ofta är finbränslets fukthalt högre i skogen, till följd av lägre instrålning mot marken, vilket alltså samverkar med vinddämpningen att sänka eldens spridningshastighet.

En avgörande förändring i brandbeteende sker dock om elden nere på marken är tillräckligt intensiv för att antända kronskiktet. Dels involveras då mer bränsle, vilket i sig ökar intensiteten, men också ur vindsynpunkt sker viktiga förändringar. När elden väl bränt ur trädkronorna minskar deras vinddämpande förmåga bakom eldfronten, vilket i kombination med starkt luftinflöde mot konvektionspelaren ökar vindstyrkan nära mark. Dessutom når flammorna mycket högre, varför de påverkas av den starkare vinden på högre höjd, i synnerhet när de nått över trädtopparna.

Effekt av sluttning

Även topografin inverkar på brandens spridningshastighet, helt i analogi med vindeffekten. Uppför en sluttning får flammorna en bättre angreppsvinkel och elden går snabbare och blir intensivare. Nedför en sluttning är effekten den motsatta. I Figur 15 visas det samband mellan lutning och spridningshastighet som används i det kanadensiska systemet. Notera att effekten, liksom för vinden, är accelererande. I de flesta skogsmarker i Sverige håller sig lutningen inom spannet 0–15 %. Som referens kan nämnas att en "svart" slalom pist har en lutning av ca 35 %.

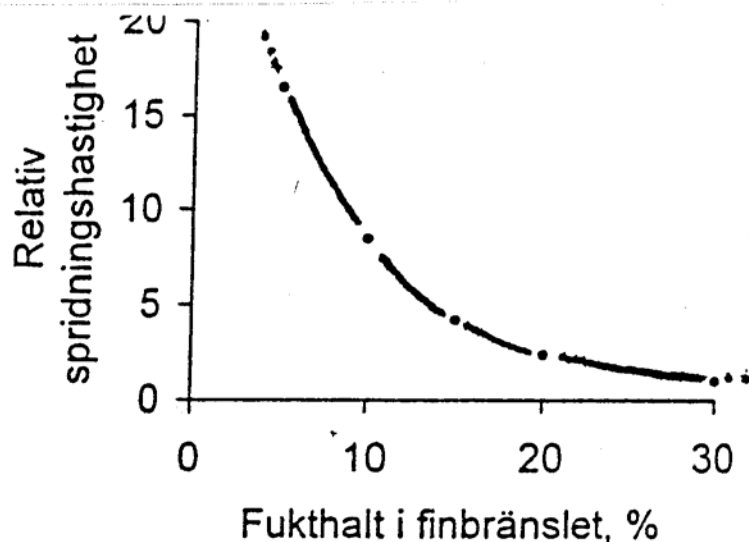
Figur 23 Sambandet mellan markens lutning och eldens spridningshastighet uppför backen.



Inverkan av bränslets fukthalt

Den allra mest kritiska faktorn för bedömning av brandbeteende är bränslets fukthalt. Ju torrare det är desto snabbare sprider sig elden och desto högre blir dess intensitet. Det är emellertid främst *finbränslets* fukthalt som är avgörande, det vill säga fukthalten i markens översta skikt av mossor och förna. Det beror på att detta material antänds snabbast och därmed avgör eldens spridningshastighet. Hur torrt det är på större djup i humuslagret, eller i grövre ved eller dylikt, har liten inverkan. Man kan därför ha explosiva skogsbränder även om inte ens hela mosstäcket hunnit torka igenom, förutsatt att de översta centimetrarna är riktigt torra. Samtidigt kan man efter en "extrem" torka en viss dag ändå ha måttlig brandspridning, på grund av att det är högre RH, och därmed högre fukthalt i finbränslet (jämför Figur 15).

Figur 24 Sambandet mellan finbränslets fukthalt och elden spridningshastighet. Denna funktion ingår i beräkningen av ISI, Initial spread index. För typiska bränslebäddar i skogsmark/gräsmark dör elden ut av sig själv vid en fukthalt av 22–25 %.



I Figur 24 visas det samband mellan finbränslets fukthalt och eldens spridningshastighet som används i det kanadensiska systemet. Anledningen till att fukten har så stor inverkan på spridningshastigheten är komplex och inte fullt klarlagd. En effekt kommer av att det åtgår energi för att driva ut fukt i samband med bränslets förvärmning. En ytterligare faktor är vara att de flambara gaserna späds ut med vattenånga, vilket försämrar förbränningseffekten. En tredje bidragande faktor kan vara att flammornas strålningseffektivitet minskar med ökande halt av vattenånga. En fjärde att fuktiga bränslepartiklar leder värme bättre, vilket gör att temperaturstegringen i det exponerade bränslet långsammare når en kritisk temperatur för termisk sönderdelning och antändning.

Ju fuktigare finbränslet är, desto svårare får elden att sprida sig. Flamlängden minskar och till slut dör elden ut. Gränsvärdet för att detta skall ske ligger kring 22–25 % för en typisk bränslebädd av mossor och barrförra. Samma sak för gräsförra. Erfarenhet från bränningar i skog och hygge säger att man har en god brandspridning vid fukthalter mellan 10 och 15 %. Det är alltså förvånansvärt stora skillnader i brandbeteende vid små förändringar i finbränslets

fukthalt. Om man antar att man har 0.5 kg finbränsle motsvarar skillnaden mellan 10 och 25 % fukthalt bara 50 g vatten eller 0.075 mm nederbörd. Eftersom finbränslet snabbt ställer in sig efter omgivande luftens fuktighet har man oftast en minst lika stor förändring över dygnets timmar. Under natten är finbränslenas fukthalt mycket ofta över gränsen för brännbarhet (se Figur 16 och 24). Notera den dramatiskt ökande spridningshastigheten vid riktigt låga fukthalter (under 10 %). Det betyder i sin tur att ganska små förändringar i RH ger kraftiga utslag i brandens spridningshastighet.

Fukthaltsgränsen för brandspridning i finbränsle ligger alltså i spannet 22–25 %. Man kunde tänka sig att gränsvärdet skulle ligga väsentligt högre för en eld som är väletablerad, men så är inte fallet. Generellt kan man säga att finbränsle som inte kan antändas med en så liten impuls som en tändsticka, inte heller kan fås att bära en eld, ens om man etablerar en homogen eldfront med hjälp av diesel eller annat tändmedel. Om finbränslet har en fukthalt över gränsen kommer elden att själv dö efter bara några decimeter, oavsett om flammorna i tändlinjen varit över en meter höga. Det betyder också att en skogsbrand mycket snabbt ställer in sig efter finbränslets fukthalt, när den går in i ett område med högre fukthalt.

Man bör observera att det är mycket svårt att rätt bestämma fukthalten i en bränslebädd. Det finns tyvärr inga enkla instrument som klarar det tillförlitligt. Bästa sättet brukar vara att ta prover och lägga i täta plastpåsar, väga, torka vid 90°C och sedan återväga. Fukthalten varierar också mellan olika positioner inom ett och samma område varför man måste ta ett försvarligt antal prov (ca 10) för att kunna beskriva medelvärdet bra. Detta är naturligtvis inte att tänka på i en situation när man vill ha en snabb bedömning av fukthalten.

Det är ofta en stor variation i fukthalt med ökande djup i bränslebädden, särskilt under upptorkningsfasen efter ett regn. Man kan inte sällan ha en situation när de översta tre cm av bränslet har en fukthalt som möjliggör brandspridning, medan underliggande bränsle fortfarande är blött. Ett medelvärde över hela mossan/förnan blir då kraftigt missvisande, oavsett vilken teknik man använder sig av. Om man vill försöka bestämma finbränslets fukthalt rekommenderas att göra en skiktning i två delar av mossan/förnan. Även det innebär en förenkling av den verkliga fördelningen av fukt i bränslet, men det ökar tolkningsmöjligheterna avsevärt.

Om uttorkningen har nått så långt att allt fritt vatten är borta ur finbränslet kan man emellertid räkna med att den relativa luftfuktigheten ger en bra indikation, genom det nära sambandet mellan RH och finbränslenas fukthalt. Detta får man också via FPMC, som ju i en "uttorkad" situation styrs helt av funktionen i Figur 15 (sambandet mellan RH och bränslets fukthalt). Det indexvärdet är dock, för aktuell dag, baserat på en prognos av RH, utarbetad dagen innan. Samma sak gäller det RH-värde man kan få på SMHI:s hemsida. En verklig mätning av det aktuella RH ger därför mycket bättre svar. Dessutom är FPMC beräknat för middagstid (14.00) och RH förändras kraftigt över dagen, liksom därmed finbränslets fukthalt (Figur 15). Det finns alltså ingen väg förbi en mätning av verklig RH om man vill bedöma brandsituationen i realtid.

Mätning av RH kan göras med en så kallad psykrometer, som finns i fickmodell, eller med elektroniska instrument av god kvalitet (Figur 25). Man måste sedan också beakta om bränslet träffas direkt av solen eller ej (RH mäts ju en bit upp i luften och avspeglar inte perfekt den marknära miljön).

Figur 25 Instrument för fältobservation av vädervariabler som är viktiga för brandbeteende. Nederst en psykrometer för mätning av relativ luftfuktighet. Den har två termometrar varav en har spetsen täckt av en fuktig strumpa. Instrumentet snurras någon minut och temperaturdifferensen mellan torr och våt temperatur översätts till rh via en "räknesticka" på handtaget. Ett alternativ till psykrometern är elektroniska instrument av god kvalitet. Överst en liten handhållen vindmätare.



För den som har stor erfarenhet kan en sondering av finbränslet med handen ge en indikation på dess fukthalt. Mossa/förna som ligger nära gränsen för brännbarhet känns en liten smula rå och bryter inte i handen. Ju torrare det är desto mer bräckligt blir materialet och under en fukthalt av 10 % smulas det lätt när man krossar det i handen.

Sammanfattningsvis är finbränslets fukthalt av helt avgörande betydelse för brandbeteendet. Små skillnader i fukthalt får dramatisk effekt på brandbeteendet och fukthalten varierar mycket både i rummet (ned till en skala på några få meter) och i tid (ned till delar av timme). Standardiserade brandriskindex kommer därför aldrig att få en upplösning och precision i skattningen av fukthalten som räcker för detaljerade förutsägelser för olika miljöer i terrängen. I

bästa fall får man en god indikation om läget. Den verkliga situationen måste bedömas på plats och det är därför ovärderligt att försöka skaffa sig en egen erfarenhet av fukthalt och brännbarhet. En rekommendation är att ta för vana att alltid känna på finbränslet. När förhållandena så medger kan man göra ett antändningsförsök med en tändsticka. Om bränslet tänder, stampas flammorna sedan direkt ut med foten. Efter en tid lär man sig ungefär var gränsen för brännbarhet går. Man märker också hur mossan/förnan brinner: segt eller raskt och villigt, allt efter dess fukthalt. (Observera att en sådan snabbtest bara kan göras när den underliggande humusen är fuktig. Annars finns risk att en liten glöd får fäste i humusen. Är man minsta tveksam om säkerheten kring detta skall man istället ta ut en tuss av bränslet (ca 15x15 cm), lägga ut det på närmaste väg och antända det direkt (men se upp för vinden!).

Spridningshinder

Alla avbrott i den kontinuerliga bädden av finbränsle på marken kan potentiellt fungera som brandhinder, men det beror på omständigheterna om de skall vara effektiva eller ej. Redan ett så pass smalt, bränslefritt bälte som en gångstig, kan räcka för att stoppa en backande eld, eller en lågintensiv eld som rör sig med vinden. Å andra sidan kan en högintensiv eld lätt passera hinder av flera tiotals meters bredd. Man bör observera att det främst är linjära element som är viktiga brandhinder, även om de är förhållandevis smala. Små obrännbara partier (exempelvis en liten myr), kommer snart att överflyglas av elden.

Figur 26

Bäck med ett smalt bälte av myr och sumpskog intill. Övre bilden är tagen i början av maj och undre bilden i slutet av juli samma åt. Tidigt på säsongen, innan årets grönska hunnit upp, leder förnan elden. Om den har medvind tar den sig lätt över en smal bäck.



Hinderövergångar kan ske dels genom flamkontakt, dels via strålningsvärmen, och dels via glödande eller flämmande partiklar som lyfts av konvektionen (se Figur 27), färdas med vinden och antänder finbränslet på andra sidan hindret. För alla dessa tre mekanismer är medvindselden mångfaldigt mer effektiv att passera hinder än motvindselden: För medvindelden böjs flammorna in i riktning mot färskt bränsle, partikelregnet landar där också, och likaså blir värmning via strålning effektiv i medvindsriktningen. För motvindselden är det precis tvärt om. Dessutom är medvindselden, om alla andra faktorer är lika, vanligen flerfaldigt intensivare. Motvindselden tenderar alltså att fastna även vid små hinder som stigar och små bäckar. Ett memento är dock att vindriktning under somardagar kan vara ganska ostadig. Det kan räcka med en kort episod av kontravind för att aktivera motvindselden och orsaka hinderövergång.

Det finns inga publicerade studier av sambandet mellan medvindseldens intensitet och dess förmåga att passera hinder av olika bredd. Försök med antändning av plankväggar via strålningsvärme ger vid handen att man efter tre minuters exponering kan få antändning på ett avstånd ungefär motsvarande flamlängden. I motsats till situationen vid husbränder blir exponeringstiden vid skogsbrand kort, och tre minuter kan möjligen vara en realistisk approximation när en flamfront närmar sig ett hinder och brinner ut vid gränsen.

Figur 27a De flesta "flygbränder" har sitt upphov i levande eller döda träd. När elden stiger längs trädet, blir konvektionen stark och brinnande partiklar lossnar och dras med uppåt. Här en tät gran som leder upp elden vid bränning av en myrholme.



Figur 27b Här en gammal torr björk under en hyggesbränning. Några av de brinnande näverstycken som lossnat från stammen är markerade med ringar. När det är en högintensiv eld, med kraftig konvektionsplym, kan sådant material färdas hundratals meter och starta nya bränder.



En mer effektiv hinderövergång sker via kast av större eller mindre glödande och flammmande partiklar. Det finns enkla modeller som beskriver detta, och de styrande variablerna är konvektionens styrka, lateral vindhastighet, fallhastighet och brinntid för de partiklar som dras iväg, samt de färskas bränslenas antändningsvillighet. Generellt gäller att högre brandintensitet genererar ett mer intensivt partikelregn, som når längre sträckor, men mycket beror också på vad som utgör de partikelgenererande strukturerna. Från markytan är lyftförmågan av partiklar blygsam även vid hög brandintensitet, men så fort elden går upp i trädkronor ökar denna dramatiskt, på grund av att den uppåtgående luftströmmen där är så stark. Även om elden bara klättrar i enstaka träd, rivs stora mängder barkflagor, barr och små torrkvistar loss, och förs iväg flera tiotals meter. I Figur 27a visas ett sådant exempel i samband med bränning

av en myrholme med blandad tall och granskog i Västerbottens inland. Några granar brann upp i toppen och gav upphov till antändning i starrförna ca 150 meter ut på den kringliggande myren. Det var vid tillfället svag vind (ca 2 m/sek).

Små partiklar som förs högt upp hinner brinna ut innan de når markytan, varför de farligaste är de med lång brinntid och samtidigt långsam fallhastighet (de lyfts alltså högt och bärs långt). Ett sådant material är näver, som lätt kan rivas loss från gamla flagiga torrbjörkar (Figur 27b). Näver har dessutom stor chans att antända finbränslet när det väl landat på marken, genom att det ofta brinner livligt med öppen låga.

Försök har visat att finbränslets fukthalt är mycket viktig för antändningsförmågan hos små glödande partiklar. Ju torrare det mottagande bränslet är, dess mindre impuls (dvs. mindre glödande partikel) behövs för att initiera en livskraftig glöd i det. Erfarenhetsmässigt ökar riskerna kraftigt när RH är 30 % eller lägre. Detta motsvarar FPMC 91. En ytterligare riskfaktor vid så låga fukthalter är att elden börjar vilja klättra uppför även grenfria trädstammar, vilket ökar risken att elden antänder kronorna.

En fullt utvecklad kronbrand, där en sammanhängande flamfront förtär allt finbränsle från markytan till trädtopparna, och där flammorna når högt över träden, är i vårt land nästan alltid driven av en ganska stadig vind. Man kan då inte räkna med att ens breda bilvägar skall stoppa elden. I de flesta fall är det antagligen flygbränder som orsakar hinderövergången, snarare än strålningsvärme eller flamkontakt. En energisk och vaksam jakt på flygbränder kan vara effektiv, men oftast har man uppmärksamheten riktad mot den annalkande elden, och den täta röken i vindriktningen gör det svårt att observera och bekämpa små flygbränder som startat på andra sidan hindret.

Vissa "brandhinder" är permanenta. Det gäller stigar, vägar och vattendrag. Även om en bäck torkar ut, brukar de exponerade stränderna vara bränslefria. Andra hinder är villkorade. Dels kan det vara säsongsmässiga förändringar, som för många bäcknära miljöer där man har en rik gräs- och starrförna under våren och försommaren, men intensiv grönska sent under sommaren (se Figur 26). Det brandhinder som "bäcken" utgör kan då ha vidgats från ett par meter (själva bäckfåran) till tiotalet meter eller mer (bäckfåra med intilliggande gräs-ört-starrvegetation). För myrar och sumpmarker kan man ha samma säsongsdynamik, men också en tydlig skillnad beroende på hur avancerad torkan är. De flesta

myrar och sumpskogar har ett bottenskikt av olika vitmossor (*Sphagnum*), vilka effektivt leder upp vatten genom kappillär stigning mot ytan. Så länge vitmossan är fuktig brukar elden stoppa mot dessa områden (fuktgränsen ligger som för andra finbränslen strax över 20 %). Övriga finbränslen räcker ofta inte för att bära elden (utom om det är riklig gräs/starrförna). När väl torkan sänkt grundvattenytan och fukthalten sjunker i vitmossans ytskikt blir den plötsligt ett effektivt bränsle, och myren eller sumpskogen är inte längre något hinder för elden (se bild till biotopbeskrivning för lågstarrmyr). Det är en mycket stor variation i upptorkningen av den här typen av miljöer, men i allmänhet krävs en nederbördsfri tid av i storleksordningen tio dagar eller mer. Den säkraste bedömningen görs på plats. När vitmossan börjar kännas lätt och torr, och en smula spröd i ytan, kan man räkna med att den brinner.

Även om ett brandhinder är smalt och inte ensamt kan hindra en annalkande eld, kan det nyttjas som utgångspunkt för en uppvattning, eller för skyddsavbränning. I det senare fallet utnyttjar man hindret, exempelvis en mindre bäck, som stöd för en avbränning upp mot vinden och den annalkande skogselden. Det första tändslaget läggs så nära hindret att elden inte får någon egentlig medvindsfas, för att minimera risken att man skall tappa den över hindret. Beroende på hur lång tid man har till förfogande, vilka bränslen det rör sig om, hur stark vinden är etc., görs successivt ett antal ytterligare tändslag på lämpliga avstånd upp mot vinden. När så skogselden väl har nått fram har man förhoppningsvis hunnit skapa ett tillräckligt brett hinder. Detta var tidigare den gängse metoden att stoppa högintensiva bränder i vårt land och är så än idag i de delar av världen där skogsbränder är ett allvarligt problem. Metoden kräver mycket bra organisation, terrängkännedom och god kunskap om brandbeteende. Samt helst effektiv tändutrustning (se Figur 27).

Figur 28 Tändning med "tändkanna", som är ett effektivt instrument för att snabbt anlägga en tändlinje. Kannan är fylld med diesel/ bensin (80/20 %) eller lysfotogen, och har en ständigt brinnande veke i änden av ett mynningsrör. När man böjer ner röret faller brinnande droppar mot marken och antänder snabbt finbränslet. Observera att bilden inte visar skyddsavbränning.



5 Brandriskmodeller och information om brandrisk

I Sverige används två olika modeller för att ge information om brandrisk i vegetation. SMHI producerar på uppdrag av Räddningsverket kartor med denna information. Informationen om brandrisk ges via flera olika media. Det finns ett omfattande lösenordsskyddat Internetsystem för främst landets räddningstjänster och enklare kartor via Räddningsverkets hemsida (se figur 5.2 och 5.3). Dessutom är det vanligt att media vid stor brandrisk förmedlar informationen till allmänheten. Även väderprognoserna ger information om brandrisk.

HBV-modellen

HBV-modellen är en hydrologisk avrinningsmodell som utvecklats vid SMHI. Modellen är grunden till den hydrologiska prognos- och varningstjänsten och har använts operationellt i över 20 år. Tidigare har man för brandriskprognoser beräknat markvattenhalten i ett ytligt markskikt, men från år 2002 har modellen vidareutvecklats och beräkningar görs av markvattenhalter både i ett ytligt och ett djupare markskikt, som sedan vägs samman till ett värde. Den maximala magasineringen i det övre markskiktet är 20–25 mm beroende på läget i landet. Det undre markskiktet kan maximalt magasinera 180–225 mm vatten.

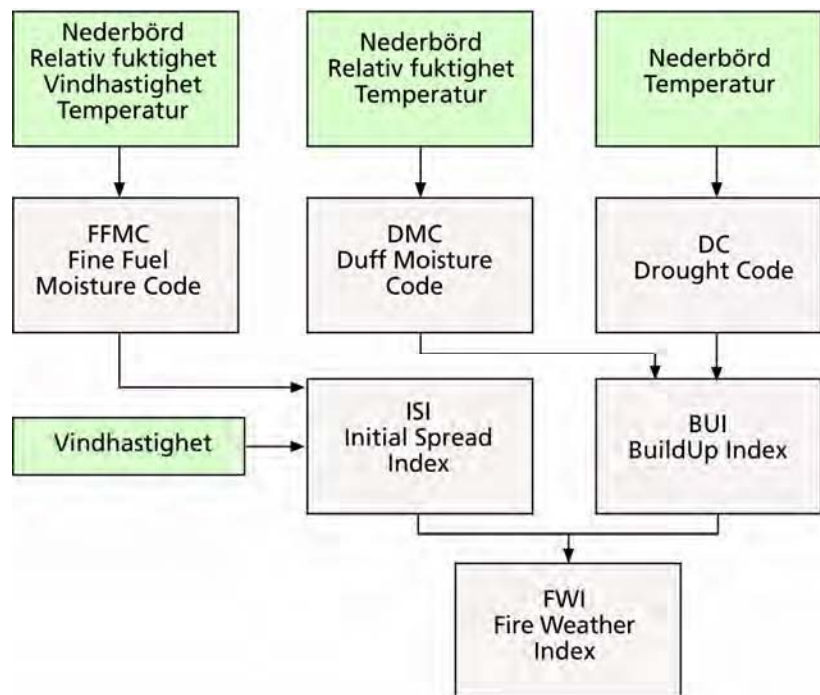
Fuktigheten i markskikten bestäms av nederbörd, snösmältning, avdunstning och avrinning till djupare markskikt. Hur stor andel av en viss regnmängd som kan hållas kvar i markskikten är beroende av den aktuella markfuktigheten. Om marken är torr kan stor del av regnmängden magasineras i marken, men om marken redan är blöt förs en stor del av regnet vidare till avrinning. Avdunstningen beror på potentiell avdunstning och markfuktighet. Den nya flerskiktade HBV-modellen beskriver växtlighetens vattentillgång och vatteninnehåll på ett mer nyanserat sätt än tidigare modell, vilket ger en bättre beskrivning av de fuktighetsförhållanden som har störst betydelse för antädningsrisken i skogsmark. Som indata till modellen används dygnsvärden för nederbörd och lufttemperatur.

Aktuell markfuktighet anges i procent av den maximala vattenmagasineringen i respektive markskikt, dvs. sjunkande värden anger ökad uttorkning och därmed ökande brandrisk. Ett sammanfattande markfuktighetsvärde beräknas av fuktighetsunderskotten i de båda markskikten. För att ta hänsyn till fukt på vegetation görs en korrektion av detta medelvärde under regniga dagar.

FWI-modellen

Den kanadensiska FWI-modellen för brandriskbedömning ingår i ett större modellsystem för bedömning av brandrisk och brandbe-
teende kallat *Canadian Forest Fire Danger Rating System* (CFFDRS). Delmodellen för brandriskbedömning är *The Canadian Forest Fire Weather Index System* (CFFWIS) med det ingående huvudindexet kallat *Fire Weather Index* (FWI).

Figur 5.1 Schematisk bild av vädervariabler och delindex som ingår i FWI-modellen



Brandriskbedömningen i FWI-modellen bygger på beräkning av tre grundvärden för fukthalter i olika skikt. Indata till beräkningen är temperatur, relativ fuktighet och vindhastighet kl. 14.00, samt dygnsnederbörd kl. 20.00–20.00.

Värdet på brandrisken enligt FWI-modellen räknas fram med utgångspunkt ur följande värden.

- FFMC (*Fine Fuel Moisture Code*) representerar fuktigheten för blad och gräs. Den maximala vattenmagasineringsen i detta skikt är mindre än 1 mm. Ett lågt värde på FFMC anger hög fuktighet medan ett högt värde anger torka. FFMC-värdena befinner sig på en skala mellan 0–100. Antändligheten för skiktet inträffar normalt vid värden över 80. Värden över 90 innebär normalt extremt lätt antändlighet.
- DMC (*Duff Moisture Code*) representerar fuktigheten i ett något djupare skikt, t.ex. mossor och det ytliga markskiktet. Magasineringsen i detta skikt motsvarar ca 15 mm vatten. Ett lågt

värde på DMC anger hög fuktighet medan ett högt värde anger torka. DMC-värdena befinner sig på en skala mellan 0–1 000 men har ingen absolut övre gräns. DMC blir sällan över 100 i Sverige, men om det gör det så är det först efter en längre tids torka.

DC (*Drought Code*) visar fukthalten i tjocka kompakta humuslager (ca 100 mm vatten). Skalan för DC går från 0–800 men har ingen absolut övre gräns. Ett lågt värde visar hög fuktighet och ett högt värde visar torka. DC-värdet blir sällan över 600 i Sverige.

Påfyllnad och uttorkning av de olika skikten sker enligt olika empiriska samband som tagits fram i Kanada under många års studier av fuktighet i olika markskikt. Uttorkningsgraden för de olika skikten är i modellen exponentiellt avtagande med tiden.

Brandriskvärdet (FWI) beräknas ur de tre grundvärdena med hjälp av två mellanindex kallade ISI och BUI.

- ISI (*Initial Spread Index*) beräknas ur FPMC och förstärks av vindhastigheten. ISI kan ses som ett mått på brändernas spridningshastighet. Skalan för ISI sträcker sig mellan 0–500, där ett lågt värde anger låg spridningshastighet och ett högt värde anger hög spridningshastighet. Värden över 30 är mycket ovanliga för svenska förhållanden.

