

Statens Räddningsverk
Karlstad

Skogsbrand.

Brandbeteende och tolkning av brandriskindex



Anders Granström

Institutionen för skoglig vegetationsekologi
SLU, 901 83 Umeå

Innehållsförteckning

<i>Brand i det fria</i>		3
Grundläggande processer för den flammande elden	3	
Intensitet och spridningshastighet	5	
Intensitet-bekämpningssvårighet	8	
Glödbrand	11	
 <i>Bränslestruktur</i>		 15
Levande kontra döda bränslen	18	
Träd som bränsle	18	
Risväxter som bränsle	19	
Örter och gräs som bränsle	20	
Vattenrelationer.	21	
Skogsbeståndets och expositionens inverkan på avdunstningen	27	
 <i>Brandbeteende. Styrande faktorer</i>		 28
Eldens accelerationsfas	28	
Vindens effekt på brandbeteendet.	30	
Effekt av sluttning	32	
Inverkan av bränslets fukthalt	33	
Spridningshinder	37	
 <i>Brandriskindex</i>		 42
FWI-systemet	43	
HBV-modellen	47	
Väder, brandriskindex och brandbeteende	49	
 <i>Biotoper och förväntat brandbeteende</i>		 50
Gles äldre tallskog	51	
Flerskiktad barrskog	52	
Tät granskog	54	
Ungskog	55	
Hygge på bördig mark	57	
Mossemark (rismosse)	58	
Lågstarrmyr	59	
Högstarrmyr	60	
Gräsmark	61	

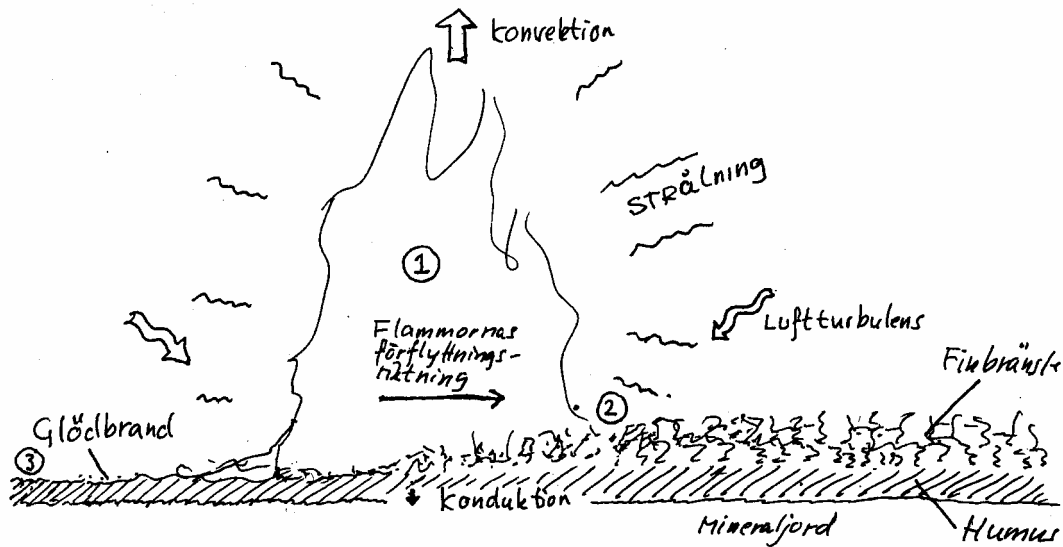
Brand i det fria

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 800-1000 °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 tjärstubbar, 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. Genomskäring av eldbandet som sprider sig åt höger i bilden, in över färska bränslen. 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 glödelbrand 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 glödelbrandens omfattning är torrheten i humuslagret. Efter lång torka kan man därför få omfattande glödelbrand och stor konsumtion av markens humuslager. Glödelbrandens 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 "färsk" 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 uppåtstigande 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.

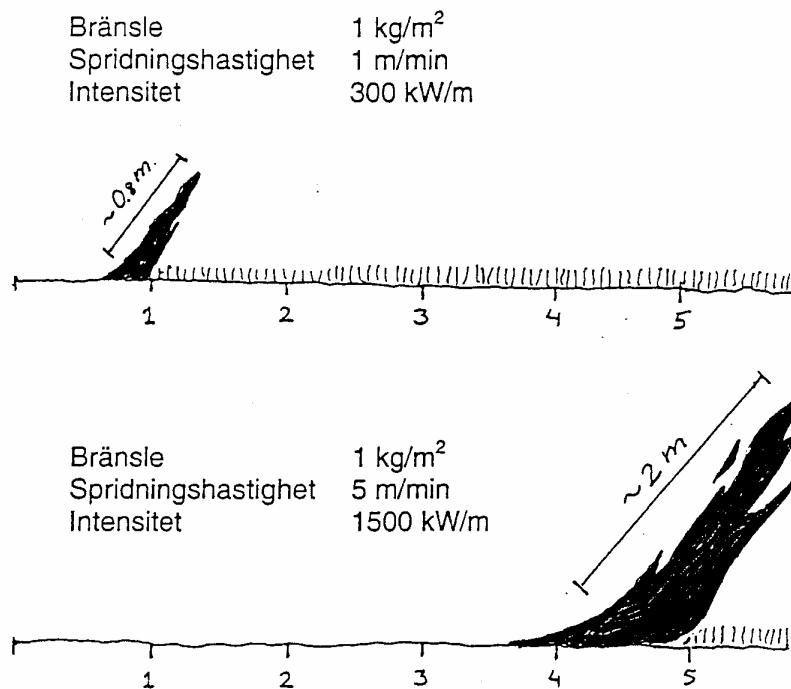
Värme sprids också genom konduktion. Detta kan eventuellt ha viss betydelse för brandbeteendet genom att öka energitransporten inne i bränslebädden, men denna är lucker och dåligt värmeledande och förvärmningen av bränslet antas därför ske främst genom strålningsöverföring. Nedåt i marken sker också 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 oproblematiske. 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.