BUI (*Buildup Index*) beräknas som ett viktat medelvärde av DMC och DC och kan ses som ett allmänt fuktighetsmått för de något djupare markskikten. Ett lågt värde på BUI anger hög fuktighet medan ett högt värde anger torka. BUI-värdena befinner sig på en skala mellan 0–600 men har ingen teoretisk övre gräns. Värden över 100 är sannolikt mycket ovanliga i Sverige.

Det slutliga brandriskvärdet (FWI) beräknas ur en kombination av ISI och BUI. De olika indexen anges på sex separata skalor med stigande värden för ökande brandrisk.

Egenskaper i HBV- respektive FWI-modellen

HBV-modellen är en markfuktighetsmodell som baseras på nederbörd och lufttemperatur som indata. Modellen ger en bild av de uttorkningsförhållanden som har stor betydelse för framför allt antändningsrisken i skogsmark. FWI-modellen däremot utnyttjar även luftfuktighet och vindhastighet som indata och ger därmed ett

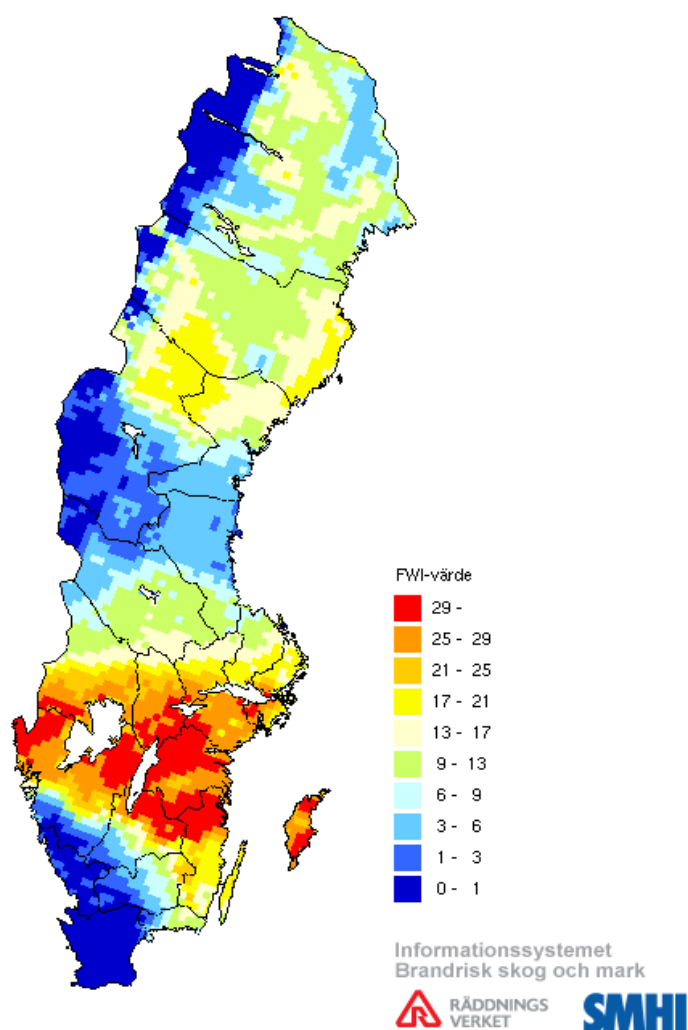
skogsbrandindex, vilket även inkluderar spridningsrisken vid skogsbrand. Tidigare har FWI-modellen inte tagit hänsyn till om marken är snötäckt eller inte, vilket ibland gett felaktiga brandriskvärden. Från år 2002 tar dock båda modellerna hänsyn till ett eventuellt snötäcke.

Användning av brandriskmodeller

SMHI meddelar varje dag aktuell brandrisk. Som stöd för detta används både FWI-modellen och HBV-modellen samt även andra väderdata.

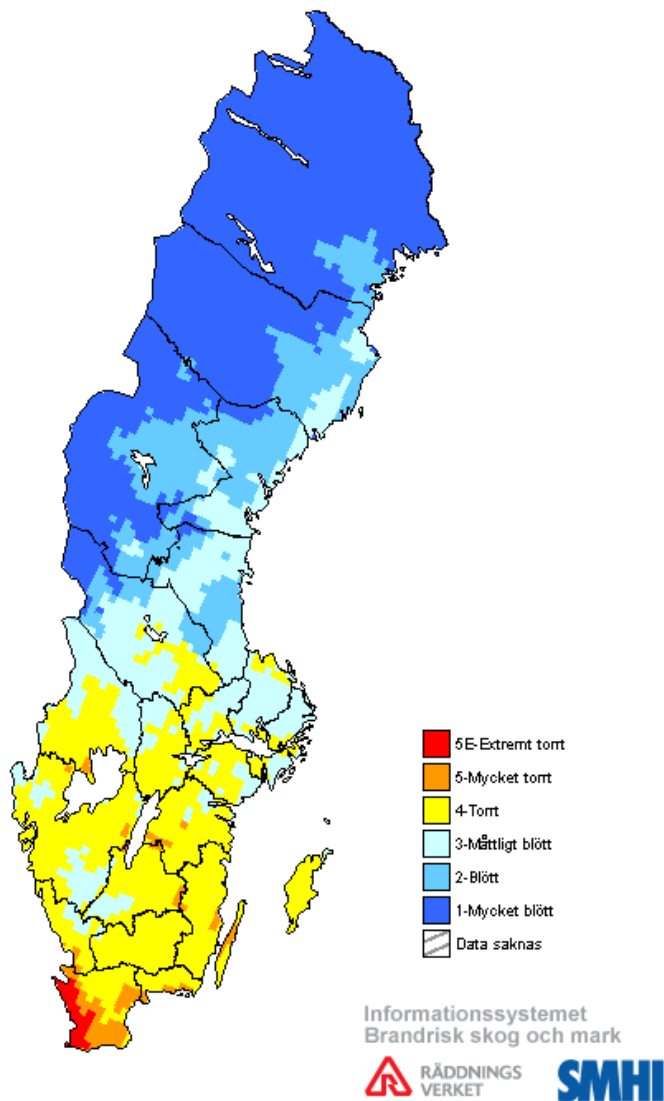
Figur 5.2 Kartan visar FWI-värden. Höga värden visar hög förväntad brandintensiteten vid en eventuell brand.

Analys FWI-värde gällande 2007-06-16



Figur 5.3 Skogsbrandriskkartan HBV anger vatteninnehållet i de markskikt som har störst betydelse för skogsbrandsfaran. Graden av uttorkning i marken påverkar vegetationens vattentillgång och vatteninnehåll och har därmed stor betydelse för antändningsrisken i skogsmark.

Analys skogsbrandrisk HBV gällande 2007-05-06
(antändningsrisk och markfuktighet)



6 Nuläge bränder

Olika typer av brand i vegetation har förekommit i Sverige sedan årtusenden. En heltäckande längre tids statistik saknas men vissa uppgifter finns sammanställda från mitten av 1950-talet (se tabell 6.1). En del av dessa bränder kan betraktas som naturliga t.ex. de som orsakats av åsknedslag och som i stor omfattning tidigt påverkat det svenska skogslandskapet.

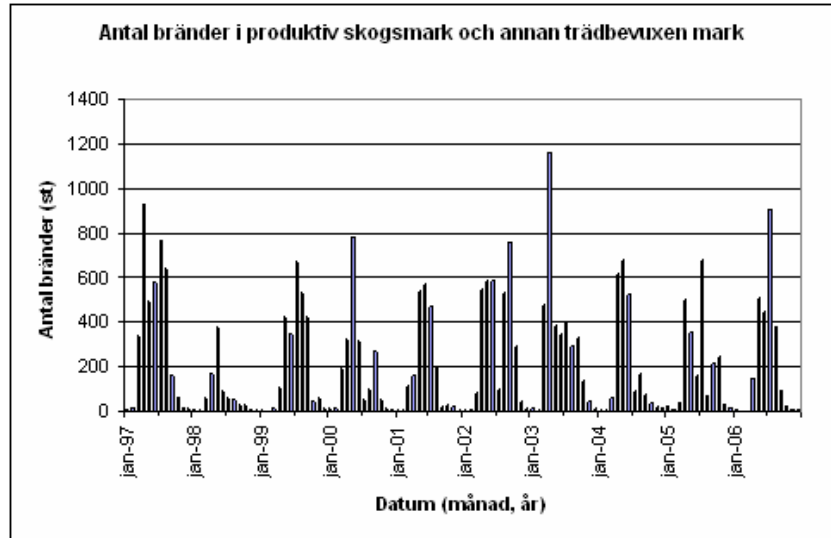
I Lagen om skydd mot olyckor (LSO) anges att kommunen ska svara för att begränsa skador på egendom eller i miljön vilket innebär att då lagens krav är uppfylla att den kommunala räddningstjänsten släcker de skogsbränder och andra vegetationsbränder som t.ex. gräsbränder eller bränder i myrar eller torvmossar som uppkommer naturligt eller på grund av mänskliga aktiviteter.

Tabell 6.1 Skogsbrandstatistik Sverige, Räddningsverket, 2003. Den största branden 1999, Tyrestabranden, ingår inte i statistiken. Den avbränd arealen var ca 450 ha.

Årtal	Antal skogsbränder	Avbränd areal (hektar)
1954	578	714
1955	2 528	4 319
1956	1 455	1 841
1957	1 501	1 130
1958	1 607	1 606
1959	7 039	9 000
1960	2 480	3 308
1961	1 360	1 086
1962	1 254	724
1963	1 904	3 348
1964	3 099	5 042
1965	2 196	2 070
1966	2 136	4 313
1967	1 637	1 665
1968	2 395	5 297
1969	4 276	5 601
1970	2 571	4 276
1971	3 988	3 513
1972	3 062	3 054
1973	5 799	4 268
1974	5 832	6 828
1975	5 833	6 887
1976	—	4 222
1977	—	688
1978	—	1 591
1979	—	417
1980–1991	—	—
1992	—	5 808
1993	—	—
1994	2510	3 150
1995	1100	400
1996	6240	2 181
1997	8434	6 386
1998	2494	422
1999	4694	1 326
2000	4650	1 553
2001	4774	1254
2002	6000	2500

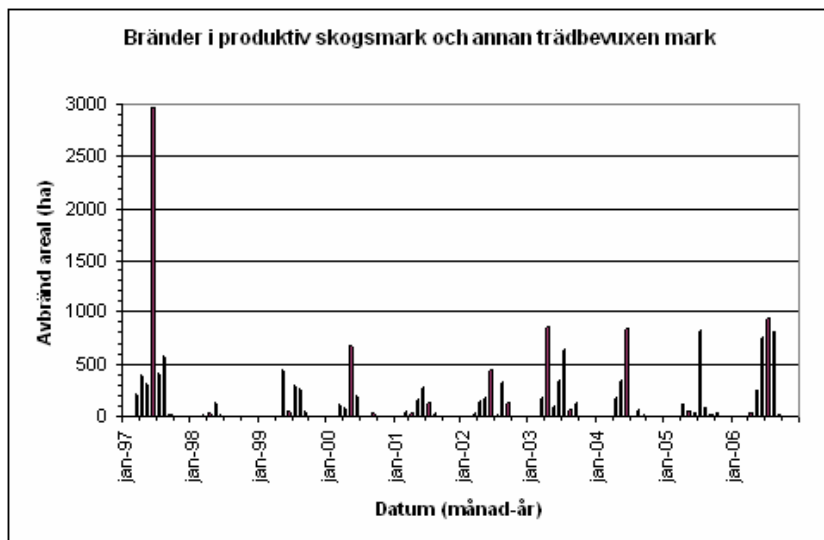
Antalet bränder varierar både mellan åren men också under året (se figur 6.1). Störst antal bränder förekommer under månaderna april till juli.

Figur 6.1 Antalet bränder i produktiv skogsmark och annan trädbevuxen mark under åren 1997 till 2006.



Även andelen avbränd areal varierar både inom året och mellan olika år, se figur 6.2. Juni 1997 var ett extremt år då nästan 3 000 hektar brändes av.

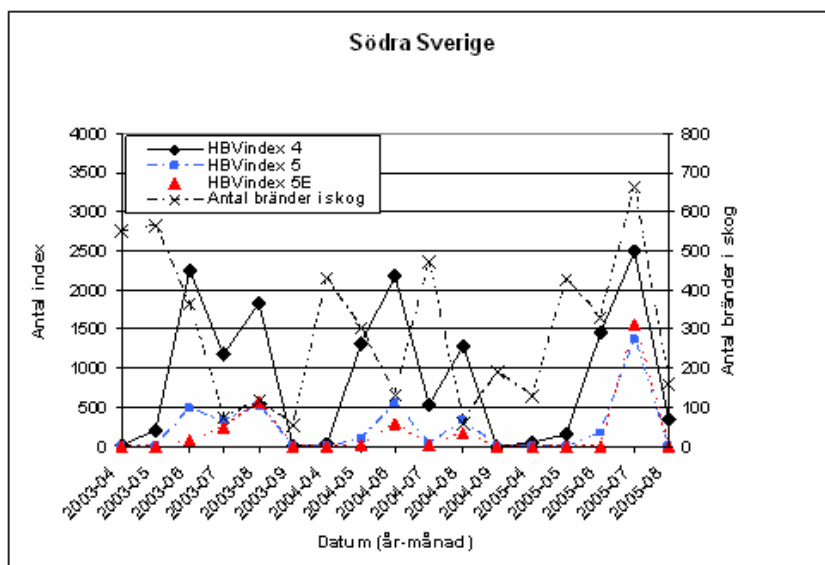
Figur 6.2 Avbränd areal för produktivskogsmark och annan trädbevuxen mark 1996–2006. Variationen av avbränd areal kan vara stor mellan åren och 1997 berodde detta främst på tre stora bränder tidigt på året (Östersund, Ånge och Sollefteå ca 2 500 ha tillsammans). Det ska dock noteras att Tyrestabranden 1999 (450 ha) och Bodenbranden 2006 (1 900 ha) inte redovisas i statistiken.



Antalet bränder i produktiv skogsmark och annan trädbevuxen mark varierar mellan olika år men också mellan olika månader inom respektive år (se figur 6.1 och 6.2). Även antalet brandindex (HBV-index) för de tre högsta brandklasserna varierar olika månader och uppvisar en variation mellan olika år (se figur 6.3). I figur 6.3 kan en viss samvariation ses mellan högt antal bränder och högt antal HBV-index för klass 4, 5 och 5E.

Höga värden på HBV-indexet betyder torra förhållanden i de övre markskikten. En korrigering i modellen tar dessutom hänsyn till att luftfuktigheten är högre under regniga dagar och att fukt finns på vegetationen som sänker brandfaran. Korrelationen (se figur 6.3) är olika stor för höga HBV-index och antalet bränder. För dessa tre år är korrelation bäst under högsommaren. Under vårmånaderna finns flera osäkerhetsfaktorer som t.ex. hur bränderna har klassificerats som gräs- eller skogsbrand/annan brand. För gräsbränder har den aktuella luftfuktigheten stor betydelse.

Figur 6.3 Figuren visar hur antalet HBV-index för de högsta klasserna 4, 5 och 5E varierar under april–september under åren 2003, 2004 och 2005 för södra Sverige. På andra y-axeln presenteras variationen i antalet bränder i produktiv skogsmark och annan trädbevuxen mark för södra Sverige under samma period.



7 Förebyggande åtgärder och släckresurser

Förebyggande åtgärder och legala grunder

Enligt lagen om skydd mot olyckor (LSO) har ägaren eller nyttjanderättsinnehavaren till byggnader och anläggningar skyldigheter som berör brandskyddsåtgärder. Av 2 kap. 2 § framgår således att skogsmark eller andra områden med vegetation inte omfattas.

En uppfattning är dock att den som äger egendom måste ta sitt eget ansvar för skyddet. Möjligheten att försäkra sin skog är en åtgärd som gör det möjligt för ägaren att skydda sig ekonomiskt.

I 2 kap. 7 § förordningen om lagen om skydd mot olyckor anges att länsstyrelsen och kommunen kan utfärda föreskrifter om förbud mot eldning utomhus eller om liknande förebyggande åtgärder. Här torde i paragrafens senare del också finnas möjlighet att

reglera även annan verksamhet i skogsbruket som kan antända skogen och starta en skogsbrand.

Enligt LSO kan ägaren via tjänsteplikt vara skyldighet att medverka i släckning av brand i sin skogsmark. Ägaren ska också utföra bevakning efter avslutad räddningsinsats som en skogsbrand. Räddningsverket har tolkat LSO som att ägaren till skog också har ett ansvar för att förhindra och förebygga bränder eller vidta andra brandskyddsåtgärder.

Räddningsverket har inte kunnat finna i någon annan lagstiftning att ägaren till skog har skyldigheter att vidta brandskyddsåtgärder i förebyggande syfte.

Nedan följer utdrag ur lag om skydd mot olyckor (LSO) (2003:778) med hänvisningar och kommentarer till lagen.

3 kap. (LSO) Kommunens skyldigheter

Förebyggande verksamhet

1 § För att skydda människors liv och hälsa samt egendom och miljön skall kommunen se till att åtgärder vidtas för att förebygga bränder och skador till följd av bränder samt, utan att andras ansvar inskränks, verka för att åstadkomma skydd mot andra olyckor än bränder.

Kommunerna skall ta till vara möjligheterna att utnyttja varandras resurser för förebyggande verksamhet.

2 § En kommun skall genom rådgivning, information och på annat sätt underlätta för den enskilde att fullgöra sina skyldigheter enligt denna lag.

Kommentar: kommunen ska se till att själv vidta åtgärder och kan alltså ge råd och information om vad man bör göra i för att förebygga bränder. Enligt 5 kap (tillsyn) kan föreläggande och förbud göras i enskilda fall.

I propositionen till LSO anges att den enskild själv har skyldighet att ingripa vid olyckshändelser och att lagens syfte inte är att föra över kostnader till samhället. Lagstiftaren har valt att inte aktivt införa en regel som direkt skulle kunna gett den enskild skyldigheter att vidta förebyggande åtgärder mot brand i vegetation. Text nedan från proposition 2002/03:119 sid 50–51 och 69.

Principen om den enskildes primära ansvar

Syftet med gällande räddningstjänstlagstiftning är inte att befria den enskilde från ansvar och kostnader för ingripanden vid olyckshändelser och föra över ansvar och kostnader på det allmänna. Av förarbetena framgår tydligt att lagens syfte i stället är att det allmänna skall hålla en organisation som kan gripa in när den enskilde inte själv eller med anlitande av någon annan klarar av att bemästra en olyckssituation. Det allmänna skall ingripa när det framstår som rimligt att detta skall ansvara för de åtgärder som behövs för att avvärja eller begränsa en skada (jfr prop. 1985/86:170 s. 63). Regeringen vill särskilt framhålla att den nya lagen inte innebär någon ändring av denna ordning. Tvärtom betonas den enskildes ansvar på området i den nya lagen, t.ex. genom den nya ordningen som ersätter brandsyn (se avsnitt 6.1.2 nedan). Den enskilde – fysisk eller juridisk person – har således ett primärt ansvar för att skydda sitt liv och sin egendom och att inte orsaka olyckor. I första hand ankommer det på den enskilde att själv vidta och bekosta åtgärder i syfte att förhindra olyckor och begränsa skador till följd därav. Samhället utövar tillsyn över de mer specifika skyldigheter som den enskilde har i dessa avseenden enligt olika lagstiftningar. Först om en olycka inträffar eller överhängande fara råder för att en olycka skall inträffa och den enskilde inte själv eller med anlitande av någon annan kan klara av situationen, är det samhällets skyldighet att ingripa. Räddningstjänstbegreppet har konstruerats med utgångspunkt i denna princip (jfr avsnitt 6.2). Utredningen har föreslagit att det i den nya lagen skall föras in en särskild bestämmelse enligt vilken det åligger var och en att vidta skäliga åtgärder till skydd mot olyckor. Juridiska fakulteten vid Lunds universitet och Kemi-kontoret har invänt att man bör precisera vad den enskildes allmänna ansvar omfattar. Utredningens syfte med den föreslagna bestämmelsen är visserligen endast att ge uttryck för den existerande principen om den enskildes ansvar på området. Regeringen anser dock att det skulle föra alltför långt och medföra betydande svårigheter av rättslig art att låta denna princip komma till uttryck i en lagbestämmelse. En sådan svårighet är att i lagtexten avgränsa omfattningen av den enskildes ansvar. En annan svårighet är att fastställa bestämmelsens relation till annan lagstiftning, t.ex. på de straff- och skadeståndsrättsliga områdena. Några särskilda sanktioner har utredningen inte heller tänkt skall knytas till regeln. Mot bakgrund av vad som nu sagts menar regeringen att den nya lagen inte bör innehålla någon allmän regel av det slag som utredningen föreslagit.

”Skyldigheten för samhällets organ att ingripa måste vara begränsad för att inte äventyra effektiviteten hos räddningstjänstorganisationen. För att en insats med anledning av en olycka eller överhängande fara för en sådan skall företas måste det vara angeläget att så sker. Skyldighet att ingripa föreligger enligt 2 § Räl endast om det med hänsyn till behovet av ett snabbt ingripande, det hotade intressets vikt, kostnaderna för insatsen och omständigheterna i övrigt är påkallat att staten eller kommun svarar för insatsen. Var och en av dessa förutsättningar måste föreligga för att staten eller en kommun skall vara skyldig att ingripa. Syftet är, liksom tidigare konstaterats (avsnitt 6.1.1), således inte att befria den enskilde från ansvar och kostnader för ingripanden och i stället föra över ansvar och kostnader till det allmänna. Lagens syfte är att det allmänna skall hålla en organisation som kan gripa in när den enskilde inte själv eller med anlitan av någon annan kan klara av en olyckssituation. Det allmänna skall ingripa när det framstår som rimligt att detta svarar för de åtgärder som behövs för att avvärja eller begränsa en skada (prop. 1985/86:170 s. 63).”

Efterföljande åtgärder

9 § En räddningsinsats är avslutad när den som leder insatsen (räddningsledaren) fattar beslut om detta. Beslutet skall redovisas i skriftlig form. När en räddningsinsats är avslutad skall räddningsledaren, om det är möjligt, underrätta ägaren eller nyttjanderättshavaren till den egendom som räddningsinsatsen har avsett om behovet av bevakning, restvärdeskydd, sanering och återställning.

Behövs bevakning med hänsyn till risken för nya olyckor men kommer bevakningen inte till stånd, får räddningsledaren utföra bevakningen på ägarens eller nyttjanderättshavarens bekostnad.

Polismyndigheten skall lämna den hjälp som behövs.

Kommentar – det är markägaren som har ansvaret att bevaka efter en brand.

5 kap. Tillsyn

1 § Tillsyn över efterlevnaden av denna lag och föreskrifter som har meddelats med stöd av lagen utövas av en kommun inom kommunens område och av länsstyrelsen inom länet. Statens räddningsverk eller, i fråga om statlig räddningstjänst, den myndighet som regeringen bestämmer, utövar den centrala tillsynen.

2 § För tillsynen har tillsynsmyndigheten rätt att få tillträde till byggnader, lokaler och andra anläggningar. Tillsynsmyndigheten har också rätt att få de upplysningar och handlingar som behövs för tillsynen.

Tillsynsmyndigheten får meddela de förelägganden och förbud som behövs i enskilda fall för att denna lag eller föreskrifter som meddelats med stöd av lagen skall efterlevas.

Beslut om föreläggande eller förbud får förenas med vite. Om någon inte vidtar en åtgärd som denne är skyldig att vidta enligt tillsynsmyndighetens föreläggande, får myndigheten vidta åtgärden på dennes bekostnad.

Samhällets beredskap för skogsbränder hos kommunerna, staten, m.fl.

Antalet brandmän i beredskap och brandstationer har minskat med tiden (Räddningsverkets 2002) och för närvarande kan inte något trendbrott bedömas ske. En följd av denna minskning av beredskapsresurser är att det generellt tar längre tid innan en släckningen kan påbörjas av en skogsbrand. Detta leder ofta till flera styrkor måste larmas ut till en skogsbrand och den samlade förmågan att genomföra släckningen kommer att ta längre tid. Det innebär att den genomsnittliga avbrända arealen blir större. Eftersom bränder generellt blir större krävs också mer resurser för att släcka dem.

En ofta använd resurs vid skogsbrandsläckning har varit försvarsmakten. Dessa resurser har också minskat. Under 1990-talet fanns det ofta möjlighet till bistånd av t.ex. förvarets helikoptrar för släckning i skog. Möjligheten är idag begränsad och också regionalt ojämn. En handfull privat helikopterföretag lämpade för skogsbrandsläckning finns också i landet men endast ett fåtal län eller kommuner har ingått avtal som försäkrar dem om dessa resurser.

Den kommunala räddningstjänsten finns spridd i hela riket men med en betydande täthet i södra delarna (se figur 7.1). På grund av att räddningsstyrkorna har ganska få personer i beredskap måste ofta flera styrkor larmas.

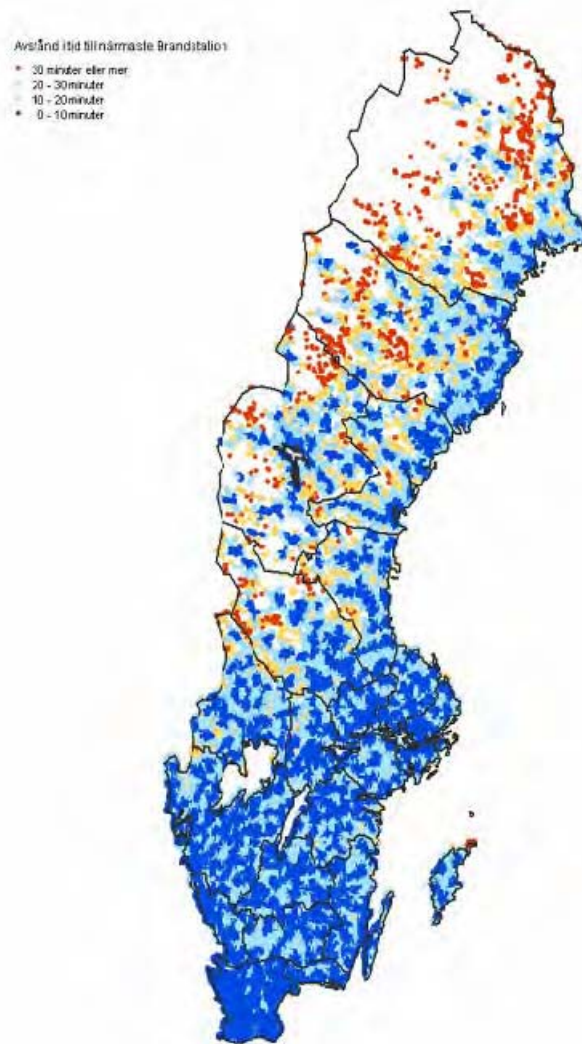
I figur 7.2 framgår att i södra och östra delen av Sverige är tiden för insats normalt kortare än 30 min. I den nordvästra delen av Sverige med början i norra Värmland är tiden för att räddningstjänsten ska nå fram ofta längre än 30 min. Tiderna avser tiden till

boende varför tiden för insats i skogsterräng ofta kan bli avsevärt längre.

Figur 7.1 Karta över lokalisering av brandstationer i Sverige.



Figur 7.2 Karta från Glesbygdsverkets rapport December 2006.

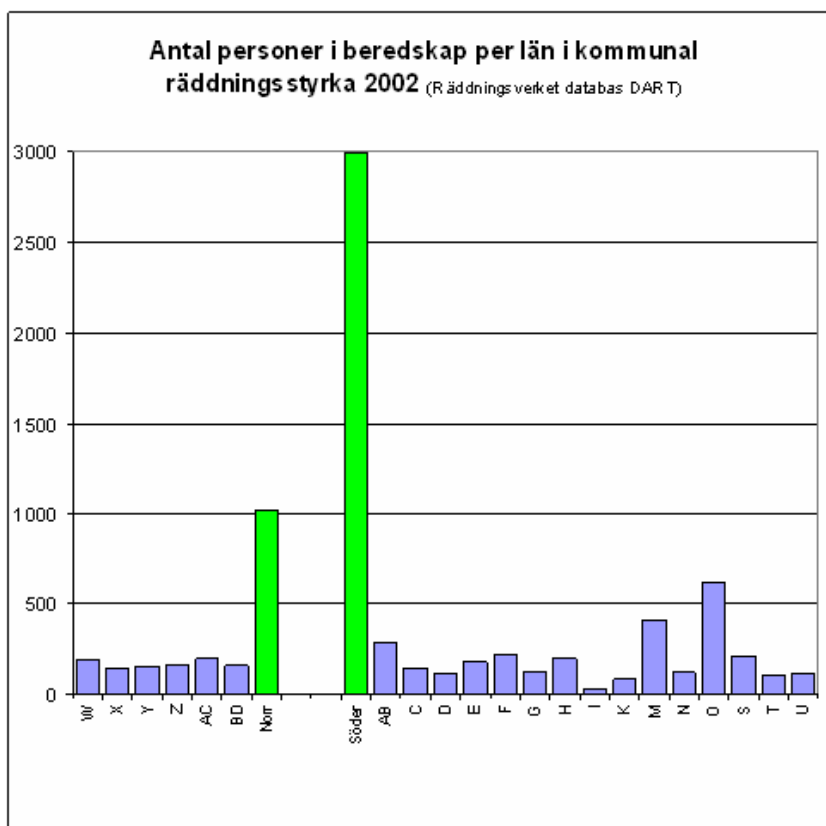


Exkl. befolkning på öar utan fast anförbindelse.
Källa: Räddningsverket, Glesbygdsverkets bearbetning.

Totalt fanns det 736 brandstationer i Sverige vid året slut 2002 (se figur 7.3). Totalt fanns 4 018 personer i beredskap i landet. I norra Sverige fanns det totalt 1 023 i beredskap varav 159 var heltidskompetenser och 864 deltid. I södra Sverige fanns det totalt 2 995 i beredskap varav 805 var heltidskompetenser och 2 190 deltid.

Den senaste 30-års perioden har antalet brandstationer och antalet personer i beredskap minskat. I SOU-utredning 1981:82 reviderades antalet personer i beredskap för våren 1980 till 4 942. Antalet brandstationer är något osäkert men torde då ha varit fler än 770 st. På drygt 22 år har antalet personer i beredskap minskat mer än 900. För 20 år sedan var det mer än 20 % fler i beredskap.

Figur 7.3 Antal personer i beredskap kommunal räddningstjänst, december 2002 för södra och norra Sverige uppdelat per län. Räddningsverket, 2002.



Räddningsverket har också viss utrustning i olika depåer som utgör förstärkningsresurser till kommunerna. Denna utrustning är delvis en ersättning för de stora materiella resurser som staten tidigare lagrade i civilförsvarsförråden.

Skogsbrandsmaterielen är uppbyggd i totalt 24 moduler. En modul består av utrustning för tre eller fyra stycken 20-fots containrar och är dimensionerad för en skogsbrand på 500 hektar. Innehållet i en modul består av:

- 540 grovslangar (13 500 meter)
- 180 smalslangar (3 600 meter)
- 50 strålrör
- 50 grenrör
- 5 motorsprutor (1 klass 3, 4 klass 2)
- Hackor, spadar, krattor, yxor, sågar, verktyg, ståltrådsborstar, strilkannor, vattendunkar.

Regeringen beslutade den 19 april 2007 att återinföra stödet för skogsbrandbevakning genom flyg över hela landet. Det innebär att alla län har rätt att söka statliga medel från Räddningsverket för att kunna bedriva skogsbrandbevakning genom flyg. Länsstyrelsen har ansvaret för skogsbrandsbevakning med flyg och beslutar enligt Räddningsverkets riktlinjer om bevakning med flyg ska bedrivas i länet. Därefter beslutar länsstyrelsen om omfattningen av bevakningen, till exempel om flygslingornas uppläggning och hur ofta bevakning ska utföras.

8 Hur påverkas den svenska skogen av klimatförändringen

Detta kapitel är författat av Sveriges lantbruksuniversitet och består av utdrag ur Bergh et al. 2006.

Ökad biomassa i skogen som följd av ökad tillväxt

Ett förändrat klimat innebär att produktionsförutsättningarna ändras för våra trädslag om SWECLIMs scenarier visar sig vara sanna (Bergh et al. 2006). I vårt kärva vinterklimat skulle en ökad temperatur och koldioxidhalt sannolikt öka produktionen för de flesta

trädslag i Sverige. Detta förutsatt att inte nederbörden minskar drastiskt. En ökad temperatur vår och höst leder till en förlängd växtsäsong och att mer av solljuset kan utnyttjas till fotosyntes- och biomassproduktion (Bergh et al, 2003). Detta leder sannolikt till en ökad biomassa- och stamvedsproduktion för samtliga våra trädslag i Sverige. Detta skulle kunna innebära att den årliga tillväxten, som idag är ca 100 miljoner m³ stamved per år, blir 120–130 miljoner m³. Detta kan då innebära att den stående biomassan ökar och mängden biomassa per m² ökar. Om så blir fallet beror helt och hållet på om man väljer ta ut den ökade tillväxten eller inte och i viss mån på skötselprogram. Det är internationellt känt att skötta skogar är mindre brandbenägna än skogar som lämnas för fri utveckling. Med tanke på att skogsindustrin behov av skogsråvara förväntas öka, samtidigt som behovet av bioenergi från skogen kommer att öka kraftigt, är det troligt att på 20–50 års sikt avverkar vi i samma nivå som tillväxten i skogen. Detta skulle innebära att mängden biomassa per arealsenhet inte ökar nämnvärt.

Förändringar av växtsamhällen

Detta är inte lätt att säga något säkert om hur växtsamhällena kommer att förändras. Ljusklimatet och näringsförhållandena i marken är de två faktorer som har störst inverkan på fältvegetation. Naturligtvis spelar nederbördsklimatet, marktextur och markfuktigheten roll.

Fältvegetation har man främst i ungskogsfasen och under slutet av omloppstiden då marken i beståndet får mer ljus pga. glesare trädsikt. I ett förändrat klimat med ökad produktion skulle omloppstiden förkortas något och beståndet sluta sig lite snabbare (kortare ungdomsfas). I ett fullslutet bestånd (exempelvis gran) finns inget fält- eller bottenvegetation för att endast en liten mängd ljus når marken. I norra norrland och stora delar av södra norrland sluter sig skogen aldrig riktigt. Därför borde effekten av slutenhetsgrad vara störst i norra Sverige. Om vi alltså ser till medelålders bestånd borde vi få en minskning av fältvegetationen och i södra och mellersta Sverige borde det inte ändras nämnvärt i medelålders bestånd. När det gäller näring kan ett förhöjt temperaturklimat öka mineralisering av näringsämnen och öka tillgängligheten för träden och fältvegetation och gynna fältvegetation som kan utnyttja förbättrade näringsförhållanden. Effekten av detta borde vara störst i

plant- och ungskogar och äldre utglesade skogar. Dessutom borde det ha större effekt i norra Sverige där näringen begränsar tillväxten i större utsträckning än i södra. Man kan väl tänka sig en fältvegetationsgradient när det gäller näringsförhållanden från låg till hög näringsstatus: lav – lingon, blåbärsris – smalbladigt gräs – bredbladigt gräs – lågört – högört. Man kan också tänka sig att fältvegetationsförhållanden man har i södra Sverige flyttas upp till mellersta och mellersta till norra. I södra blir det nog samma som vi har idag även i framtiden men kanske en viss skiftning mot högört och eventuellt att nya arter introduceras.

9 Förändrat klimat som påverkar brandrisken

Inledning

SMHI har ombetts leverera underlag till Räddningsverkets rapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen angående bedömning av risk och konsekvens av skogsbrand i ett förändrat klimat. I kapitel 9 i denna rapport redovisas SMHI:s sammanfattande dokument i sin helhet som bidrag till utredningen.

Dokumentet (dvs. kapitel 9 i denna rapport) innehåller en sammanställning av kartor som beskriver framtida förändringar av klimatet vilka bedöms vara intressanta vid värderingen av den framtida skogsbrandrisken. Kartorna utgör ett urval av de scenariekartor som Rossby Centre tidigare tagit fram på uppdrag av Klimat- och sårbarhetsutredningen, samt ett antal nya kartor som tagits fram särskilt för bedömningen av skogsbrandrisk. I texten förklaras och kommenteras scenariekartornas innebörd.

SMHI har även levererat utdata från klimatscenarier att användas för effektstudier med brandriskmodeller vid SLU i Umeå. I dokumentet anges vilka klimatmodeller som ligger till grund för de olika levererade scenarierna och modellernas egenskaper beskrivs kortfattat. En orientering ges också om erfarenheter från användning av klimatscenarier i hydrologiska effektstudier på SMHI.

Regionala klimatscenarier

En regional klimatmodell (RCM) behöver drivning på ränderna från analyserat väder eller från en global klimatmodell (GCM). För klimatscenarier behöver också modellen en beskrivning av atmosfärens innehåll av växthusgaser/partiklar i form av utsläppsscenarier, s.k. IPCC SRES.

I detta dokument hänvisas till

- två versioner av Rossby Centre's RCM, RCA3 och RCAO. Den senaste versionen av RCA är RCA3 från 2004 (Kjellström m.fl., 2005). En tidigare version är RCA2 från 2002 (Jones m.fl., 2004). Till RCA kan kopplas andra modeller. Ett sådant exempel är Rossby Centre's havsmodell (RCO) som beskriver hav och havsis (Meier m.fl., 2003). När de båda modellerna kopplas ihop talar vi om RCAO (Döscher m.fl., 2002). I det arbete som gjorts för sårbarhetsutredningen har resultat från RCA3 och RCAO (i det fallet med RCA2 som atmosfärsmodell) använts.
- tre olika randvärden. Ett randvärde som används för valideringssyfte är från återanalyserat väder, ERA40¹⁾, vilket motsvarar en så bra beskrivning av observerat väder vi kan göra idag på global skala. De övriga randvärdena används för scenarier och bygger på två olika GCMer, ECHAM4/OPYC3 som är en tysk modell från DKRZ, Deutsches Klimarechenzentrum GmbH, och Max-Planck institutet för meteorologi i Hamburg²⁾. HadAM3H är en engelsk modell från Hadley Centre vid Meteorological Office, UK³⁾.
- två olika IPCC SRES utsläppsscenarier, A2 och B2, där A2 representerar en högre nivå av växthusgaser i atmosfären vid århundradets slut jämfört med B2. SRES står för Special Report on Emissions Scenarios som är en av IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) utgiven rapport som beskriver de bakomliggande antagandena om världens utveckling de närmaste 100 åren (IPCC, 2000).
- Kombinationen av randvärde, utsläppsscenarie och RCM ger ett antal varianter av simuleringar som genomförts för olika tidsperioder:

Randvärde	IPCC SRES	RCM	Förkortning	Tidsperiod
ERA40	-	RCA3	RCA3-ERA40	1961–1990
ECHAM4/OPYC3	A2	RCA3	RCA3-E-A2	1961–2100
ECHAM4/OPYC3	B2	RCA3	RCA3-E-B2	1961–2100
ECHAM4/OPYC3	A2	RCA0	RCA0-E-A2	1961–1990 & 2071–2100
ECHAM4/OPYC3	B2	RCA0	RCA0-E-B2	1961–1990 & 2071–2100
HadAM3H	A2	RCA0	RCA0-H-A2	1961–1990 & 2071–2100
HadAM3H	B2	RCA0	RCA0-H-B2	1961–1990 & 2071–2100

I denna rapport redovisas enbart en delmängd av alla resultat från dessa simuleringar, oftast från RCA3-E-A2, RCA0-H-A2 och RCA0-H-B2.

Utvärdering av RCA

Utvärdering av RCA görs huvudsakligen där så kallade återanalyser (ERA40) används för att driva RCA. Resultaten från RCA, när den drivits av återanalysdata, kan alltså jämföras direkt mot observerat klimat. Dokumentation av sådana jämförelser finns bl.a. i Jones m.fl. (2004) och Kjellström m.fl. (2005). När RCA tar randvärden från en global klimatmodell kan man inte jämföra direkt mot observationer för någon särskild tidpunkt. Istället får man undersöka klimatologiska medelvärden och variabiliteten kring dessa. Denna typ av jämförelser finns i bl.a. Räisänen m.fl. (2003). Fel i den storskaliga cirkulationen i den globala modellen förs med till den regionala modellen och försvårar utvärderingen av den regionala modellen.

Utvärderingarna av RCA visar att modellen given realistiska randvärden kan återskapa huvuddragen i det observerade klimatet i Europa under de senaste decennierna med hög tillförlitlighet. Detta gäller både långtidsmedelvärden, säsongsvariationer och mellanårsvariabilitet. En del problem finns dock. Sommartemperaturerna i stora delar av norra Skandinavien är underskattade med ett 1–3 grader både i RCA0 och i RCA3. En tendens finns också till att dessa fel accentueras för de varmaste sommar dagarna (då maximitemperaturerna underskattas med 5–6 grader för många stationer). Vad gäller månadsnederbörden så överskattas den av både RCA0 och RCA3 i Skandinavien, särskilt under sommarhalvåret. Lokalt kan denna överskattning vara större än 50 %.

På grund av den begränsade upplösningen i RCA (typiskt 50x50 km rutor) kommer modellen att skvätta lite. Dvs. det blir fler dagar med lite regn i modellen än vad som förekommer i observationer. Över Sverige ger RCA nederbörd under ca 80 % av årets dagar jämfört med 60 % av dagarna enligt observationer. Konsekvensen blir givetvis att antalet fuktiga dagar blir för många i modellresultaten.

Användning av RCA-resultat i effektstudier

RCA-resultat levererade för brandriskmodellering

För brandriskutredningen av Räddningsverket genomför Anders Granström och hans grupp vid SLU, Umeå, simuleringar med brandriskmodellen FWI. I detta fall drivs FWI med resultat direkt från RCA3. Data som levererats till Anders Granström är lufttemperatur, relativ fuktighet, vindhastighet på 10 m höjd, 24 timmars ackumulerad nederbörd, snötäckningsgrad samt snödjup (vatten-ekvivalent). Data från följande simuleringar har levererats: RCA3-ERA40 (1961–1995), RCA3-E-A2 (1961–1990, 2011–2040 och 2071–2100), RCA3-E-B2 (1961–1990, 2011–2040) och RCAO-H-B2 (1961–1990 och 2071–2100). Drivningen av FWI med data från RCA3-ERA40 är avsett för en utvärdering och bedömning av möjligheten att driva FWI-modellen direkt med RCA-resultat.

RCA-resultat som indata till effektmodellering – erfarenheter från hydrologin

På SMHI har resultat från klimatmodeller använts för att tolka effekten av klimatets förändringar på hydrologin ända sedan de första klimatsimuleringarna genomfördes på Rossby Centre i mitten på 1990 talet. Alla tillämpningar som har genomförts inom klimat-hydrologi har inneburit någon form av bearbetning av klimatmodellernas utdata innan de har tillämpats i den hydrologiska modelleringen. Eftersom klimatmodellerna historiskt sett inte har kunnat generera utdata som är jämförbar med det väder som kan observeras, har andra metoder än att driva den hydrologiska modellen direkt med klimatmodellens indata utvecklats. Anledningen är att modellresultaten inte ger en trovärdig hydrologisk respons, om inga justeringar av modellerade drivdata görs.

För att belysa de svårigheter det innebär att använda klimatmodellernas resultat som drivdata för detaljerade effektmodeller, ges nedan en orientering om de olika metoder som utvecklats för att omsätta klimatscenarier till hydrologiska effekter. I jämförelse med brandriskmodeller är de hydrologiska modellerna troligen mindre känsliga för kvalitén på drivdata, eftersom avrinning oftast svarar långsammare på en nederbördsimpuls än vad t.ex. en gräsbrandsmodell gör för en förändring i relativ luftfuktighet.

För att kunna genomföra trovärdiga effektstudier med brandriskmodeller krävs en forskningsinsats som riktas specifikt mot just överföringen av klimatmodellens resultat till drivdata för brandriskmodellerna. Detta innebär fler variabler än de som hittills har använts av SMHI för de hydrologiska effektstudierna. Justering av variabler i klimatmodellen innebär även att energibalansen i modellen påverkas. I metoden för att överföra data är det därför viktigt att samtliga variabler som används är konsistenta. Som exempel kan nämnas att relationen och samspelet mellan nederbörd och relativ luftfuktighet också efter en eventuell korrigering måste vara oförändrad.

Delta-metoden

Den hittills mest använda metoden för att överföra data från klimatmodellerna till hydrologiska effektstudier är den så kallade *Delta-metoden*. Istället för att använda klimatmodellens utdata direkt i den hydrologiska simuleringen utgår *Delta-metoden* från skillnaden mellan klimatmodellens kontrollsimulering, vilken motsvarar dagens klimat (1961–1990), och scenariosimuleringen som svarar mot ett framtida klimat (2071–2100). Förändringen från klimatmodellen i de hydrologiskt mest relevanta variablerna, nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning, kombineras med en observerad databas för att skapa drivdata till den hydrologiska modellen, som gäller för ett framtida klimat.

Förändringen i nederbörd hanteras rättfram. Den procentuella förändringen, som erhålls från analysen av klimatmodellens resultat, används för att månadsvis justera den observerade nederbörden. Denna ansats innebär dock att ingen hänsyn tas till förändringar i antalet nederbördsdagar och inte heller till om nederbördsintensiteten förändras på olika sätt.

Vad det gäller förändringar i temperatur så görs dessa på ett mer sofistikerat sätt. Analyser av klimatmodellens resultat visar att låga temperaturer förändras mer än höga temperaturer. Överföringen av temperaturförändringen görs därför via månadsvisa linjära samband som förändrar temperaturen olika beroende på den aktuella dagens temperatur. Vid låga temperaturer blir därmed ökningen större än vid höga temperaturer.

Överföringen av förändring i potentiell avdunstning har gjorts med en tvåstegsmetod. Först extraheras den absoluta skillnaden i potentiell avdunstning för varje månad och den relativa skillnaden på årsbasis från klimatmodellen. Månadsskillnaden adderas till en tidsserie över potentiell avdunstning som har beräknats via temperaturobservationer. Därefter justeras denna förändrade avdunstningsserie på så sätt att den relativa skillnaden mellan kontroll- och scenariodata blir lika stor som skillnaden mellan kontroll- och scenariosimulering i klimatmodellen.

Scaling-metoden

Utvecklingen av klimatmodellen (RCA) ger allt bättre resultat vilket ökar möjligheten att använda resultaten på ett mer direkt sätt även för mer djupgående effektstudier. En sådan metod är den så kallade *Scaling-metoden*. Istället för att justera observationer så att de beskriver ett framtida klimat enligt klimatmodellen, så används observationerna till att justera klimatmodellens resultat till nivåer som överensstämmer bättre med observationer. Med Scaling-metoden bibehålls därmed den variabilitet, och även de förändringar i variabilitet, som ges av klimatmodellen.

För att erhålla en realistisk hydrologisk respons måste nederbörden från den regionala klimatmodellen ha liknande egenskaper som observerad nederbörd. När modellerad nederbörd från klimatmodellen jämförs med areell nederbörd som används i den hydrologiska modellen, visar det sig att klimatmodellen överskattar antalet nederbördsdagar. Till viss del beror detta på att i klimatmodellen används en annan upplösning än i den observerade areella nederbördsdatabasen, 2 500 km² jämfört med cirka 400 km². För att få samma antal dagar med nederbörd i klimatmodellens kontrollklimat som i observationer, används en tröskel under vilken all nederbörd sätts till noll (cirka 0.5 mm/dygn). Nästa steg i juster-

ingen är en intensitetsberoende skalering av den modellerade nederbörden så att samma antal dagar med en viss intensitet uppnås.

För temperatur och potentiell avdunstning görs justeringarna på ett mer direkt sätt. Jämförelser med observationer används för att justera klimatmodellens resultat under kontrollperioden så att korrekta månadsmedelvärden erhålls för dessa variabler.

För alla variabler (nederbörd, temperatur och potentiell avdunstning) antas samma korrekationer, som beräknats för den överlappande tidsperioden mellan observationer och klimatmodell (kontrollsimuleringarna), gälla även för scenariosimuleringarna.

Scaling-metoden är lovande, men befinner sig än så länge i allra högsta grad på forskningsstadiet och det återstår en hel del arbete för att den ska resultera i en helt trovärdig hydrologisk respons. Främst föreligger det problem med säsongsfördelningen av nederbörd, vilken inte blir helt korrekt heller efter korrektion.

Rosby Centre regionala klimatscenarier – sammanfattning av resultat

Sammanfattningen vad gäller temperatur, snö, nederbörd, vind samt extremer är hämtad från den sammanställning som finns på Rosby Centrets webbsidor under "Rosby Centre klimatscenariokartor" för Klimat- och sårbarhetsutredningen. Sammanfattningen vad gäller torrperiod, torrdagar, relativ fuktighet och markvatten är sammanställd särskilt för bedömningen av brandrisk.

Temperatur och snö

Se figurerna 9.1 och 9.2

Sett över hela perioden, 1961–1990 jämfört med 2071–2100, ökar Sveriges årsmedeltemperatur i Rosby Centrets scenarier med mellan 2,5 och 4,5 grader C. Trots den stora variabiliteten från år till år så är trenden tydlig. Den beräknade ändringen är statistiskt signifikant ⁴⁾ redan om man jämför perioden 2011–2040 med referensperioden 1961–1990. Vid närmare detaljstudier finner man att temperaturökningen är som störst under vintern, mellan 2,8 och 5,5 grader C beroende på val av scenario vid slutet av seklet. Den större ökningen under vintern hänger samman med att snön minskar

kraftigt i det varmare klimatet varvid strålningsbalans och skiktning påverkas, vilket i sin tur leder till ännu högre temperaturer. Den största ökningen under vintern beräknas vara längs Norrlandskusten och i Svealand. Detta är de områden där minskningen av snötäckets utbredning är som störst.

När det gäller snötäcket är det inte bara utbredningen som ändras. Den del av året som det finns ett sammanhängande snötäcke blir kortare med minst en månad fram till perioden 2071–2100 i alla scenarierna. Detta gäller i hela landet utom i Skåne och längs Götalandskusten där snösäsongen är kort redan i dagens klimat och där snön försvinner så gott som helt i scenarierna. De största förändringarna, med mellan två och fyra månaders förkortning av snösäsongen beräknas för delar av Svealand och Norrlandskusten. Samtidigt som snösäsongens längd och snötäckets utbredning minskar, minskar också det maximala snödjupet i hela landet, mest i de områden som har lite snö redan i dagens klimat, men även i fjällkedjan. Under sommaren sker största ökningen i temperatur främst i den sydligaste delen av landet.

Den stora förändringen i temperaturer under vintern handlar inte bara om att medeltemperaturen förändras. Temperaturen ändras olika mycket mellan kalla och mildare dagar. Temperaturen ökar framförallt under de allra kallaste vinterdagarna. Samtidigt ökar också medeltemperaturen och temperaturen under mildare dagar, men inte lika mycket. Mönstret, med störst förändring under kalla dagar, gäller under vintern för hela landet. Under sommaren sker en motsvarande förändring i fördelningen mellan varma och svalare dagar i de sydligaste delarna av landet, där temperaturökningen är som störst. Då är det istället de varmaste dagarna som blir relativt sett ännu varmare, ökningen är större än för medeltemperaturen. I övriga landet förväntas temperaturen öka mer likartat både under svala och varma sommardagar.

Uppvärmningen leder till att klimatzonerna flyttar norrut. Temperaturklimatet, både i form av medelvärden men också frekvensen av antalet dagar med temperatur i vissa intervall, har stor betydelse både för samhället men också för exv. växters förmåga att klara sig i olika regioner. I de scenarier som beskrivs ovan beräknas vegetationsperioden, dvs. den del av året då dygnets medeltemperatur under en sammanhängande period är över 5 grader C, öka med mellan en och två månader i hela Sverige utom allra längst i söder där den beräknade ökningen är uppemot tre månader.

Varma perioder

Se figur 9.2 och figur 9.2b

Längden av den längsta sammanhängande period med dygnsmaxtemperatur $>20^{\circ}\text{C}$ kommer generellt att öka med tiden. Det är givetvis skillnader beroende på utsläppsscenarioer och drivande modell men i slutet av århundradet ger resultaten en förlängning på runt 20 dagar i södra Sverige. Figur 2b visar förändring i antal dagar med dygnsmaxtemperatur $>20^{\circ}\text{C}$ i dagar/år. Här ses att totala antalet dagar/år kan öka från nuvarande 15–25/år med upp mot 50 dagar fler/år i slutet av århundradet i södra Sverige.

Nederbörd

Se figur 9.4

Nederbörden över Sverige förväntas öka under det närmaste seklet med mellan knappt 10 och drygt 20 %. I ännu högre grad än i fallet med temperatur är det stora variationer mellan olika år och olika decennier. Trots detta är trenden tydlig och skillnaden i årsnederbörd jämfört med 1961–1990 är statistiskt signifikant⁴⁾ redan under perioden 2011–2040. Nederbördsökningen är störst under vintern. Just under vintern visar sig skillnader mellan de två globala modellerna som använts då simuleringen baserad på den tyska modellen med kraftigare västvindar över hela Norden ger mycket mer nederbörd i hela området. Samtidigt ger simuleringen baserad på den brittiska modellen minskad västvind och därigenom minskad nederbörd väster om den skandinaviska fjällkedjan samtidigt som mer nederbörd fås öster om fjällkedjan då sydostvindar blir vanligare. Under sommaren förväntas Sydsverige, tillsammans med övriga Europa söder därom, få minskad nederbörd i alla simuleringarna. Längst i norr förväntas dock nederbörden öka något även på sommaren.

I samtliga scenarier gäller att extremnederbörden, exempelvis uttryckt som mängden nederbörd under ett dygn, förväntas öka. Detta gäller både i områden där den totala nederbörden ökar, men också i områden där den minskar. För Sydsverige under sommaren kan man alltså säga att det kommer att regna totalt sett mindre och mindre ofta men, då det regnar, mer och då främst vid de tillfällen då det är fråga om kraftiga skurar. I norra Sverige under sommaren

och hela landet under vintern kommer det att falla totalt sett både mer nederbörd och oftare.

Resultat baserade även på flera andra regionala klimatmodeller visar sammantaget att nederbörden vintertid förväntas öka framöver i hela Sverige. Under sommaren förväntas nederbörden öka från norra Svealand och norrut men förändringen i Götaland är osäker.

Vind

Vindförhållandena förändras endast marginellt under sommaren i de olika scenarierna. Under resten av året och främst under vintern varierar förändringen beroende på vilken global klimatmodell som använts. I beräkningarna baserade på den tyska globalmodellen ökar vindarna med 7 till 13 % till i slutet av seklet beroende utsläppsscenario under vintermånaderna över Sverige i medeltal. Den maximala vindhastigheten beräknas förändras ungefär lika mycket som förändringen i medelvindhastighet. I beräkningarna baserade på den engelska globalmodellen är vindförändringarna i allmänhet små i regionen.

Variabilitet och extremer

När det gäller extrema väderhändelser så framträder en bild av ett framtida klimat med förändringar både i frekvens och i grad av en del extrema händelser i regionen. De kalla extremerna minskar kraftigt under vinterhalvåret. Under sommaren visar beräkningarna på ett varmare klimat, men de riktigt stora förändringarna i varma extremer ligger längre söderut i Europa. Det är bara i de sydligaste delarna av landet som temperaturen under de varmaste dagarna proportionellt sett ökar mer än medeltemperaturen. Nederbörds-klimatet ser ut att gå inte bara mot mer utan också mot mer intensiv nederbörd i hela landet. Det sistnämnda gäller även i Sydsverige på sommaren där nederbörden totalt sett beräknas minska.

Torrperiod och torrdagar

Se figurerna 9.5 och 9.6

Den största ökningen av antal torra dagar per månad (dagar med nederbörd <1 mm) sker i södra Sverige i augusti med upp till 5 dagar. I norra Sverige är förändringen oftast liten men det finns en tendens till att antalet torra dagar minskar med tiden så att det vid århundradets slut är ett färre antal torra dagar än under referensperioden. Förändring i torrperiodens längd (antal dagar i följd med nederbörd <1 mm) är mestadels liten. Den största ändringen ses i södra Sverige mot slutet av århundradet med en förlängning på 3–6 dagar.

Relativ fuktighet

Se figur 9.7

Den relativa fuktigheten tenderar i de flesta framtidsscenarier att vara oförändrad eller öka med tiden. Ökningen ses särskilt i norra Sverige under sommaren. Ur brandrisksynvinkel kan man förvänta sig att en eventuell förändring i den absolut lägsta relativa fuktigheten är av intresse. En del scenarier redovisar medelförändring av den lägsta relativa fuktigheten som simulerats för en månad, dvs. medelvärde av månadsminimum av relativ fuktighet. Här ses en svag till måttlig ökning i södra Sverige under våren men en signifikant ökning i norra Sverige under sommaren.

Markvatten

Se figur 9.8

Förändring av markvattenhalten redovisas för de översta 7 cm av jordlagret. Ändringen anges i procent, dvs. $(\text{mm vatten i scenario} - \text{mm vatten i referens}) / (\text{mm vatten i referens})$. Här redovisas enbart medelförändringen av den lägsta markvattenhalten som simulerats för en månad, dvs. medelvärde av månadsminimum av markvatten. Den kraftigaste ändringen anger en reduktion av markvatten med mer än 20 % i sydöstra Sverige under sommaren. Som ett exempel skulle 18 mm vatten i de översta 7 cm i så fall minska till ca 14 mm.

Scenariekartor från RCA

Rosby Centre har på beställning av Klimat- och sårbarhetsutredningen tagit fram ett stort antal (tusentals) klimatkartor som på olika sätt beskriver klimatet och dess möjliga utveckling.

Materialet bygger på beräkningar med Rosby Centrets regionala klimatmodell RCA3 och den kopplade RCAO-modellen.

Vi har granskat materialet men pga. dess omfattning kan det förekomma felaktigheter i kartorna.

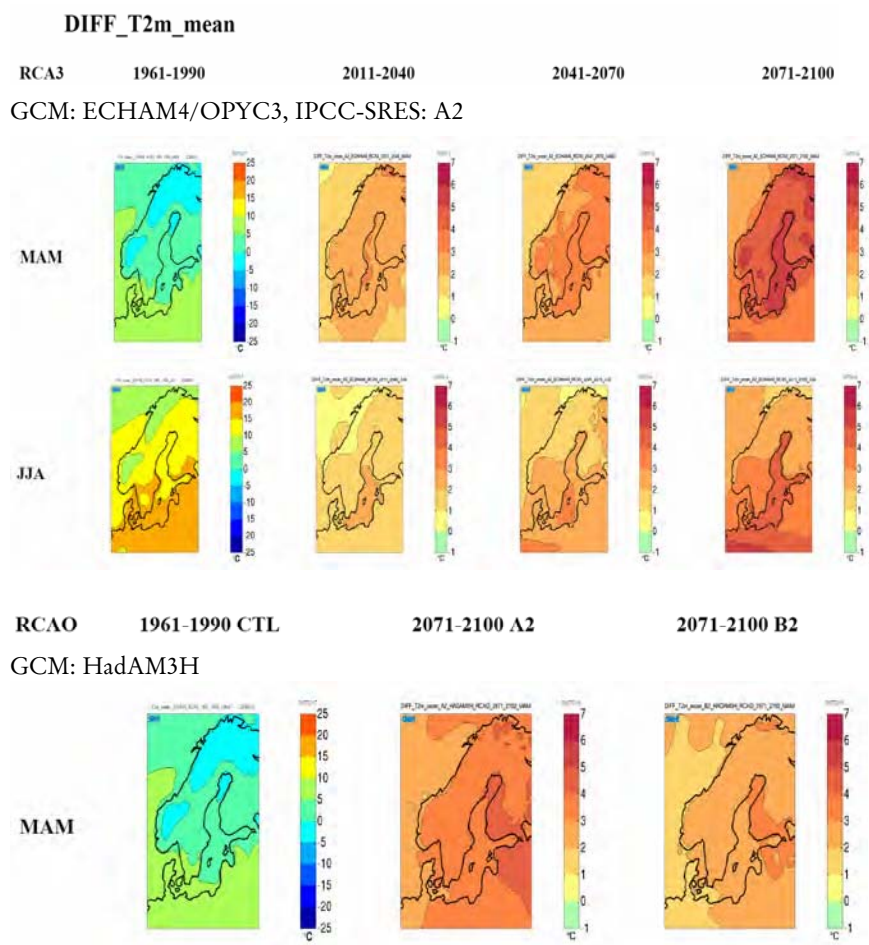
På följande sidor redovisas ett urval av alla kartor som bedömts intressanta som underlag för en bedömning av risken för ökad framtida skogsbrand. De variabler/index som redovisas är differensplottar, dvs. ändringen i tiden av respektive variabel/index, framtidsperiod – referensperiod (1961–1990). De variabler/index som redovisas framgår av tabellerna nedan. Kortnamnet är det namn som används i presentationen av kartmaterialet på Rosby Centrets webbsidor under sammanställningen till Klimat- och sårbarhetsutredningen.

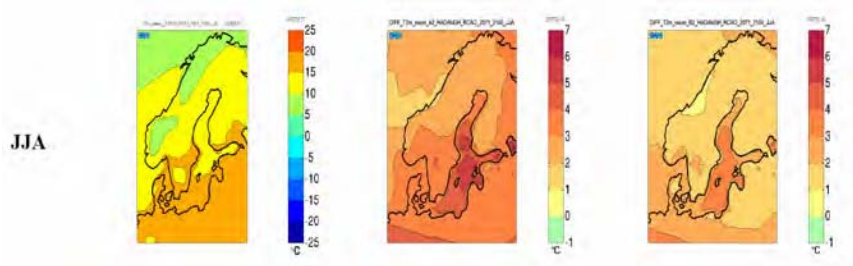
Figurnr	Beskrivning	Kortnamn	Enhet
9.1	Medeltemperatur på 2 m nivå	T2m_mean	°C/månad
9.2	Längsta sammanhängande period med dygnsmaxtemperatur >20°C	T2max_maxHWaveGT20	dagar/år
9.2b	Antal dagar med dygnsmaxtemperatur >20°C	T2max_nGT20	dagar/år
9.3	Antal dygn med snötäcke	SnowCover_nSnowCover	dagar/år
9.4	Nederbörd, summerad	Precip_sum	mm/månad
9.5	Antal dagar med nederbörd <1 mm ("antal torrdagar")	Precip_nDryDay1	dagar/månad
9.6	Längsta sammanhängande period med nederbörd <1 mm/dag ("torrperiod")	Precip_max DrySpell1	dagar/säsong

Följande variabler finns inte med i det ursprungliga materialet till Klimat- och sårbarhetsutredningen men har tagits fram specifikt för bedömning av brandrisk:

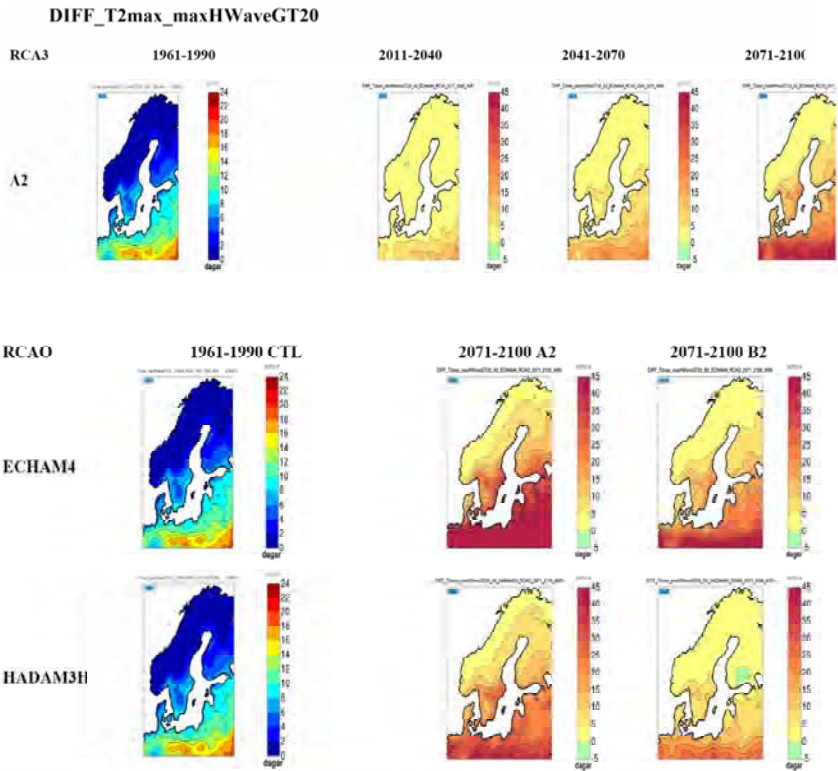
Figurnr	Beskrivning	Kortnamn	Enhet
9.7	Medel av relativ fuktighet på 2 m nivå	relative_humidity	%
9.7	Medel av månadsminimum av relativ fuktighet på 2 m nivå	monmin_relative_humidity	%
9.8	Medel av månadsminimum av markfuktighet i de översta 7 cm	monmin_top_soil_moisture	ändring i %

Figur 9.1





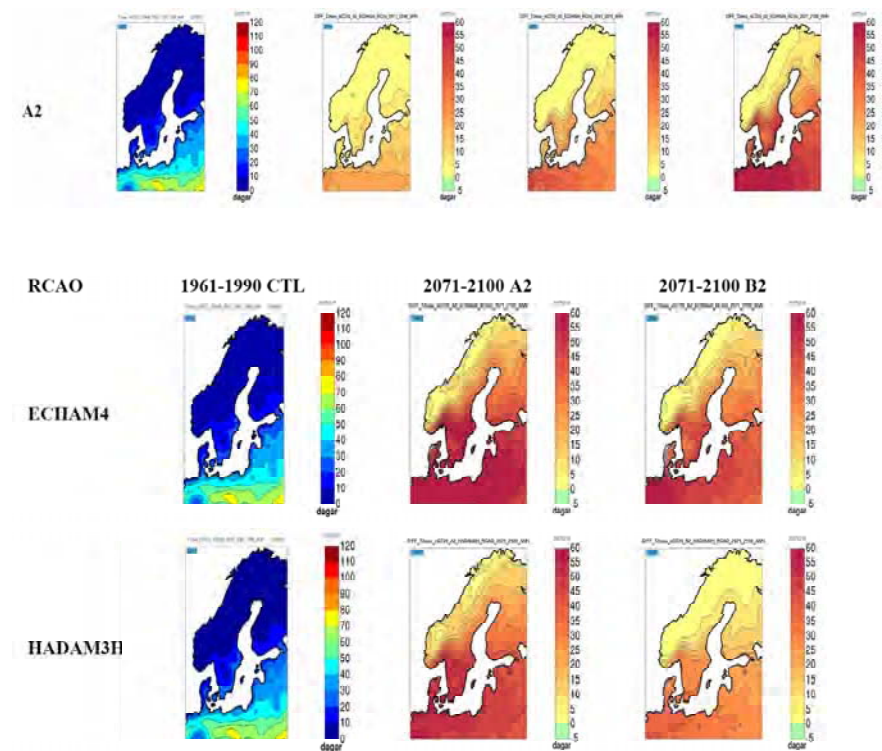
Figur 9.2



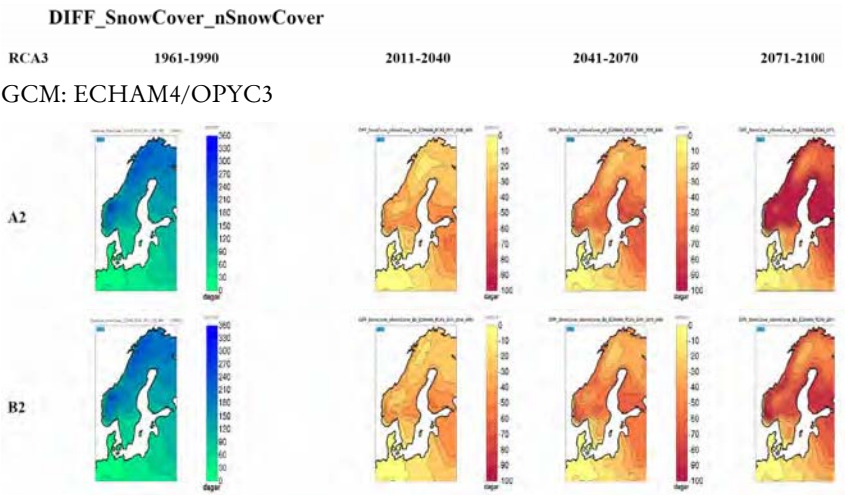
Figur 9.2b

DIFF_T2max_nGT20

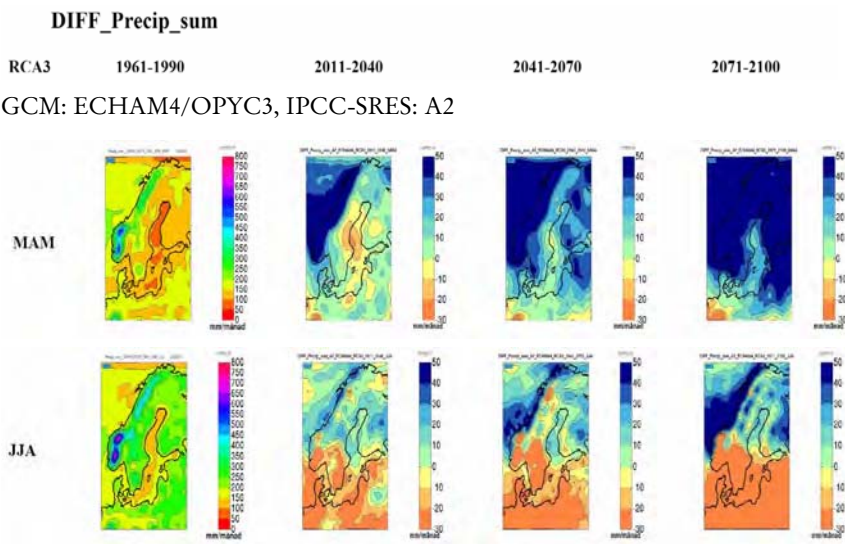
RCA3 1961-1990 2011-2040 2041-2070 2071-2100
 GCM: ECHAM4/OPYC3, IPCC-SRES: A2



Figur 9.3

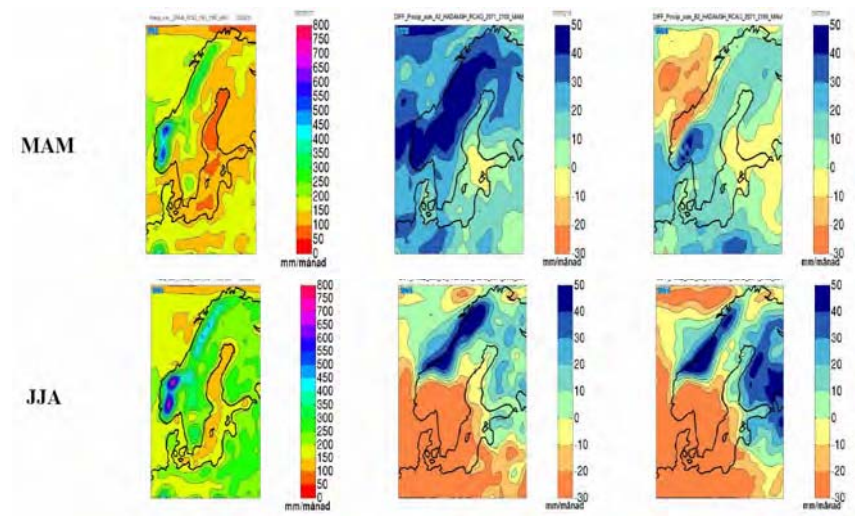


Figur 9.4



RCAO 1961-1990 CTL 2071-2100 A2 2071-2100 B2

GCM: HadAM3H

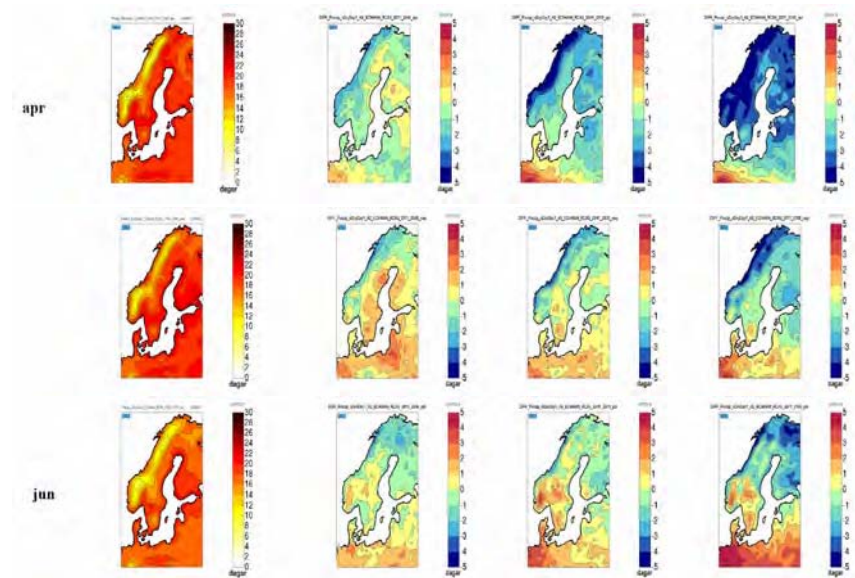


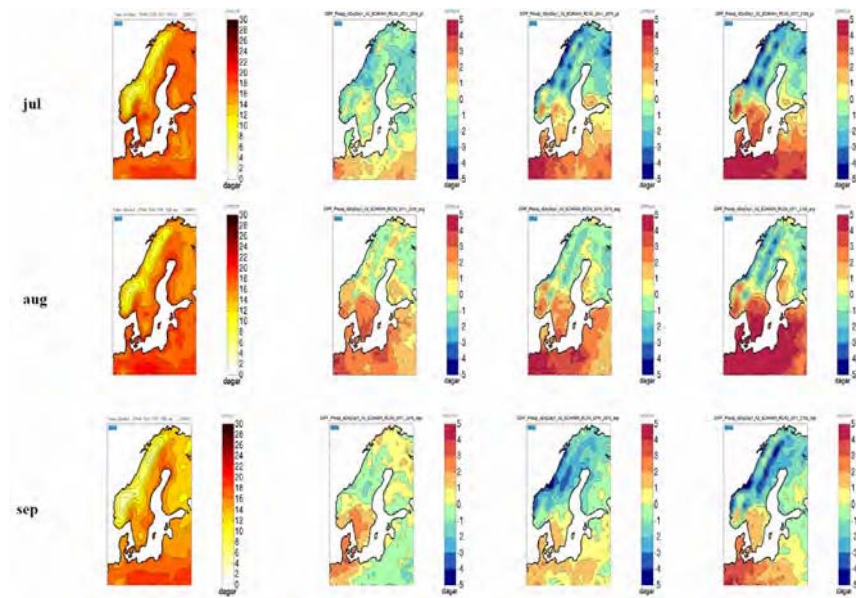
Figur 9.5

DIFF_Precip_nDryDay1

RCA3 1961-1990 2011-2040 2041-2070 2071-2100

GCM: ECHAM4/OPYC3, IPCC-SRES: A2





Kommentar: Före april och efter september är alla resultat negativa, dvs. antalet dagar minskar.

DIFF_Precip_nDryDay1

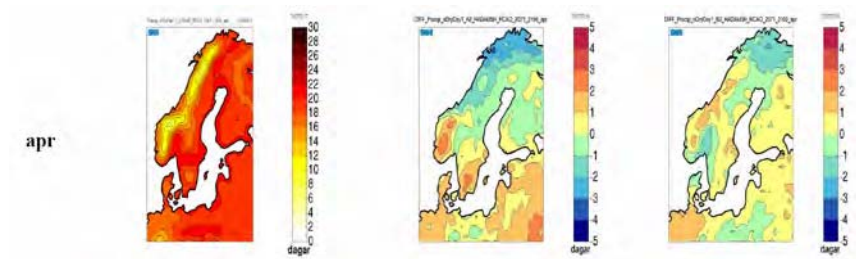
RCAO

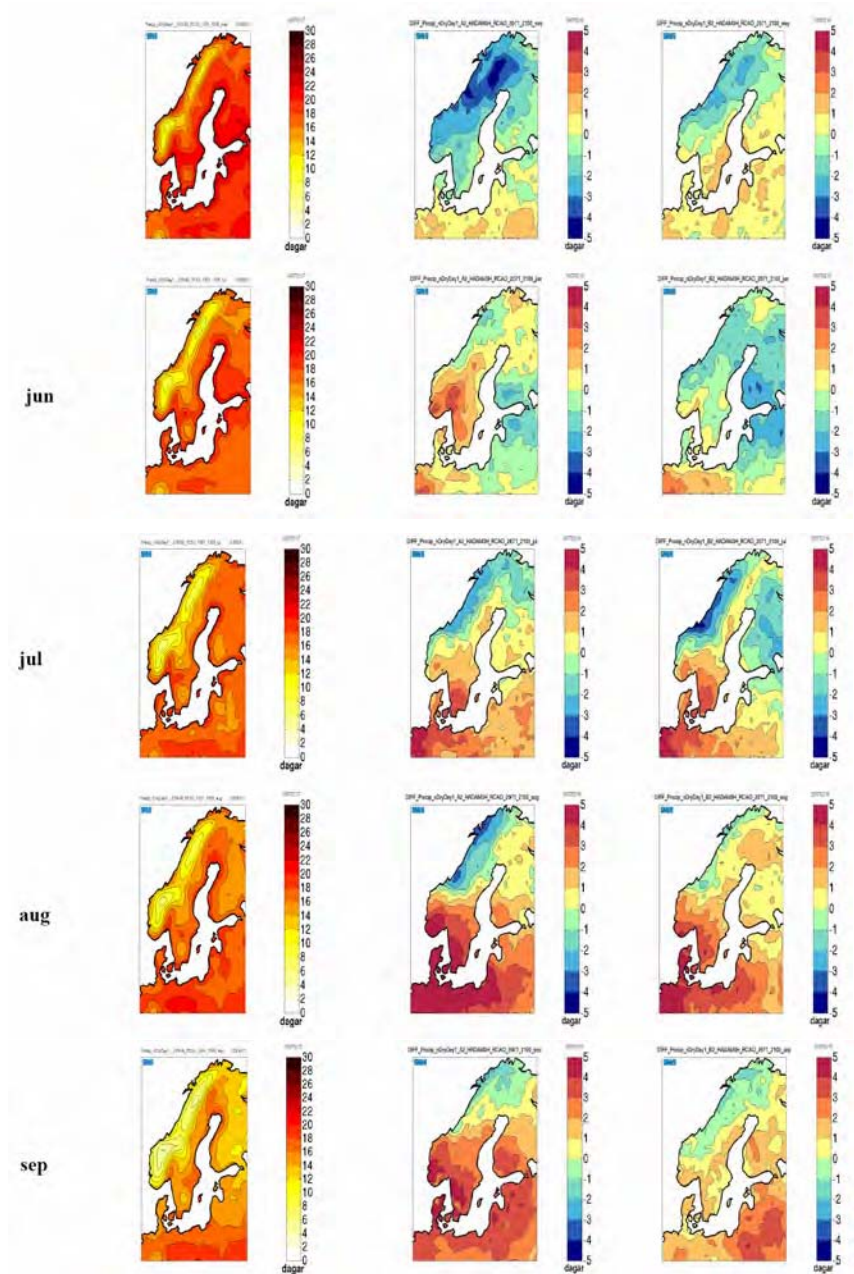
1961-1990 CTL

2071-2100 A2

2071-2100 B2

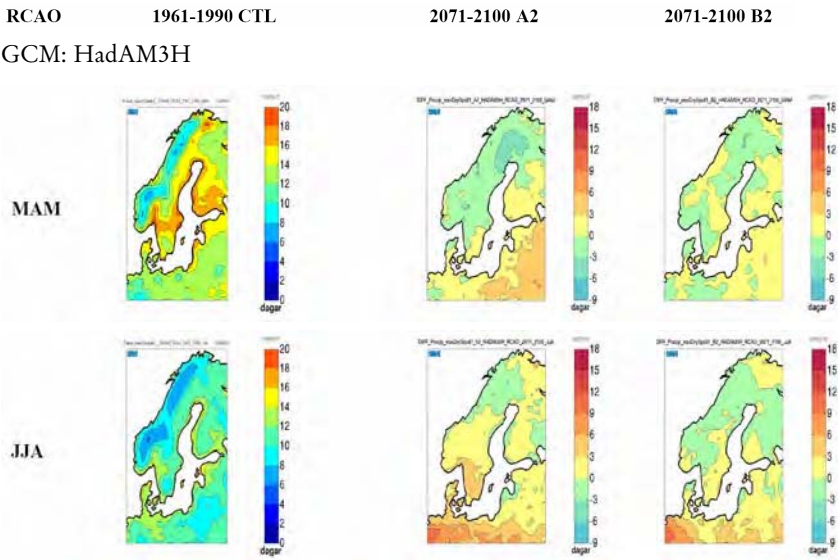
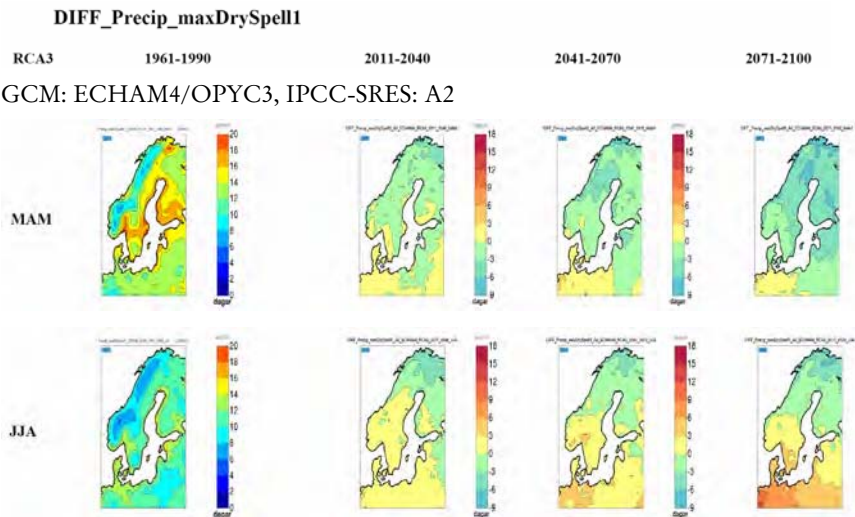
GCM: HadAM3H





Kommentar: Före april och efter september är i princip alla resultat negativa, dvs. antalet dagar minskar.

Figur 9.6



Figur 9.7

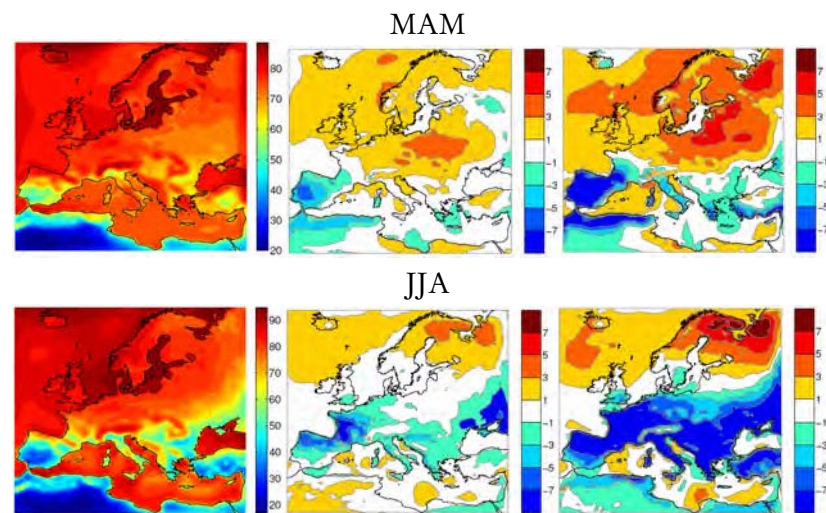
DIFF_relative_humidity

RCA3 1961–1990

2021–2050

2071–2100

GCM: ECHAM4/OPYC3, IPCC-SRES: A2



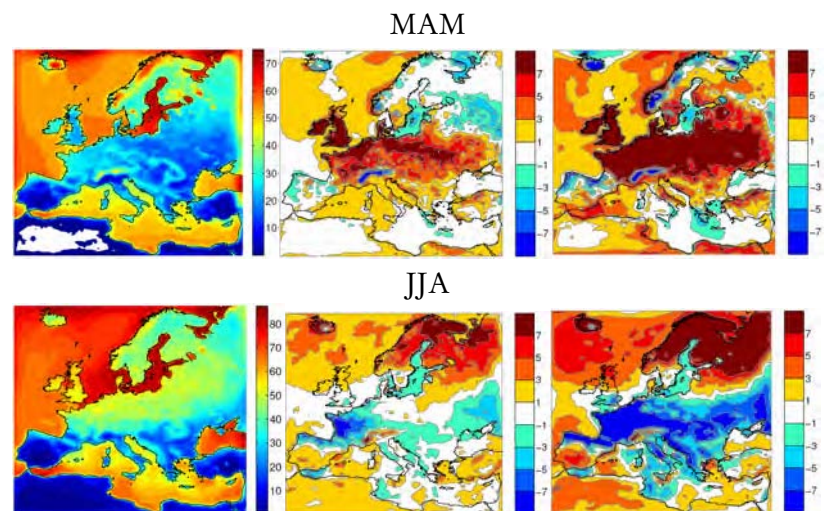
DIFF_monmin_relative_humidity

RCA3 1961–1990

2021–2050

2071–2100

GCM: ECHAM4/OPYC3, IPCC-SRES: A2



Figur 9.8

DIFF_monmin_top_soil_moisture

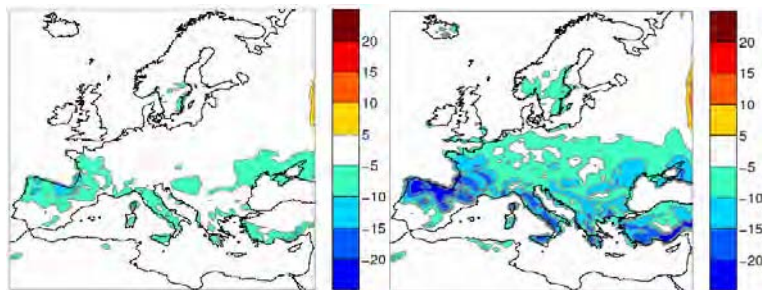
RCA3

2021–2050

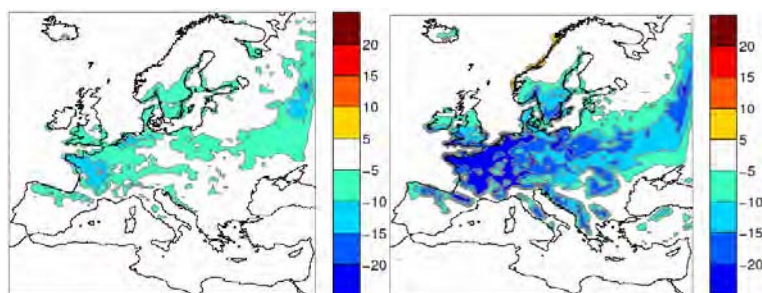
2071–2100

GCM: ECHAM4/OPYC3, IPCC-SRES: A2

MAM



JJA



10 Resultat av brandriskanalyser med simulerade väderdata

I detta kapitel redovisas modellberäkningar för brandriskindex (FWI) som genomförts av Anders Granström vid Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Umeå.

Inledning

Det är inte någon lätt uppgift att analysera den potentiella framtida skogsbrandsituationen, eftersom den är ett resultat av interaktionen av många olika faktorer. Vad gäller exempelvis den totala arealen skog som brinner i ett område beror den av flera olika komponenter, varav samtliga är dynamiska och direkt eller indirekt kan komma att ändras under ett framtida förändrat klimat. Dels beror arealen av mängden antändningar, vilka är en funktion av så väl människors beteende (antropogena antändningar) som klimatet (blixtantändningar). Dels beror arealen av brandbeteendet, som styrs av klimatet och bränsletypen. Bränsletypen i sin tur är en funktion av markvegetation och trädbestånd, vilket ytterst bestäms av klimatet. Slutligen är det naturligtvis avgörande vilka resurser samhället är berett att satsa på brandbekämpning i skog. I Sverige tar vi för givet att alla bränder skall bekämpas, utan hänsyn till kostnader, men i andra delar av det norra barrskogsbältet (Kanada och Ryssland) finns zoner där man av ekonomiska skäl valt att inte ha någon brandbekämpning.

Den här studien analyserar endast en mindre del av detta komplex, nämligen den direkta effekten av ett förändrat klimat på "brandrisken", uttryckt som antalet dagar med en vädersituation (uttorkning, vind, luftfuktighet) som medger snabb brandspridning och hög brandintensitet. Därtill kan man räkna med att framtida vegetationsförändringar till följd av ändrat klimat, kan inverka på brandsituationen. Dessa potentiella effekter behandlas inte i detta kapitel. Emellertid kan det krävas ganska stora vegetationsförändringar för att få en kvantitativt annorlunda bränslesituation. Så länge marken täcks av mossa eller renlav och skogsbeståndet utgörs av barrträd brukar man ha överraskande likartade bränslestruktur på marken, med ungefär 1 kg finbränsle/m². Om man i framtiden får en betydande ökning av lövträdsinslaget kommer dock bränslesituationen att förändras påtagligt: mängden finbränsle på marken minskar och strukturen i en bränslebädd dominerad av lövförna är dessutom mindre gynnsam för brandspridning (Berglund, 1998).

Metoder

För att skatta förändringar i brandrisksituationen under ett förändrat framtida klimat, har vi utnyttjat verkliga och simulerade dagliga väderdata och beräknat brandrisken med hjälp av ett kanadensiskt brandrisksystem. Detta system nyttjar dagliga observationer av temperatur, nederbörd, relativ luftfuktighet och vind för att generera ett antal olika index som är relevanta för att bedöma den dagliga skogsbrandsituationen (Gardelin, 1997). Det index vi koncentrerat oss på i denna studie är FWI (fire weather index), vilket ger en relativ skattning av intensiteten i flamfronten av en fritt spridande skogsbrand. Det kanadensiska brandrisksystemet har testats för svenska skogsbiotoper (Granström & Schimmel, 1998) och visat sig ge realistiska skattningar av brandspridningspotential och intensitet. FWI-indexet är alltså designat för att skatta brandintensiteten. Denna är i sin tur, för ett och samma bränsle, en funktion av spridningshastigheten och bränslekonsumtionen per tidsenhet och är väl korrelerat med svårigheten att bekämpa elden (Stocks *et al.*, 1989). Ju lägre index, dess enklare kan elden begränsas och därmed finns en god koppling till avbränd areal. Dessutom finns en koppling mellan indexvärdet och risken att en skogsbrand över huvud taget skall inträffa.

För att få ett integrerat mått på brandrisksituationen har vi gjort dagliga FWI-beräkningar över ett antal år och koncentrerat oss på förändringar i antal dagar per år med höga indexvärden. Internationella analyser har visat att detta ger ett integrerat mått på "brandklimatet" vid jämförelser mellan olika regioner etc. (Stocks *et al.*, 1996).

I samtliga fall har beräkningarna gjorts över perioder om 20 år (verkliga data) respektive 30 år (simulerade data). Simuleringarna har varit Hadley control respektive B2 och Echam control respektive A2. (Dessutom har RCA Era40 körts, men behandlas inte vidare här då den gav sämre passning mot verkligt väder än övriga modellkörningar).

Vi har gjort beräkningar av FWI-index baserat på dagliga väderdata: dels verkliga, dels simulerade väderdata. De verkliga data-serierna kommer från 12 stationer spridda över landet. Tidstäckningen är 20-årsperioden 1976–1995. Simulerade väderdata har erhållits för samma orter, samt för ytterligare 12 positioner i landet, för att få en bättre täckning inom landet. Tidstäckningen för simulerade data har varit 30-årsperioden 1961–1990 (Echam control, Hadley con-

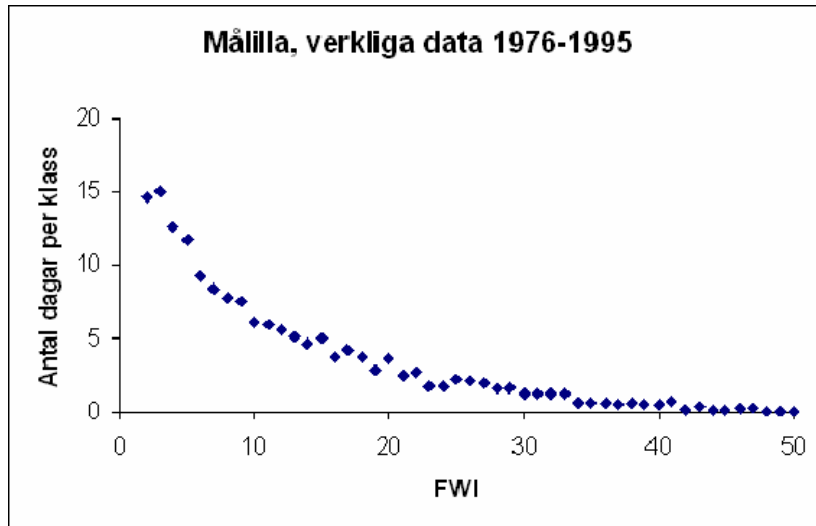
trol), 2011–2040 (Echam A2, Echam B2), samt 2071–2100 (Echam A2, Hadley B2). Simuleringarna gäller i samtliga fall ytor om 50x50 km (se vidare den närmare beskrivningen av klimatsimuleringen).

Analysen av ”verkliga” data stördes en del av att observationsserierna inte var fullständiga för alla stationer under alla år. Inga försök gjordes att ersätta saknade data genom interpolering från grannstationer, utan istället fick respektive år utgå. Ursprungligen ingick ytterligare några stationer (Norrköping, Norråker, Malexander), som dock fick strykas ur analysen, då alltför många år föll bort.

Indexberäkningar från verkliga väderdata

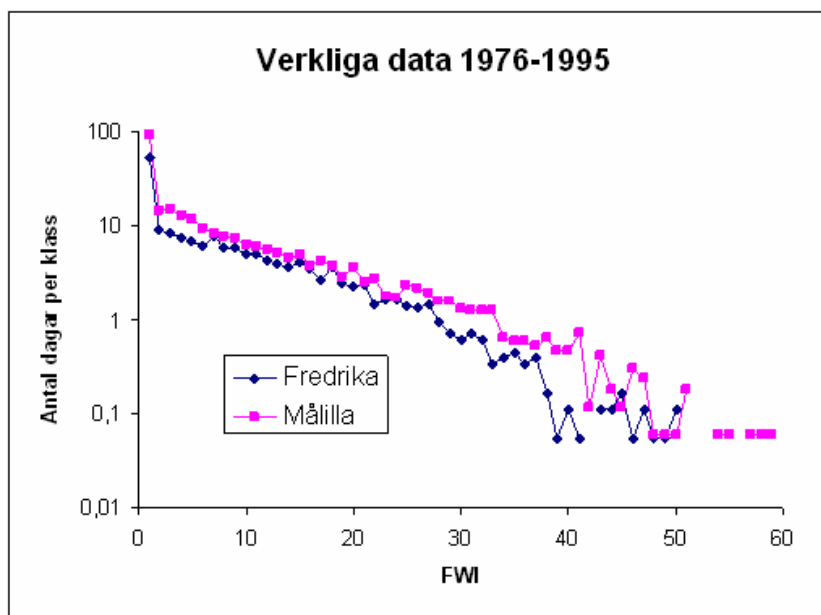
Frekvensfördelningen av FWI-värden (antal dagar per klass i medeltal per år) antar ett likartat mönster i samtliga fall: ett stort antal dagar i FWI-klassen 0-1 och däröver en successiv minskning av antal dagar per klass. Ett exempel ges i Figur 10.1 för Målilla i SÖ Småland. Klassen 0-1 höll där drygt 100 dagar i medeltal per år (ej med i figuren), men för FWI-värden däröver är det en jämn reducering (Figur 10.1).

Figur 10.1 Frekvensfördelning av antal dagar med olika FWI-index för Målilla i SÖ Götaland. Medeltal per år, beräknat på verkliga värderdata för perioden 1976–1995. Klassbredden har satts till 1 FWI-enhet. Klassen 0–1 var allra störst, med omkring 100 dagar och har inte tagits med i figuren. Hög brandrisk föreligger vid FWI-värden över 20 och extremt hög risk vid FWI-värden över 30.



En logaritmering av Y-axeln i figuren över frekvensfördelningen resulterar i en någotsånär rätlinjig avtrappning i antal dagar per klass med ökande FWI (Figur 10.2), vilket visar att fördelningen följer en exponentiellt avtagande funktion, om man undantar den allra lägsta klassen (FWI-värden 0–1). Detta gör det lättare att jämföra olika data-set, och att se fördelningen av det relativt lilla antal dagar med mycket höga indexvärden; de dagar som ur brandsynpunkt är allra viktigast.

Figur 10.2 Frekvensfördelning av antal dagar med olika FWI-index, beräknat på verkliga väderdata för perioden 1975–1995 för två lokaler i olika klimatzoner: Fredrika i Västerbotten respektive Målilla i Kalmar län. Notera att Y-axeln logaritmerats för att kunna se fördelningen av extrema dagar (jämför Figur 10.1).

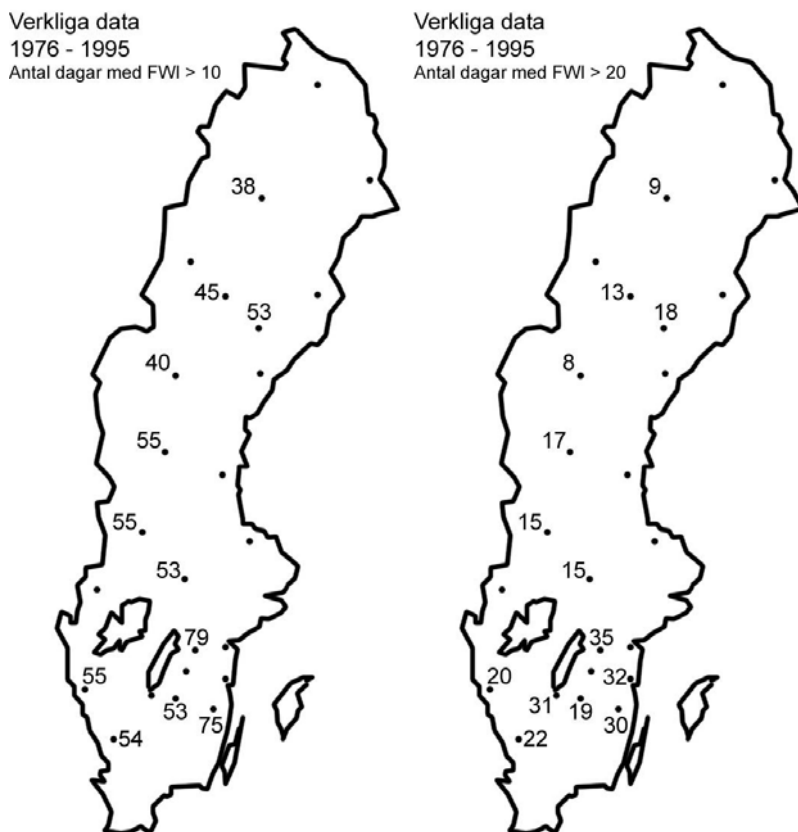


Med stigande nivåer på FWI följer dels att allt större andel av skogsmarken når ett brännbart stadium, dels att intensitet och spridningshastighet i en potentiell brand ökar. Vid $FWI > 10$ finns en påtaglig risk för brandspridning i de mest lättorkade skogstyperna (Tanskanen *et al.*, 2005). Vid $FWI > 20$ är de flesta skogsmiljöer brännbara och vid $FWI > 30$ kan man dessutom påräkna ett explosivt brandbeteende med snabb spridning, hög intensitet och stor risk för kronbrand. För skilda delar av landet är det i medeltal per år 50–80 dagar med $FWI > 10$ och 10–30 dagar med $FWI > 30$ (Figur 10.3). För båda dessa tröskelvärden är det högst antal dagar i SÖ Götaland.

Antal orter med bra verkliga data var ganska få, men räcker för att grovt bedöma ”verkligt” brandväder för olika delar av landet under det sena 1900-talet. Exemplet Fredrika respektive Målilla kan illustrera ett par typfall. Målilla ligger i det torra östra Götaland (40 km NV Oskarshamn) och representerar en ur brandrisksyn-

punkt extrem del av landet. Fredrika ligger i Norrlands inland (100 km V om Umeå) och är typiskt för en stor del av Norrland (undantaget fjällnära områden): för båda lokalerna faller antal dagar per klass exponentiellt med ökande FWI. Högsta noterade värden ligger närmare 50 för Fredrika och ännu något högre för Målilla. Kurvan för Målilla ligger generellt högre och har ett något flackare förlopp än för Fredrika, det vill säga Målilla har både ett större antal dagar med "brandrisk" och en procentuellt större andel av dessa dagar i höga risknivåer.

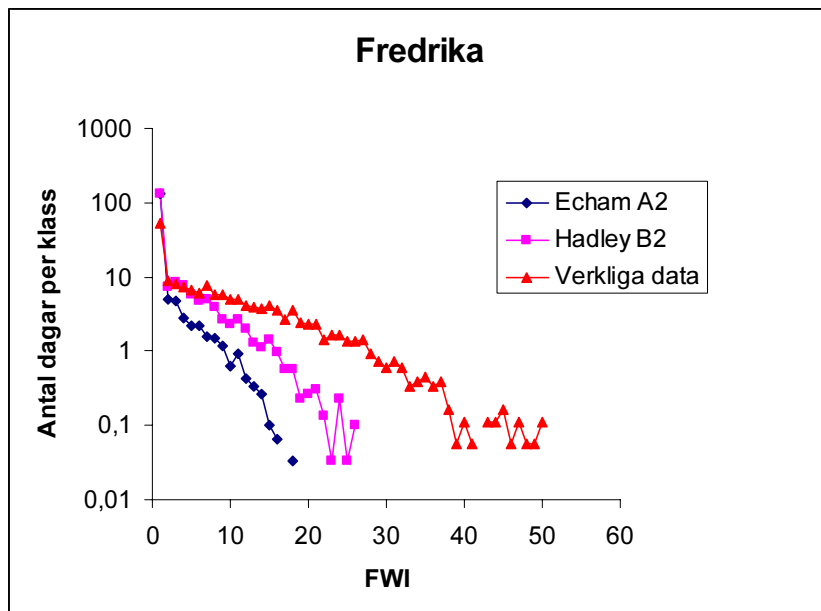
Figur 10.3 Siffrorna visar antal dagar med FWI-index >10 (vänster karta) respektive FWI>20 (höger karta) för fjorton orter i landet. Beräkningar baserade på verkliga väderobservationer. Medeltal per år över 20-årsperioden 1976–1995. Siffrorna är avrundade till närmaste heltal.

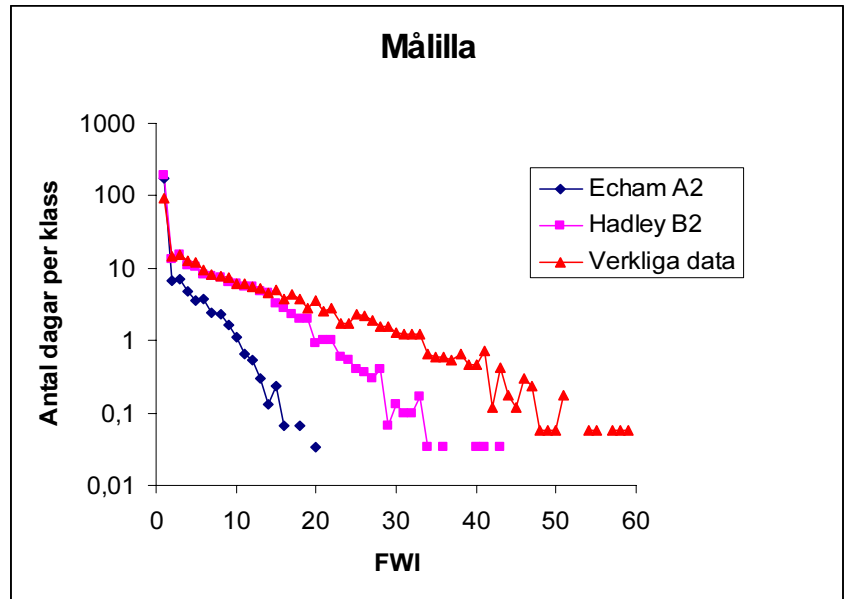


Indexberäkningar från simulerade väderdata

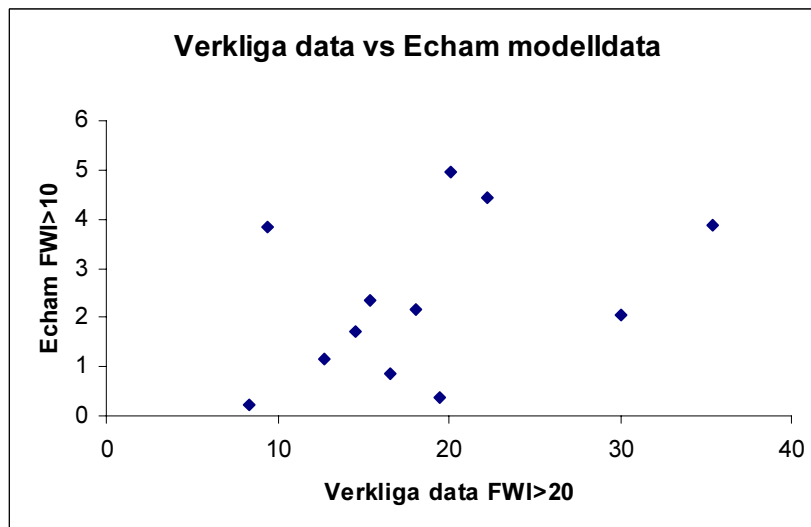
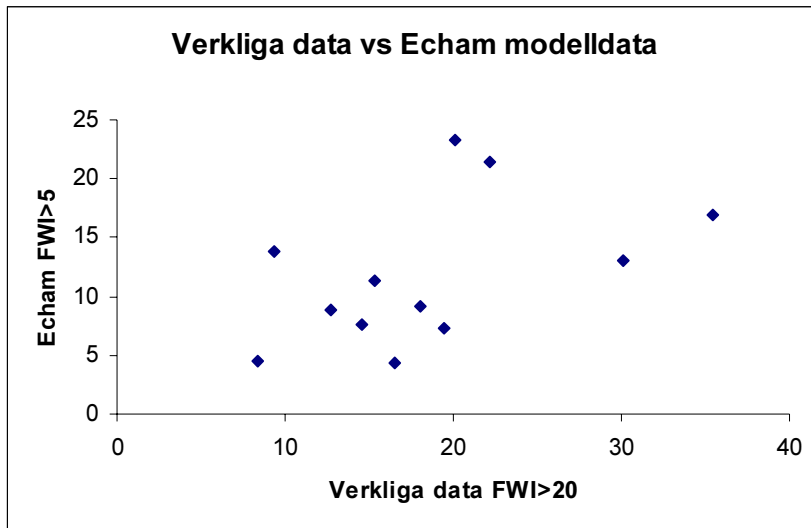
Körningarna med simulerade 1900-talsdata gav genomgående mycket lägre FWI-nivåer än ”verkliga data”, men Hadley ligger närmare verkligheten än ECHAM. Det innebär att någon eller några av de variabler som ingår i beräkningen av FWI-indexet är systematiskt felkattade i dessa modeller. Det kan till exempel röra sig om antalet nederbördsdagar per lokal, eller luftfuktigheten. Dock följer frekvensfördelningen även för simulerade data grovt sett en exponentiellt avtagande funktion, men med väsentligt brantare lutning än för verkliga data (Figur 10.3). Grovt räknat motsvaras FWI-nivån 30 för verkliga data av 20 för Hadley B” och bara 10 för Echam A2 (Figur 10.4). I vissa simuleringar som gjorts i Kanada har man schablonkorrigerat nederbörd och rh för att närma sig realistiska brandindex-värden. Vi tror dock att man i förstone bör koncentrera sig på förändringarnas storlek och riktning och inte på absolutvärden i FWI.

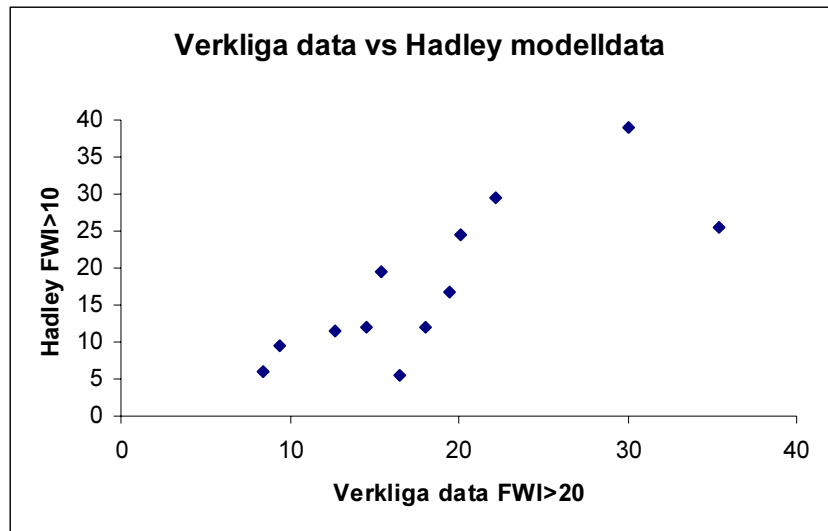
Figur 10.4 Frekvensfördelning av antal dagar med olika FWI-index, beräknat på tre olika data-set för det sena 1900-talet: verkliga väderdata för perioden 1975–1995, Hadley-simulering för perioden 1961–1990, respektive Echam-simulering för samma period. Övre grafen gäller Fredrika i Västerbotten och den undre Målilla i Kalmar län. Notera att Y-axeln logaritmerats för att bättre kunna se fördelningen av extrema dagar (jämför Figur 10.1).





Figur 10.5 Sambandet mellan verkliga och simulerade FWI-index för 12 orter i landet. Kustnära orter har valts bort. För respektive ort (punkt i figuren) noteras på x-axeln antal dagar med FWI >20 beräknat på verkliga väderdata för perioden 1978–1995. I y-led noteras antal dagar över vissa tröskelvärden för simulerade väderdata: Echam FWI>10 (översta grafen), Echam FWI >10 (mellersta grafen) respektive Hadley FWI >10 (understa grafen). Simulerade väderdata i samtliga fall för perioden 1961–1990. Korrelationen (Pearsons korrelationskoefficient) inom respektive dataset är 0.38, 0.48 respektive 0.79.





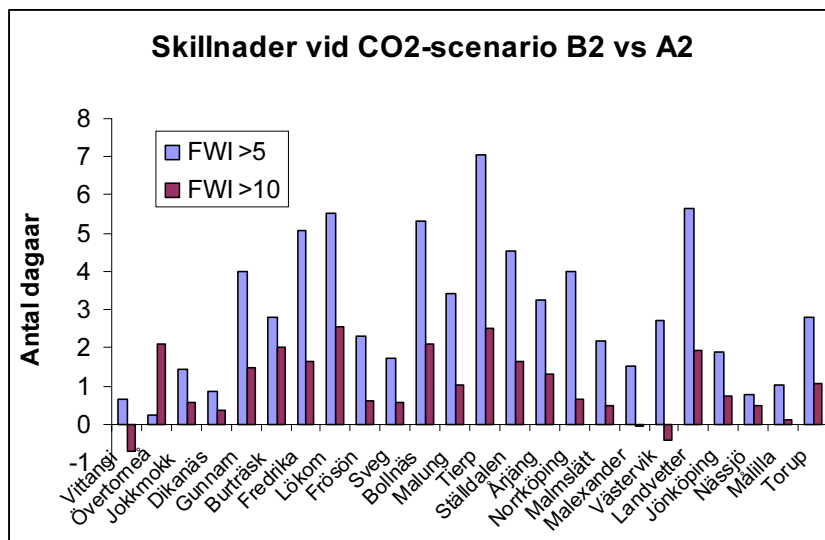
Även om alltså FWI-index är gravt underskattat när man räknar på simulerade data finns en förhållandevis god geografisk korrelation mellan simulerade och verkliga index, när man tittar på antalet dagar över vissa tröskelvärden (Figur 10.5). För de 12 orterna med goda verkliga data var det en svag korrelation (0.38) med Echam när man sätter tröskelvärdet $\text{FWI} > 5$, något bättre (0.48) med tröskelvärdet $\text{FWI} > 10$ och riktigt bra (0.79) med Hadley och tröskelvärdet $\text{FWI} > 10$. Den geografiska trenden över landet som avspeglas i modelldatat för det sena 1900-talet ligger alltså ganska nära verkligheten, åtminstone för Hadley.

Jämförelser av CO₂-scenario B2 respektive A2 för perioden 2011–2040

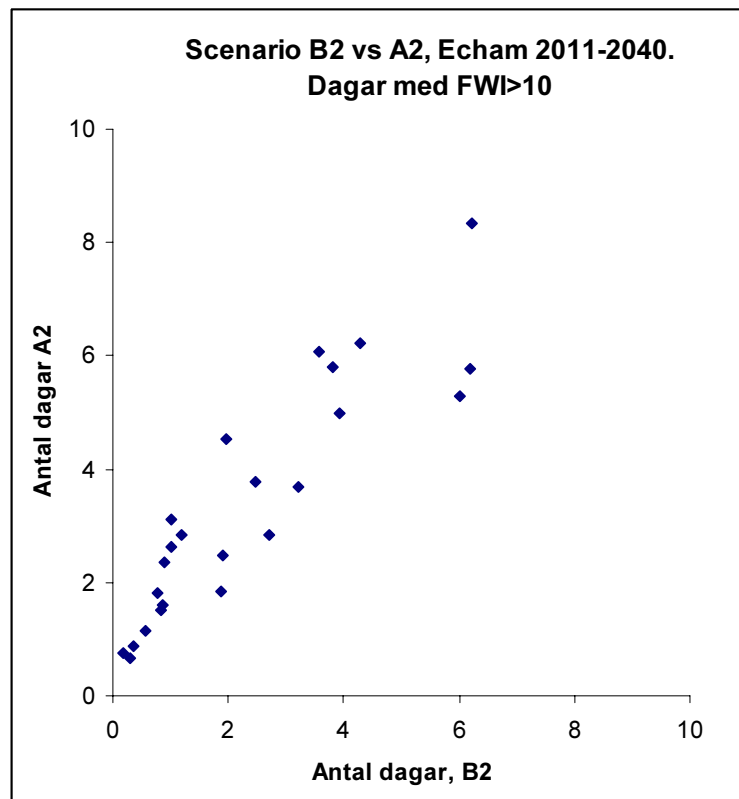
För perioden 2011–2040 gjordes en jämförelse mellan de två CO₂-scenarierna B2 och A2. Endast Echam-simuleringar fanns tillgängliga. Beräkningarna av FWI-index indikerar en betydande skillnad i antal dagar med höga indexvärden: Vid tröskelvärdet $\text{FWI} > 5$ gav scenario A2 i medeltal (över alla de 24 lokalerna) 2.9 fler dagar än B2 (22 % skillnad) och vid tröskelvärdet $\text{FWI} > 10$ i medeltal 1.0 fler dagar (45 % skillnad). Det verkar inte vara någon tydlig geografisk trend när man jämför A2 och B2 (Figur 10.6). Det är inte heller

någon större skillnad i förändringens storlek mellan orter med låga risknivåer respektive höga (Figur 10.7).

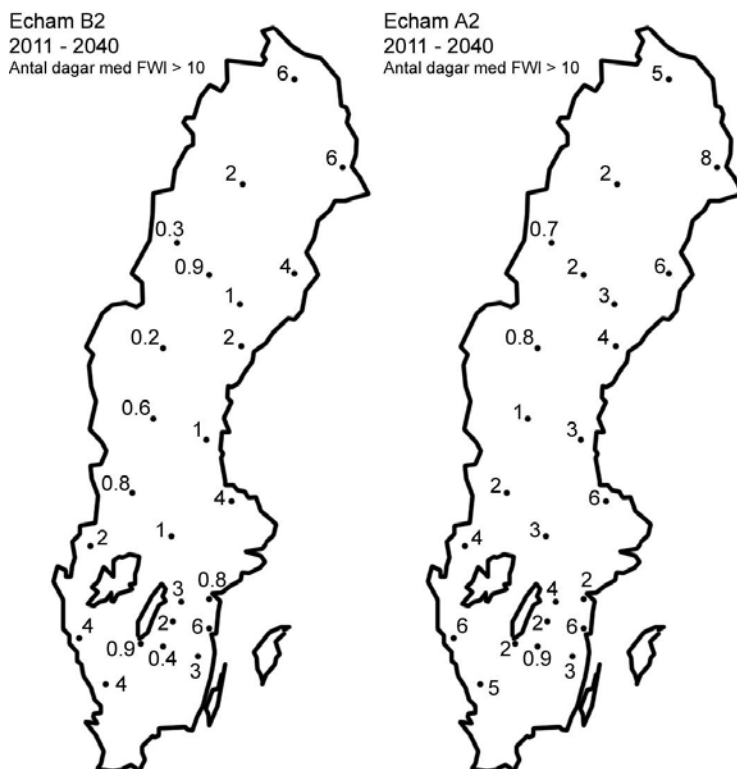
Figur 10.6 Skillnad i antal "brandriskdagar" mellan CO2-scenarierna B2 och A2 för 24 olika orter i landet sorterade från norr till söder. Simulerade data från Echam-modellen för perioden 2011–2040. Positiva värden innebär att A2 genererar fler "brandriskdagar" än B2. Två olika tröskelvärden (FWI>5 resp10) illustreras för varje ort.



Figur 10.7 Sambandet mellan antal brandriskdagar (FWI>10) för de två olika CO2-scenarierna B2 och A2, för 24 orter i landet. Simulering för perioden 2011–2040 med Echam-modellen som bas. För samtliga orter utom två (Vittangi och Västervik, inringade), indikerar hög-CO2-scenariet A2 fler riskdagar.



Figur 10.8 Antal dagar med FWI-index >10 enligt Echam-modellen för de två olika CO₂-scenarierna B2 (vänstra kartan) respektive A2 (högra kartan). Siffrorna är avrundade till närmaste heltal för värden över 1.

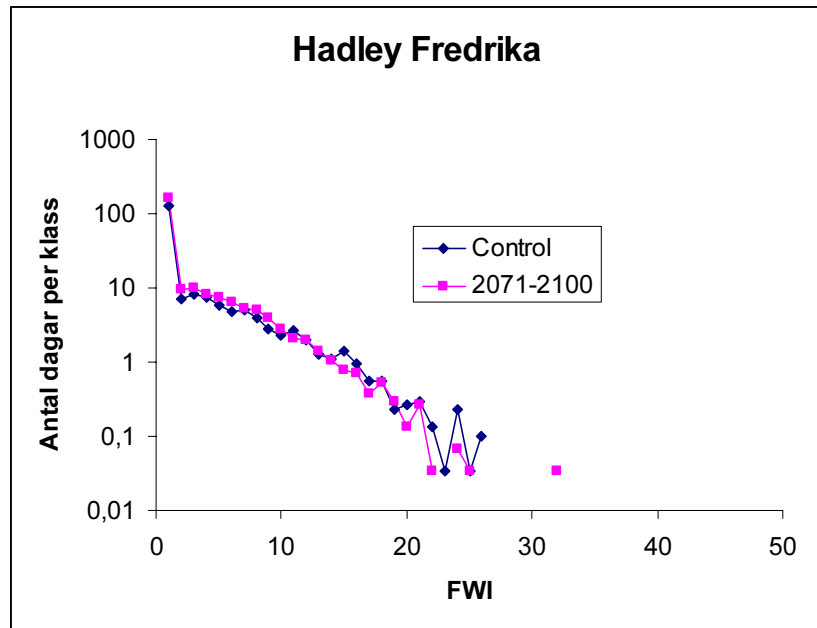


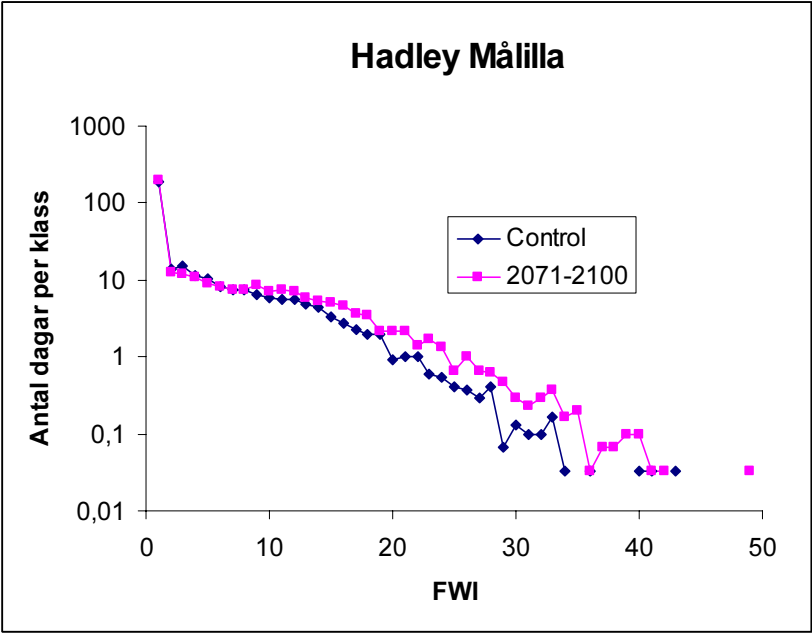
Trender fram till 2100

När man jämför simuleringar för det sena 1900-talet med det sena 2000-talet indikerar såväl Hadley B2 som ECHAM A2 ett förändrat brandklimat: I exemplet Fredrika ger 2071–2100 jämfört med 1961–1990 (Control) något fler dagar med måttlig brandrisk (Figur 10.9 och 10, övre panelerna), men nära nog oförändrat antal dagar med hög risk. Frekvensfördelningen startar för 2071–2100 från en något högre nivå, men faller snabbare. Hadley (Figur 10.9) respektive Echam (Figur 10.10) ger samma relativa bild. I exemplet Målilla ger 2071–2100 totalt sett ett högre antal brandriskdagar,

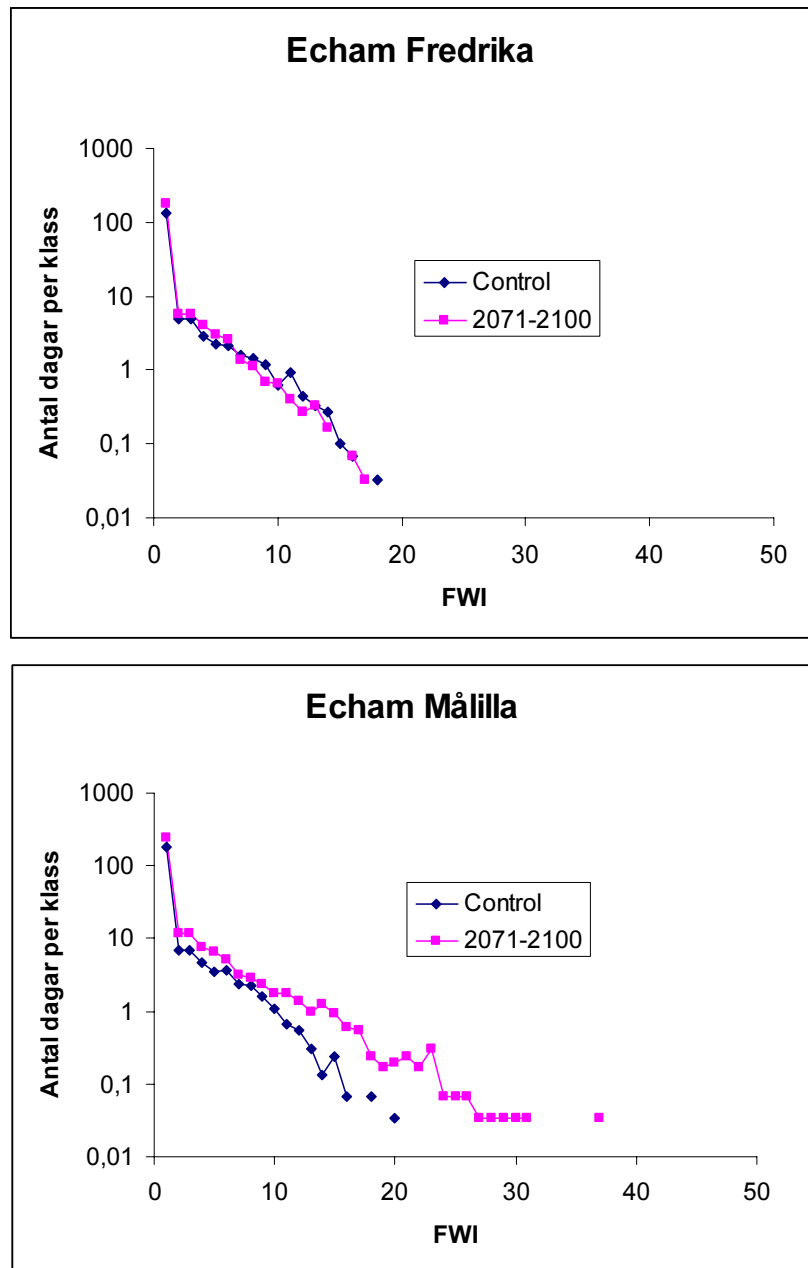
men dessutom med förstärkt trend i högre brandriskklasser (Figur 10.9 och Figur 10.10, undre graferna). Kurvan som illustrerar frekvensfördelningen för 2071–2100 har en flackare avtrappning. Här får man alltså en kraftig ökning i antalet dagar med extremt hög brandrisk.

Figur 10.9 Frekvensfördelning av FWI för Hadley-modellens simulerade data. För varje ort (Fredrika respektive Målilla) illustreras fördelningen för sent 1900-tal (control = 1961–1990) respektive framtidsklimatet (2071–2100).





Figur 10.10 Frekvensfördelning av FWI-index för Echam-modellens simulerade data för två orter: Fredrika respektive Målilla.



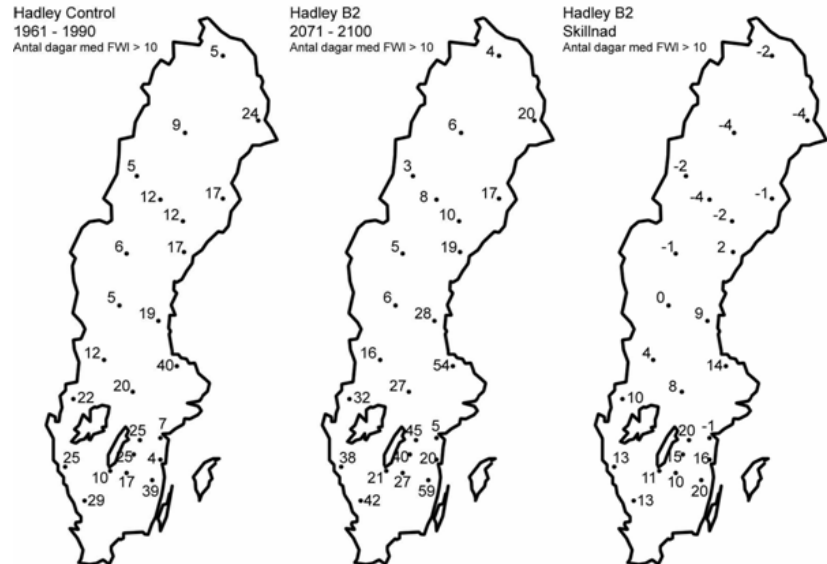
Sammantaget analyserades simulerade data från 24 olika punkter spridda över landet. För 12 av dessa finns dessutom verkliga väderdata (av mer eller mindre god tidstäckning). För de simulerade beräkningarna valdes ett tröskelvärde om FWI 10 för att få ett kvantitativt mått på hur antalet dagar med en försvarlig brandrisk varierar spatialt och hur de kan komma att förändras i skilda delar av landet. Samma tröskelvärde valdes för både Hadley och ECHAM, men som visats ovan gav Hadley control respektive Echam control (simulerat 1900-talsdata) så olika resultat att man inte bör jämföra dem med varandra utan enbart inom respektive modell för olika tidsperioder.

Det simulerade 1900-talsdatat visar för Hadley en måttligt stark N-S gradient i antal dagar per år med FWI-index 10 eller högre (Fig 11, vänstra kartan). Inom Norrland finns dessutom en försvarlig öst-västlig gradient, med omkring dubbelt så många dagar i öster. FWI-index över 10 ligger ungefär i paritet med antal dagar med FWI-index över 20 för verkliga data.

De simulerade värdena för två kustnära punkter, Västervik och Norrköping, ser ut att vara omotiverat låga, liksom värdet för Jönköping, vilket torde bero på att den geografiska ruta som simuleringen gjorts för i respektive fall inkluderar en betydande mängd havs- eller sjöyta.

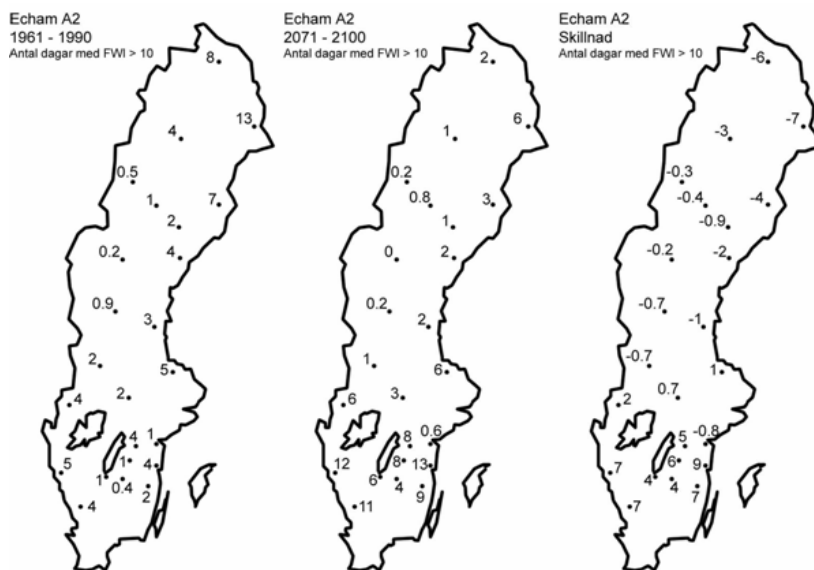
Förändringen i antal dagar med FWI 10 eller högre fram till 2071–2100 för Hadley-simuleringen illustreras i högra kartan i Figur 10.11. Positiva siffror visar ett ökat antal dagar, negativa siffror ett minskat antal dagar. För de flesta punkter i södra Sverige är det en kraftig ökning, ofta mer än 50 % (även vad gäller förändringen verkar Norrköping och Västervik något udda, jfr förklaringen ovan). Norrut avtar ökningen och vänds för stora delar av Norrlands inland i en svag till måttlig minskning.

Figur 10.11 Antal dagar i med FWI-indexvärden >10 enligt väderdata från Hadley. Vänstra kartan visar antal dagar i medel per år under sent 1900-tal. Mellersta kartan visar medlet för perioden 2071–2100. Högra kartan visar förändring i antal dagar fram till 2071/2100. Positiva siffror innebär ökat antal. Siffrorna är avrundade till närmaste heltal.



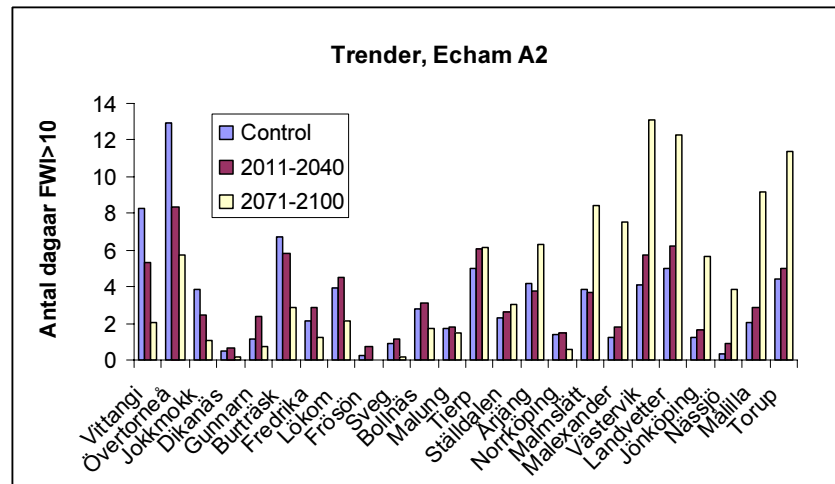
För Echam var det ingen tydlig geografisk gradient för det sena 1900-talet i antal dagar med FWI över 10 (Figur 10.12). Två punkter i norr står ut med allra högst antal: Vittangi och Övertorneå. Däremot visade förändringen till 2071–2100 samma geografiska trend som Hadley: en mycket kraftig ökning i södra Sverige och en nedgång i Norrland. Liksom för de Hadleybaserade beräkningarna skiljer förändringsvärdena för Norrköping och Västervik ut sig från det generella mönstret i SÖ Sverige.

Figur 10.12 Antal dagar i med FWI-indexvärdet >10 enligt väderdata från ECHAM. Vänstra kartan antal dagar i medel per år under sent 1900-tal. Högra kartan visar förändring i antal dagar till 2071/2100. Positiva siffror innebär ökat antal.

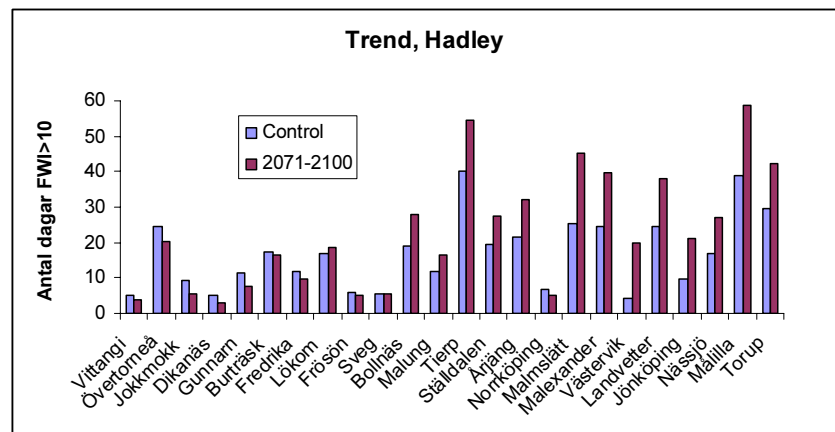


I Figur 10.13 redovisas antal högriskdagar för de Echam-baserade beräkningarna för tre olika tidsperioder: 1961–90, 2011–40 respektive 2071–2100. Tendensen är att den stora ökningen i antal riskdagar i södra Sverige, sker först efter 2040. För Hadley finns alltså inget data för 2011–2040, varför någon närmare precisering av tidpunkten för förändringen fram till 2071–2100 (se Figur 10.14) inte kan göras.

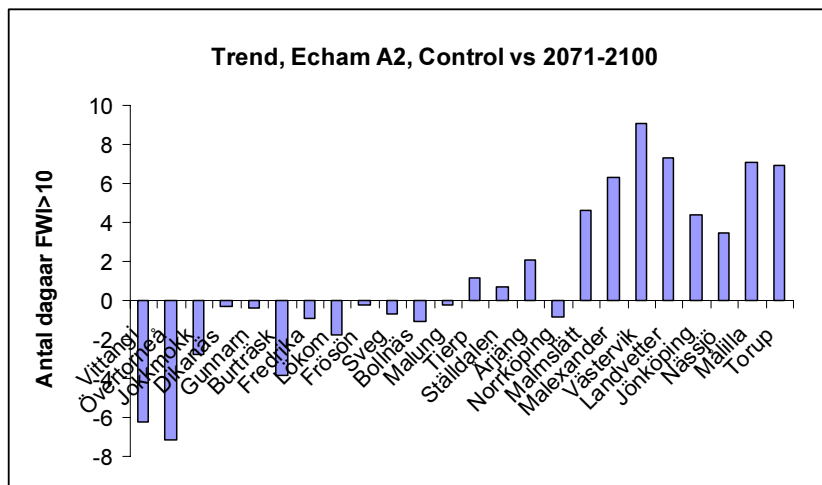
Figur 10.13 Antal dagar per år med FWI>10 för simulerade väderdata enligt Echam A2: Control (=1961–1990), 2011–2040 respektive 2071–2100. De 24 olika orterna har arrangerats från norr till söder.



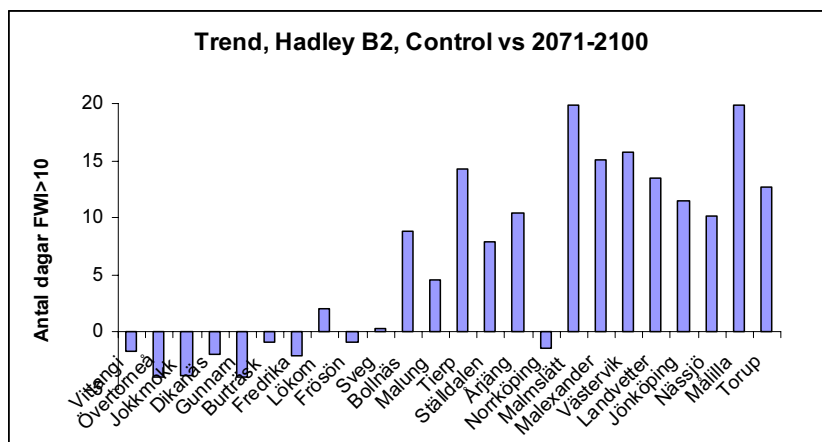
Figur 10.14 Antal dagar per år med FWI>10 för simulerade väderdata enligt Hadley: Control (=1961–1990), respektive 2071–2100. De 24 olika orterna har arrangerats från norr till söder.



Figur 10.15 Förändring i antal dagar per år med FWI>10 för simulerade väderdata enligt Echam A2: Control (=1961–1990), jämfört med 2071–2100 (A2). De 24 olika orterna har arrangerats från norr till söder. Positiva värden innebär ett ökat antal högriskdagar för det sena 2000-talet.



Figur 10.16 Förändring i antal dagar per år med FWI>10 för simulerade väderdata enligt Hadley: Control (=1961–1990), jämfört med 2071–2100 (B22). De 24 olika orterna har arrangerats från norr till söder. Positiva värden innebär ett ökat antal högriskdagar för det sena 2000-talet.



Sammanfattningsvis visar både Echam och Hadley-simuleringarna oförändrat till minskat antal högriskdagar för de flesta områden av norra Sverige, men ökat antal högriskdagar i södra delen av landet (Figur 10.15 och Figur 10.16), fram till det sena 2000-talet. Jämförelsen mellan verkligt och simulerat 1900-talsdata indikerar att Hadley lyckas bättre att simulera de variabler som är av vikt för brandriskberäkningar. Likaså ser de geografiska gradienterna ut att vara mer pålitliga för Hadley (Figur 10.5), varför man troligen bör fästa mest vikt vid det framtidsscenario som genereras av Hadley (Figur 10.16).

11 Förändrade konsekvenser

Om klimatet blir varmare och nederbördsrikare i norra Sverige kan det medföra en ökad areal av skog där skogsbränder kan uppstå. Dessa områden sammanfaller till stor del med de områden idag som har begränsade resurser för insatser mot skogsbrand. På grund av resursbristen och att det tar lång tid att nå fram till brandplatsen kan det antas att skogsbrändernas utbredning till ytan blir större. Trenden för främst norra Sveriges inland är en minskande befolkning och därmed kan svårigheter uppstå att upprätthålla en erforderlig nivå på beredskap mot bränder i framtiden. Detta gäller under förutsättning att räddningstjänsten har motsvarande organisatorisk utformning som idag.

I ett förändrat klimat med ökad produktion skulle omloppstiden förkortas något och beståndet sluta sig lite snabbare (kortare ungdomsfas). I ett fullslutet bestånd (exempelvis gran) finns inget fält- eller bottenvegetation för att endast en liten mängd ljus når marken. I norra norrland och stora delar av södra norrland sluter sig skogen idag aldrig riktigt. I norra Sverige borde därför effekten av slutenhetsgrad vara störst om klimatet förändras. I ett medelålders bestånd kan en minskning av fältvegetationen komma att ske. I södra och mellersta Sverige kommer nog inte fältvegetationen att ändras nämnvärt i medelålders bestånd. Detta kan innebära att den variation i brandrisk och brandbeteende som idag råder i södra Sverige kan komma att förskjutas till norra Sverige.

Ett varmare och torrare klimat (nederbördsfattigare) på sikt i södra Sverige kan ge högre risk för allvarliga bränder på grund av att mer uttorkat bränsle kan delta i branden och att branden kan

brinna med högre intensitet. Ett varmare och torrare väder i södra Sverige kan leda till stora konsekvenser för brandbeteendet och resultera i stora och omfattande skogsbränder. En förändring i antal dagar från ca 15–20 dagar/år med dygnsmaxtemperatur $>20^{\circ}\text{C}$ dagar/år till 65–70 dagar/år med dygnsmaxtemperatur $>20^{\circ}\text{C}$ dagar/år och mindre nederbörd kan innebära att de skogsbränder som uppstår i de nederbördsfria perioderna kan bli svåra att bekämpa med dagens resurser. Såväl ytan som skogsbrändernas antal kan komma att öka. Om flera stora bränder sker samtidigt inom samma regioner kan resursbristerna antas bli påtagliga då konkurrensen uppstår om befintliga resurser.

Ett varmare klimatet kan medföra att säsongen för brand i vegetationen förlängs. Det kan innebära en möjligheter till fler bränder. Det kan medföra att räddningstjänsten måste ha större beredskap för vegetationsbränder. I de allra sydligaste delarna av Sverige kan det till och med bli så att vegetationsbränder finns året om.

Hur skogsbruket och vegetationen kommer att förändras är svårbedömt. Vilka metoder som används i skogsbruket kan påverka hur mycket bränsle det finns tillgängligt. Ganska små förändringar i bränsletillgång kan ge förändrad brandintensitet.

De modellberäkningar för brandriskindex (FWI) som genomförts med simulerade klimatdata, visar en tydlig tendens i att antalet dagar med hög brandrisk ökar främst i södra Sverige. Ökningen av antalet högriskdagar har varit i storleksordningen 50 %.

Konsekvenser av ökad brandintensitet

Resultatet av de olika modellkörningarna för brandriskindex (FWI) ger att antalet dagar med högre brandriskindex kan komma att bli fler. Hur stor denna ökning är i absolut nivå är oklart beroende på att indatan från klimatscenarierna har brister.

Det kan dock konstateras att antalet dagar med högre brandriskindex kan komma att öka. Ett högre brandriskindex enligt FWI-indexet medför också generellt, för de bränder som sker, att brandens intensitet ökar.

Den faktiska ändringen av brandintensiteten under inverkan av ett framtida klimat är beroende av hur mycket bränsle som finns tillgängligt. Om brandriskindexnivåns ökning följs av mindre bränsle tillgängligt för brand kommer ökning av brandintensiteten att begränsas. Om däremot det motsatta sker och mer bränsle finns

tillgängligt kan effekten förstärkas till ännu intensivare bränder. Idag saknas underlag för att bedöma en eventuell framtida klimat-inverkan på bränslesituationen. Ett ändrat skogsbruk eller andra typer av vegetation kan förändra brandintensiteten. Ett exempel som visar på vegetationens betydelse är de planteringar av Contortatall som gjorts i en ganska stor del av norra Sverige. I en studie om framtidens skogsbränder (Granström, 1998), anges att spridningshastighet i Contortatall jämfört med tallbarr generellt är snabbare. Skillnaden var oftast i storleksordningen 30–50 %.

Det finns små möjligheter att släcka bränder med brandintensitet över en viss nivå och det krävs speciella resurser som idag saknas. Under extrema situationer då brandriskindexnivån och brandintensiteten är hög kan konsekvenserna bli att det saknas möjlighet att släcka dessa bränder med befintliga metoder.

Påverkan på samhället

Enstaka mindre bränder som upptäcks tidigt bör inte leda till några allvarigare störningar i samhället. Om däremot många bränder uppstår samtidigt inom ett begränsat område kan resursbrister uppstå. Det kan innebära att släckningen inte kan påbörjas inom godtagbar tid. Som en konsekvens av detta kan samhällstörningarna bli omfattande. Tidigare har många samtidiga bränder uppstått i samband med "torr åskväder" eller utmed banvallar då tågen antänt vegetation utmed banvallen. Om resursbrist råder eller om det dröjer länge till släckning kan påbörjas kan det leda till att stora bränder utvecklas.

Om omfattande skogbränder uppstår kan också vissa anordningar för infrastruktur påverkas av rök och brand. Det kan medföra att vägar ej kan användas och trafikeras. Även el- och teleledningar i luft, radio- och mobiltelefonanläggningar eller master kan påverkas. Människor kan också tvingas att utrymmas från bebyggelse på grund av rök, etc.

Om antalet dagar med torrt väder ökar får man generellt högre uttorkning av mark och bränsle. Bränder som uppstår vid sådana förhållanden tar längre tid att släcka, och risken för återantändning ökar markant.

Flera omfattande större skogsbränder inom samma del av landet kan leda till att samhällets resurser och förmåga inte räcker till för att åtgärda skogsbränderna. Även möjligheten att hantera andra

olyckor kan begränsas på grund av svårigheten att samtidigt också upprätthålla beredskap för andra nödlägen.

12 Förslag till åtgärder

Behov av forskning och utveckling:

För att möta de förändringar som en klimatförändring innebär behöver forsknings- och utvecklingsstudier göras inom skogsbrandsområdet. Nedan följer exempel på studier som behöver initieras.

Fördjupad studie och forskning av klimatdata till brandriskmodeller

För att kunna genomföra trovärdiga effektstudier med brandriskmodeller krävs en forskningsinsats som riktas specifikt mot överföringen av klimatmodellens resultat till drivdata för brandriskmodellerna. Detta innebär fler variabler än de som hittills har använts av SMHI för de hydrologiska effektstudierna. Justering av variabler i klimatmodellen innebär även att energibalansen i modellen påverkas. I metoden för att överföra data är det därför viktigt att samtliga variabler som används är konsistenta. Som exempel kan nämnas att relationen och samspelet mellan nederbörd och relativ luftfuktighet efter en eventuell korrigering måste vara oförändrad.

Studier och forskning av växtsamhällets betydelse för brandförlopp, intensitet och spridning

Studier och forskning behöver initieras för att se vilka konsekvenserna kan bli i form av förändrad brandintensitet, spridningsförutsättningar, storleken på bränderna etc. på grund av klimatförändringen. Även förändringen av växtsystemen och eventuellt ändrade bränslestrukturer behöver studeras för att se i vilken utsträckning detta kommer att påverka brand i vegetation.

Operativt stöd, m.m.

För att kunna göra anpassningar till följd av klimatförändringarna och förändrad brandrisk behöver forsknings- och utvecklingsarbete genomföras som beaktar de nya förhållandena och bland annat tar fram:

- Metoder för att kartlägga och inventera riskförhållandena samt för att fortlöpande kunna uppdatera dem.
- Metoder för att släcka bränder i vegetation, inklusive utveckling/anpassning av brandsläckningsutrustning och materiel.
- Anpassade brandspridningsmodeller och prognoser för brandspridning.
- Utformad taktik för insatser och besluts-/informationssystem för vegetationsbränder
- Samverkansformer vid omfattande vegetationsbränder.
- Inventeringar av samhällets resurser och förmåga vid omfattande vegetationsbränder.
- Utbildningar och övningar för olika funktioner som deltar i en släckinsats.
- Förstärkningsresurser (nationellt) och hur internationellt stöd ska kunna tas emot eller utformas tillsammans med andra länder.
- System, metoder, rutiner för att upptäcka skogsbränder tidigt.

Studierna och utvecklingsarbetet bör utformas så att möjligheter finns att åtgärder eller metoder kan stödja förebyggande syfte, åtgärder för förberedelser och genomförande av räddningsinsatser med anledning av det förändrade klimatet.

Förebyggande åtgärder

För att kunna hantera skogsnäringens risker för antändning av skog måste ett bra system finnas som kan ge prognoser om brandrisknivån så att skogsskötseln kan anpassas utifrån aktuell riskbild. Utveckling och anpassning av olika brandriskmodeller som beaktar ett ändrat klimat och förändrat skogsbruk måste ske.

Legala åtgärder, förbud etc.

Det bör framgå tydligare i lagstiftningen att även skogsägare eller nyttjanderättshavare har skyldighet att vidta brandskyddsåtgärder för egendom.

Formen för hur eldningsförbudet ska utfärdas behöver ses över så att det kan hanteras på ett smidigare och effektivare sätt samt så att informationen om beslutet kan förmedlas snabbt och effektivt till de berörda.

Åtgärder inom skogsnäringen

Skogsnäringen bör anpassa sitt skogsbruk till den aktuella brandrisknivån och dessutom hålla en beredskap för att kunna släcka skogsbränder. En anpassning av vilken verksamhet som kan tillåtas utifrån brandrisknivån är en möjlig lösning. Det kan resultera i en begränsning av vissa arbetsmoment som kan medföra risk för antändning eller att verksamheten begränsas för vissa geografiska områden.

Skogsnäringen bör etablera och svara för att egna resurser skapas för att kunna skydda skogen mot brand. De åtgärder och resurser som skogsnäringen måste hålla i beredskap för att skydda sig mot brand bör också kunna utnyttjas av samhället för att släcka skogsbränder. Därför bör en skyldighet att redovisa sin brandskyddsorganisation till samhället införas för skogsnäringen.

Bevakning och kontroll av skogen kan också bli en utökad skyldighet för ägaren. Särskilt vikt bör läggas vid utformning och organisation av hur skogsbränder ska upptäckas tidigt. En sådan organisation bör också kunna samutnyttjas av samhället i övrigt.

Det bör också övervägas om krav ska införas så att skogsnäringen/markägare blir skyldiga att organisera eller bekosta en särskild organisation för att kunna genomföra förebyggande åtgärder för släckning av brand i vegetation eller om samhället i sin helhet bör svara för dessa uppgifter.

EU och internationellt samarbete

Sverige bör öka sin medverkan i internationella och forsknings-, utvecklings- och samarbetsprojekt. Ett område som är angeläget och kan vara kostnadseffektivt att samarbeta inom och att utveckla är användandet av ny teknik och kunskap för att upptäcka, övervaka och prognostisera vegetationsbränder med hjälp av satelliter.

Inom södra Europa finns stor erfarenhet av att operativt hantera omfattande skogsbränder i varma och torra förhållanden. Det finns också större operativa resurs i Medelhavsområdet än vad som finns i norra Europa. Även ett samarbete med länder öster om Skandinavien bör utvecklas då dessa områden i stort har förhållanden som liknar de skandinaviska för vegetationsbränder.

Sverige bör tillsammans med övriga länder i nordligare delen av Europa utveckla den operativa beredskapen och förmågan genom att i större omfattning planera, delta och bidra med resurser i det internationella samarbetet. Betydelsen av ett svenskt deltagande i ett sådant internationellt samarbete kommer att öka i takt med att det blir allt torrare som följd av klimatförändringen. De omfattande vegetationsbränder som då kan uppstå kräver slagkraftiga operativa resurser.

13 Kostnader

Statliga kostnader

Räddningsverket betalar årligen ut statlig ersättning för räddningsinsatser som har medfört betydande kostnader. I tabell 13.1 redovisas utbetalade medel för åren 1986–2006. Den statliga ersättningen för skogsbränder som inneburit betydande räddningsinsatser varierar mycket över åren. Behovet av statlig ersättning kommer troligen att öka i framtiden om antalet omfattande skogsbränder blir fler pga. klimatförändringarna.

Tabell 13.1 Utbetalad ersättning enligt 37 § Räddningstjänstlagen (1986–2003) samt 7 kap. 3 § LSO (2004–2006). ⁵⁾ Statistiken är hämtad från Räddningsverket 2007. Observera att kostnaderna för en insats i fler fall betalats ut till kommunen efterföljande år.

År ¹⁾	Skogsmark, trädbevuxen mark		Ej trädbevuxen mark	
	Antal bränder	Kostnad (Tkr)	Antal bränder	Kostnad (Tkr)
1986/87	4	1 027	1	1 249
1987/88	1	175	-	-
1988/89	-	-	-	-
1989/90	3	745	-	-
1990/91	4	2 599	-	-
1991/92	2	691	-	-
1992/93	16	44 234	-	-
1993/94	5	4 342	-	-
1994/95	15	16 330	-	-
1995/96	-	-	-	-
1997	4	5 767	-	-
1998	2	5 766	-	-
1999	2	1 063	1	2 480
2000	1	6 353	-	-
2001	2	1 207	-	-
2002	3	5 650	-	-
2003	2	2 198	-	-
2004	3	5 228	-	-
2005	3	3 404	-	-
2006 ²⁾	6	13 182	-	-

1) Budget år tom 1994/5 var delade (1/7–30/6), budgetår 1995/96 omfattar 18 månader (1995-07-01–1996-12-31), budgetår fr.o.m. 1997=kalenderår

2) Fram till 31 maj 2007 har ytterligare utbetalningar skett för 7 bränder på 11 584 Tkr för bränder som ägde rum under 2006.

Utöver denna reglerade ersättning enligt LSO om ersättning vid räddningsinsatser till kommunen har staten också andra kostnader. Staten är utan kostnadsanspråk skyldig att bistå kommunerna vid en räddningsinsats. Polisen och Försvarsmakten är troligen de organisationer som har störst kostnader för att bistå kommuner vid räddningsinsatser.

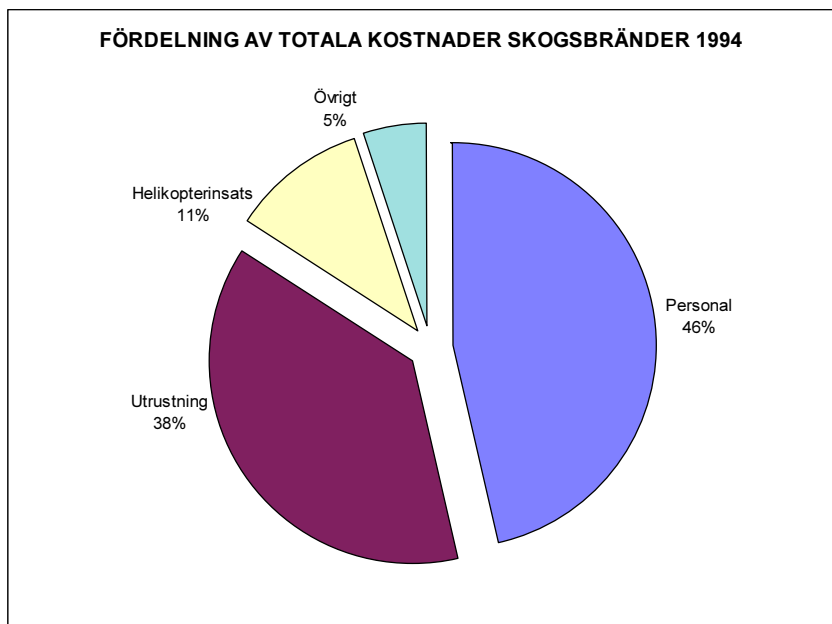
Totalkostnader för släckning

Samhällets samlade kostnader för att släcka skogsbränder har uppskattas i en studie från 1996 (Räddningsverket, 1996). Basdata för kostnadsberäkningarna har i huvudsak hämtats från räddningskåren i en tidigare studie (Räddningsverket och SCB, 1995). För att beräkna kostnaderna har ersättningsnivåerna för utrustning hämtats från SRV:s meddelande 1995:2. För personalkostnaderna har uppskattade medelvärden utgjort underlaget. SCB har på uppdrag av Räddningsverket genomfört undersökningen om skogsbränder 1994 och beräkningen av släckningskostnader.

Totalt uppgår de beräknade släckningskostnaderna till ca 76 miljoner kr för de bränder som undersökningen omfattar. Samtliga kostnader för att släcka skogsbränderna ingår så långt det har varit praktiskt möjligt att erhålla nödvändig information. Såväl kommunala, statliga, privata som frivilliga insatser har kostnadsberäknats.

Tas även hänsyn till att samtliga skogsbränder inte har omfattats av undersökningen torde de totala släckningskostnaderna uppgå till knappt 80 miljoner kr för skogsbränderna 1994. Uppgifterna redovisar kostnader för personal, utrustning, helikopterinsatser och övrigt uppdelat på 9 olika storleksklasser (figur 13.1).

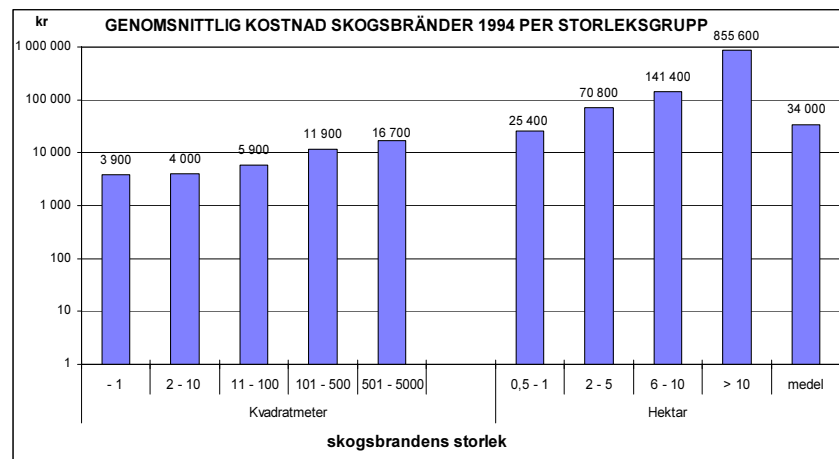
Figur 13.1 Fördelning av totalkostnader för bränder år 1994. Statistiken är hämtad från (Margaretta Bratt och Leif Sandahl, 1996).



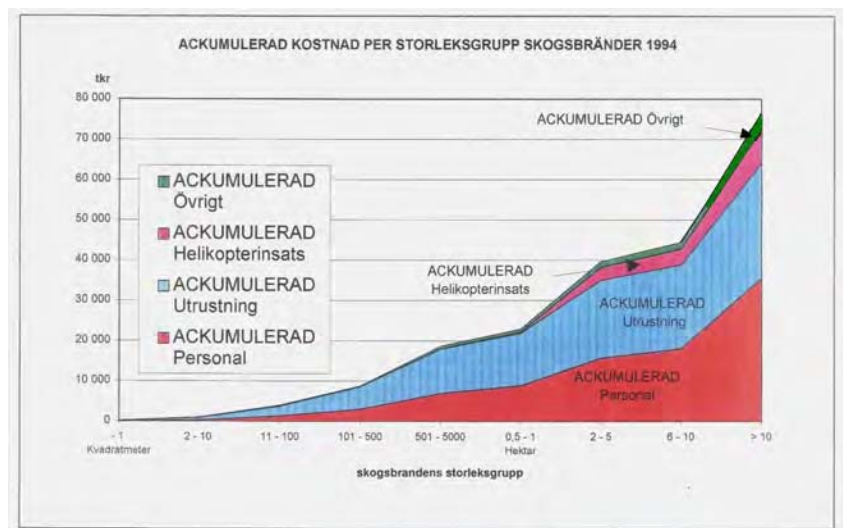
Sommaren 1994 var ingen extremt torr sommar. Mot bakgrund av att skogsarealen antas öka i norra Sverige och att torrare klimat kan ge fler möjliga branddagar bör också de årliga släckkostnaderna öka. Även kostnadsuppräkning bör göras från 1994. De genomsnittliga kostnaderna för släckning kommer troligen ganska snart för normala år utan extremt torrt väder att ligga runt 200–300 milj kr/år i 2007 års penningvärde.

Kostnaderna för att släcka skogsbränder ökar med större avbränd yta (se fig. 13.2 och 13.3) och de riktigt stora bränderna kan svara för huvuddelen av den samlade årskostnaden och i vissa fall bryta den avtagande tendensen med lägre släckkostnad per hektar. För den torra sommaren 1992 ersattes Osby och Visby för sina två stora bränder med ca 34 miljoner (endast räddningstjänstkostnad). Totalt ersatte staten kommunerna 1992/93 med 44 miljoner fördelat på 16 skogsbränder (jfr tabell 13.1). Vilket antyder att om vi får fler enskilt stora bränder kommer statens kostnader för ersättning till kommuner att kunna öka. De stora bränderna kan antas bli fler i södra Sverige.

Figur 13.2 Genomsnittlig kostnad för skogsbränder år 1994 indelat storleksklasser. Från Räddningsverket och SCB, 1995.



Figur 13.3 Ackumulerad kostnad för skogsbränder år 1994. De olika rasterna anger olika kostnader sammanräknat från minsta till största storleksklass på brandyta. Från Räddningsverket och SCB, 1995.



14 Referenser och noter

- Bergh, J. et al., 2003. Modelling the short-term effects of climate change on the productivity of selected tree species in Nordic countries. *Forest Ecology and Management* 183:327–340.
- Bergh, J., Sallnäs, O. Blennow, K och Nilsson, U. 2006. Effekter av ett förändrat klimat på skogen, Sveriges Lantbruks Universitet 2006, 26 sid.
- Berglund, L. (1998). Fuel conditions and fire potential in deciduous forests in Northern Sweden. Department of forest vegetation Ecology, SLU.
- Christensen, J.H., Carter, T. and Giorgi, F., 2002. PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. *EOS*, 82, pp 147.
- Cubasch, U., Meehl, G.A., Boer, G.J., Stouffer, R.J., Dix, M., Noda, A., Senior, C.A., Raper, S. and Yap, K.S. 2001. Projections of future climate change. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, K., Maskell, K. and Johnson, C.A. (eds). Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 881pp.
- Döscher, R., Willén, U., Jones, C., Rutgersson, A., Meier, H. E. M., Hansson, U. and Graham, L. P. 2002. The development of the coupled regional ocean-atmosphere model RCAO. *Boreal Env. Res.* 7, 183–192.
- Glesbygdsverket 2006. Risker och räddning i glesbygd. Glesbygdsverket 2006, 58 sidor.
- Gardelin, M. (1997) Brandriskprognoser med hjälp av en kanadensisk skogsbrandsmodell. *Rapport Räddningsverket*, P21-168/97.
- Granström, A. & Schimmel, J. (1998). Utvärdering av det kanadensiska brandrisksystemet. Testbränningar och uttorkningsanalyser, Rep. No. P21-244/98. Räddningsverket, Karlstad.
- Granström, A. 1998. Framtidens skogsbränder – Ändrad brandrisk genom förändrad skogsskötsel, Räddningsverket (P21-243/98), 24 sidor.
- Granström A., 200? Utdrag ur Skogsbrand-Brandbeteende och tolkning av brandriskindex, Institutionen för skoglig vegetationsekologi SLU, 901 83 Umeå, 66 sidor. Rapporten i sin helhet kan laddas ner från Räddningsverkets hemsida ⁶⁾

- IPCC 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge, 612 pp
- Jones, C. G., Willén, U., Ullerstig, A. and Hansson, U. 2004. The Rossby Centre Regional Atmospheric Climate Model Part I: Model Climatology and Performance for the Present Climate over Europe. *Ambio* 33:4–5, 199–210.
- 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.
- 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.
- Meier, H. E. M., Döscher, R. and Faxén, T. 2003. A multiprocessor coupled ice-ocean model for the Baltic Sea: Application to salt inflow. *J. Geophys. Res.* 108:C8, 3273, doi:10.1029/2000JC000521.
- 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.
- Räddningsverket och SCB, 1995. Undersökning om skogsbränder 1994, Räddningsverket 1995, rapport R53-120/95.
- Räddningsverket 1996, Sammanställning av släckkostnader för skogsbränder 1994, R53-128/96, Bratt Margareta, Sandahl Leif, 13 sidor ⁷⁾
- Räddningsverket 2002. Databasen Dart december 2002. ⁸⁾
- Räddningsverket 2003. Skogsbrandsläckning, Rickard Hansen och Räddningsverket 2003, 144 sidor.
- Stocks, B.J., Cahoon, D.R., Levine, J.S., Cofer III, W.R., & Lynham, T.J. (1996). Major 1992 forest fires in central and eastern Siberia: satellite and fire danger measurements. In *Fire in ecosystems of boreal Eurasia* (eds J.G. Goldammer & V.V. Furyaev), pp. 139–150. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

Stocks, B.J., Lawson, B.D., Alexander, M.E., Van Wagner, C.E., Mc Alpine, R.S., Lynham, T.J., & Dubé, D.E. (1989) Canadian Forest Fire Danger Rating System: an overview. *Forestry Chronicle*, **65**, 258–265.

Tanskanen, H., Venalainen, A., Puttonen, P., & Granström, A. (2005) Impact of stand structure on surface fire ignition potential in *Picea abies* and *Pinus sylvestris* forests in southern Finland. *Canadian Journal of Forest Research*, **35**, 410–420.

— — — —

¹⁾ ECMWF <http://www.ecmwf.org/>

²⁾ Max-Planck institutet för meteorologi
<http://www.mpimet.mpg.de/en/home.html>

³⁾ Hadley Centre
<http://www.metoffice.gov.uk/research/hadleycentre/index.html>

⁴⁾ Med statistiskt signifikant menas här att givet den simulerade mellanårsvariabiliteten under kontrollperioden så är det högst 5 % chans att klimatförändringssignalen är slumpmässig.

⁵⁾ Räddningsverket 2007. [Sida uppdaterad 2007-02-02]
http://www.raddningsverket.se/templates/SRV_Page_13914.aspx

⁶⁾ <http://www.raddningsverket.se/upload/Raddningstjanst/Skogsbrand/Skogsbrand%20-%20Brandbeteende%20och%20tolkning%20av%20brandriskindex.pdf>

⁷⁾ http://srv.se/shopping/srv_ShowItem_15989.aspx

⁸⁾ <http://www.raddningsverket.se/upload/statistik/tillsyn/arsrapportering%20raddningstjanst%202002.xls>

Omvärldsanalyser och skogsnäringens utveckling:
Skogsnäringens utveckling – strukturomvandling,
rationalisering, internationell konkurrens, efterfrågan
på olika skogsprodukter inklusive biobränslen
(2020 med utblick mot 2050 och 2080)

Skogsindustrierna

Underlagsrapport utarbetad för Klimat- och sårbarhetsutredningen, 2007

Innehåll

Perspektiv mot år 2020.....	5
UTGÅNGSLÄGE.....	5
PERSPEKTIV MOT 2020 – NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN BESTÅR/TRENDER FORTSÄTTER.....	9
Utblick mot 2050 och 2080.....	12

Perspektiv mot år 2020

UTGÅNGSLÄGE

Skogsnäringen viktig för Sveriges ekonomi

Skogsnäringen (skogsbruket och skogsindustrin) står traditionellt för viktiga värden i det svenska samhället. Det gäller skogsindustrins betydelse för den svenska ekonomin i form av stora exportintäkter, direkt och indirekt sysselsättning, process- och produktutveckling och ständiga miljöförbättringar. Det gäller även skogens och skogsbrukets betydelse som leverantör av råvara och av rekreationsmöjligheter och även infrastruktur i form av vägar.

Skogsindustrin ger underlag för en betydande tjänsteproduktion och har genom sitt läge utanför storstadsområdena stor betydelse för den regionala sysselsättningen.

Svensk skogsindustri stor på världsmarknaden

Med mindre än en procent av världens skogsresurser svarar den svenska skogsindustrin för i storleksordningen tio procent av världens export av sågade barrträvaror, papper och massa och intar därmed nummer 3 och 4 i rangordning av världens exportörer.

Internationell konkurrens och nya marknader

Den svenska skogsindustrin är starkt konkurrensutsatt. De traditionella konkurrenterna i Europa och Nordamerika har på senare tid utökats med skogsindustri i länder med lägre produktionskostnader, bl.a. till följd av mera snabbväxande skogsråvara och/eller betydligt lägre personalkostnader, i Sydamerika och Sydostasien. Det är också i dessa områden som efterfrågetillväxten är starkast. Konsekvenserna för den svenska skogsindustrin kommer att synas genom en förskjutning av marknaden från Västeuropa (och Nordamerika) mot Sydostasien och Sydamerika. Det växande utbudet från producenter i dessa områden kan komma att undantränga exportmöjligheter från bland annat Sverige. På den europeiska marknaden kan också importkonkurrens från dessa regioner öka. Även i Ryssland och central- och östeuropeiska länder byggs indu-

stripproduktionen ut, och efterfrågetillväxten är högre än i västra Europa.

Flera av skogsindustrins produkter är av bulkkaraktär och prissätts på världsmarknaden. Nyttillkommande producenter med lägre tillverkningskostnader pressar därmed priserna, och för tillverkare i Sverige har under lång tid priserna på flera produkter sjunkit realt med 1–3 procent per år¹. Stora fluktuationer i löpande priser kan dock noteras. Ett sätt för företagen att möta prisnedgången är att arbeta med ständiga produktivitetsförbättringar. Andra åtgärder är ökad förädling och differentiering av produkterna, ökad specialisering och kundservice. Den nyligen framlagda nationella forskningsagendan² visar också på branschens forskningsbehov och innovativa utveckling.

Ändrade förutsättningar i Sverige för energi och råvara

Samtidigt med dessa omvärldsförändringar har förutsättningarna för skogsindustriproduktion i Sverige förändrats i två viktiga avseenden, nämligen elenergi och råvara. Energikostnaden är en betydande kostnadspost vid tillverkning av massa och papper. Därför pågår ständigt arbete med att utnyttja energin effektivare. Det sker genom trimningar i befintliga anläggningar, men kan framför allt komma till stånd i samband med större ombyggnader eller nybyggnation. Behovet av elenergi har stigit, framförallt beroende på växande pappersproduktion, ökade kvalitetskrav och ökade miljöinsatser.

Långsiktigt ökande efterfrågan på branschens produkter (se vidare sid 4) innebär att den svenska produktionen av papper kan väntas öka och därmed behovet av energi. En av branschens viktigaste frågor är hur den framtida energitillförseln, särskilt av elenergi, kan säkras till konkurrenskraftiga priser.

Priset på elenergi har på senare tid stigit markant. Särskilt kännbart är prishöjningen för den elintensiva massa- och pappersindustrin. Elprishöjningarna har redan påverkat strukturen i massa- och pappersindustrin och bidragit till nedläggningar av maskiner eller fabriker och uppskjutna eller inställda investeringar i nya maskiner. För sågverken utgör elkostnaden ca 2 % av produktionskostnaden,

¹ Omvärldsfaktors påverkan på svensk skogspolitik ur ett industriellt perspektiv; McKinsey&Company, bilaga 4 till Skogsutredningen (juni 2006)

² En nationell strategisk forskningsagenda för den skogsbaserade näringen (november 2006)

men kan för en del sågverk med vidareförädling t.ex. limträ, limfog, vara betydligt högre.

Ökat fokus på biobränsle har ökat konkurrensen om skogsråvaran och bidragit till prispress uppåt. Skogsindustrierna har i en utredning visat att det finns en potential att öka det årliga uttaget av biobränsle i form av grot från skogen från motsvarande 7 TWh bränsle till 15 TWh bränsle, vid nuvarande förhållanden avseende energi- och transportskatter. Om priset på biobränsle stiger kan det bli lönsamt att använda nya typer av avverknings- och gallringsrester, och potentialen för dessa har beräknats kunna uppgå till ytterligare 12 TWh bränsle. Detta uttag skulle kunna göras utan att konkurrera med annan råvaruansvändning.

Beslut om ytterligare reservatsavsättningar av skogsmark begränsar det möjliga uttaget av såväl biobränsle som virkesråvara.

Vedråvara och returpapper importeras

Idag täcks tolv procent av den svenska skogsindustrins behov av virkesråvara av import, huvudsakligen från länder runt Östersjön. Uppbyggnad av en egen skogsindustri tillsammans med globalt ökad användning av biobränsle kommer att öka konkurrensen om virkesråvara i Östersjöområdet. Ett nyligen tillkommet starkt hot är Rysslands beslut att lägga en successivt ökande skatt på virke som exporteras. Detta ger effekter på virkeshandeln och virkestillförseln i Östersjöområdet och riskerar få genomgripande strukturella effekter på industrin med nedläggningar av kapacitet till följd.

Returpapper är en viktig råvara för papperstillverkningen i Sverige. Den inhemska insamlingen är väl utbyggd, men import täcker ca 30 procent av behovet. Insamlingen i Europa ökar, men det råder stark konkurrens även om returpapper från den växande pappersindustrin i Kina och Sydostasien.

Hållbar utveckling och klimatförändringar – skogsnäringen är en del av lösningen

En positiv utvecklingstrend för skogsnäringen är ökat fokus på hållbar utveckling. Här lämnar skogsnäringen stora bidrag; några exempel är: råvaran är förnybar, produkterna är återvinningsbara, tillverkningsprocesserna är miljöanpassade, skogsindustrin ger ett

stort bidrag till Sveriges handelsbalans och sysselsättning, arbetsmiljön förbättras.

Skogsindustrin är genom sina processer de största producenterna och användarna av biobränsle i Sverige. Moderna kemiska massatillverkare genererar ett överskott på elenergi som kan säljas till det externa elnätet.

Ur klimatsynpunkt är skogsresursen mycket värdefull: växande skogar binder koldioxid, och träbaserade produkter fortsätter att lagra koldioxid under hela sin livstid. Produkterna följer en ekoeffektiv livscykel med återanvändning, materialåtervinning och energiutvinning.

Kostnadsnedskärningar, omstruktureringsprogram

För att möta konkurrensen och stärka lönsamheten genomför många företag fleråriga effektiviserings- och besparingsprogram. De har bland annat medfört personalneddragningar och i vissa fall nedläggning av bruk. Bidragande till nedläggningarna är också situationen på elmarknaden.

Investeringar i produktionsanläggningar och i produkt- och processutveckling behövs för att stärka konkurrenskraften. Investeringarna viker nu, och ingen stor investering har beslutats att igångsättas de närmaste åren.

Strukturomvandlingen ständigt pågående

Strukturomvandling i skogsindustrin är ständigt pågående. Antalet bruk har successivt minskat samtidigt som den totala kapaciteten ökat och bruken blivit flerfalt större. Under 2006 aviserades nedläggningar eller kraftiga minskningar av produktionen vid tre pappersbruk och ett massabruk. För sågverken fortsätter konsolideringen och en allt högre andel av trävarorna vidareförädlas och anpassas till kundens behov.

Också ägarskapet i industrin förändras med ett ökat inslag av utländskt ägande i svensk skogsindustri. Samtidigt med det ökade utländska ägandet har vi sett en ökad specialisering i tillverkningen, vilket lett till att den tidigare trenden mot ökad koncentration vänts i riktning mot ökad fragmentering. Ägarnas lokalisering kan ha betydelse för de överväganden och vägval som görs för anlägg-

ningar i Sverige. Under de senaste åren har också private equity-företag i ökad utsträckning gått in som ägare i skogsindustrin.

PERSPEKTIV MOT 2020 – NUVARANDE FÖRHÅLLANDEN BESTÅR/TRENDER FORTSÄTTER

Förväntad tillväxt

Den globala efterfrågan på papper stiger enligt konsultföretaget Pöyry 2,1 procent per år fram till 2020. Det betyder en ökning med 140 miljoner ton från år 2004 till 500 miljoner ton år 2020. Bakom den fortsatt goda efterfrågan på pappersprodukter ligger en fortsatt god ekonomisk utveckling. I världens mest folkrika länder Kina och Indien är den ekonomiska tillväxten mycket stark vilket medfört en samhällsomvandling med en växande medelklass som ställer nya krav på distribution av livsmedel, andra dagligvaror och investeringsvaror för hushållen. Utvecklingen gynnar efterfrågan på olika slag av pappersprodukter. Efterfrågetillväxt över genomsnittet väntas för träfria tryckpapper, mjukpapper, kartong för well-lådor och andra kartongförpackningar.

Huvuddelen av efterfrågeökningen kommer att äga rum i Asien, medan ökningen på den svenska pappersindustrins traditionella hemmamarknad västra Europa är betydligt lägre – mindre än en procent per år motsvarande i storleksordningen en miljon ton per år.

Massatillverkningen expanderar mest i Sydamerika

Den stora expansionen i massaproduktion kommer att ske i länder på södra halvklotet. Bakom de ökade investeringarna är snabb skogstillväxt med korta omloppstider, vilket tillsammans med låga personalkostnader ger låga produktionskostnader i "state of the art" - anläggningar. Expansionen sker främst i massa av lövved, och Sydamerika kommer att bli huvudsaklig exportör av denna massa för marknaderna i Asien, Europa och Nordamerika.

Returpapper allt större andel av råvaran i pappersproduktionen

Returpapper kommer att spela en växande roll som råvara i papperstillverkningen. Detta kommer att ställa ökade krav på insamlingsystem för returpapper i stora delar av världen.

Sågade trävaror

För sågade trävaror riktas exporten mer och mer mot Asien och Afrika, men även i Europa stimuleras efterfrågan av ökande investeringar inom nybyggnation liksom renovering och underhåll.

De synnerligen omfattande insektsangreppen i British Columbia Interior kommer på sikt att kraftigt begränsa utbudet av råvara. Ca 580 miljoner m³ tall har i dagsläget angripits och delstatsregeringen bedömer att ca en miljard m³ eller 80 % av all tall i regionen kommer att vara död år 2013. Tallen är regionens viktigaste trädslag och svarar för 25–30 % av avverkningarna. Efter 5–10 år är träden inte längre lämpliga som sågtimmer. Produktionen av trävaror beräknas falla betydligt, vilket förväntas öppna möjligheten för europeiska exportörer.

FAO har i sin analys "European Forest Sector Outlook Study" räknat med en årlig tillväxt i produktion och konsumtion i västra Europa med 1,0 % resp. 0,8 % fram till 2020. En betydligt kraftigare tillväxt förväntas i östra Europa liksom i Ryssland.

En fortsatt ökning av den globala trävaruförbrukningen ger en stigande trävaruproduktion men också ökande konkurrens från andra material. Plast och olika skivmaterial har tagit marknadsandelar. Stål och "engineered wood" har ökat inom vissa segment.

Fortsatt importbehov i Asien

Asien kommer att fortsatt vara ett underskottsområde för massa, papper och returpapper. Även för trävarorna är denna region ett betydande underskottsområde, samtidigt som regionen uppvisar den kraftigaste tillväxten.

Tillväxten i Sverige

Den svenska produktionskapaciteten för papper bedöms fram till år 2020 få en lägre ökningstakt än som varit fallet hittills. Under 15-årsperioden fram till år 2005 ökade produktionskapaciteten med i genomsnitt knappt två procent per år; den beräknas under den närmaste 15-årsperioden fram till år 2020 öka med högst 1,5 procent per år. Kapaciteten för avsalumassa bedöms vara i stort oförändrad, medan den integrerade massaproduktionen stiger. Produktionen av sågade trävaror ökade under motsvarande period med drygt 2,5 procent, men bedöms på sikt stiga i långsammare takt.

Den bedömda utvecklingen betyder att Sveriges marknadsandelar på världsmarknaden sjunker något. Om Sverige till år 2020 skulle behålla samma marknadsandel av pappersproduktionen i världen som år 2006 skulle produktionen behöva öka med inemot 300 000 ton per år.

Ökad virkestillgång genom nya åtgärder

En slutsats i skogsutredningen³ är att det är möjligt att öka virkesproduktionen med 25–50 procent på 10–60 års sikt. Detta kan ske genom beskogning av nedlagd jordbruksmark, bättre föryngringar, mer gödsling, dikesrensning, minskade viltskador och användning av nya träslag. Den ökade virkesproduktionen kan användas för den ökade tillverkningen av massa, papper och trävaror, nya produkter av vedfiber samt för biobränsle.

Ökad efterfrågan på biobränsle

Efterfrågan av biobränsle bedöms öka starkt, bland annat eftersom ersättning av olja och andra fossilbränslen är ett medel i klimatpolitiken. Skogsindustrierna har i en studie visat att potentialen biobränsle idag är dubbelt så stor som vad som utnyttjas och på sikt kan ökas ytterligare, särskilt om kostnadseffektiva metoder för utvinning av biobränsle utvecklas (se ovan sid 2–3).

Om priset på fossila bränslen stiger eller om klimatpolitiken utformas så att ekonomiska styrmedel ökar betalningsförmågan för biobränsle kommer konkurrensen om skogsråvaran att öka ytterligare. Priset på vedråvara för industrin kommer att stiga och riskera

³ Mervärdesskog, SOU 2006:81

att industrikapacitet för tillverkning av massa, papper och trävaror läggs ned.

Den globala konkurrensen ökar

Den globala konkurrensen väntas öka snarare än minska. Företagens arbete för att förbättra lönsamheten kommer att fortsätta. Det handlar om fortsatta kostnadsnedskärningar, stängningar av maskiner eller fabriker för att effektivisera produktionen och förbättra marknadsbalansen, att utveckla nya produkter och tjänster för att höja värdet hos kunden. Det innebär också ökad produkt- och kunddifferentiering och specialisering av produktionen för att möta kundernas behov och krav. Nationella forskningsprogram lägger grunden för produkt- och processutveckling, innovationer och utveckling av nya produkter och tjänster baserade på vedfibern (referenser: Branschforskningsprogrammet, Nationella forskningsagendan). Forsknings- och utvecklingsinsatser kan emellertid inte ensamma säkerställa en god utveckling för industrin, utan de politiska och ekonomiska villkoren i övrigt måste samverka för att möjliggöra ett resultat med mervärde.

Utveckling mot bestående höga elpriser och transportpriser

Om vi får mycket höga energipriser i Sverige kan det medföra snabbare omstrukturering av industrin i Sverige. Flera fabriker kan komma att läggas ner eftersom de rörliga produktionskostnaderna inte kommer att kunna täckas. Den svenska marknadsandelen i världen minskar därmed snabbare än förväntat, sysselsättningen i industrin sjunker mera än som blivit fallet med normal rationalisering, de relativa exportintäkterna minskar.

Eftersom skogsindustrin är mycket transportintensiv kan vi se ett liknande scenario om Sverige får snabbt ökande transportpriser som resultat av krav på stora omställningar inom transportsektorn.

Utblick mot 2050 och 2080

IPCC:s nyligen publicerade rapport visar med stor sannolikhet på stora temperaturhöjningar under 2000-talet, och flera åtgärder planeras för att begränsa och på sikt vända höjningen.

Klimatförändringarna förutspås medföra att det varmare klimatet påverkar skogstillgångarna i Sverige positivt. Virkesförrådet beräknas öka, omloppstiderna i skogen sjunka och virkesuttaget kan öka. En förändring i trädslagssammansättningen väntas ske, bland annat genom att granbeståndet förskjuts norrut och lövinslaget i södra Sverige ökar. Företagen kommer att behöva anpassa sin produktionsapparat till denna förändring i trädslagssammansättningen. Problematiska drivningsförhållanden kan medföra fördyrade avverkningskostnader och ökade behov av virkeslager. Översvämningar kan hota vissa av skogsindustrins fastigheter. En tidigare studie⁴ har visat att detta främst gäller anläggningar runt Väneren.

Om klimatfrågorna fortsatt blir i fokus bedömer vi att konkurrensen om virkesråvaran blir så stark att betydande delar av skogsindustrin i Sverige kan komma att slås ut om inte förutsättningar skapas för industrin att vidareförädla råvaran. De företag som kan förväntas klara sig bäst är de som äger eller kontrollerar skogstillgångar. För dem som är helt beroende av inköpt virke blir priskonkurrensen betydande.

Teknisk utveckling som leder till nya och effektivare bränslen och andra energiformer kan komma att leda till att efterfrågetrycket på skogsråvara på sikt skulle kunna minska. Exempel på sådana lösningar är utvecklade biokombinat vid massaindustrierna, och att biobränsle bedöms vara en övergångslösning för ersättningen av fossila bränslen.

Det stora efterfrågetrycket på virkesråvara för energiändamål skulle därför kunna vara övergående om än långvarigt, men under tiden kommer betydande utslagning av skogsindustrin i Sverige att ske. Nedläggning av skogsindustri blir samhällsekonomiskt kostsamt; studier visar att förädlingsvärde och sysselsättning är mångfalt större vid användning av virkesråvara för industriella ändamål än som biobränsle. Det är svårt att se hur skogsindustrin i Sverige skulle kunna "komma igen" efter en period av nedläggningar – kapital och kunnande har gått förlorat. Det förefaller därför som ett aktivt vägval behöver göras vid utformningen av de klimatpolitiska åtgärderna – vill man ha kvar en stor svensk skogsindustri år 2050 och 2080?

⁴ Översvänningshot, SOU 2006:94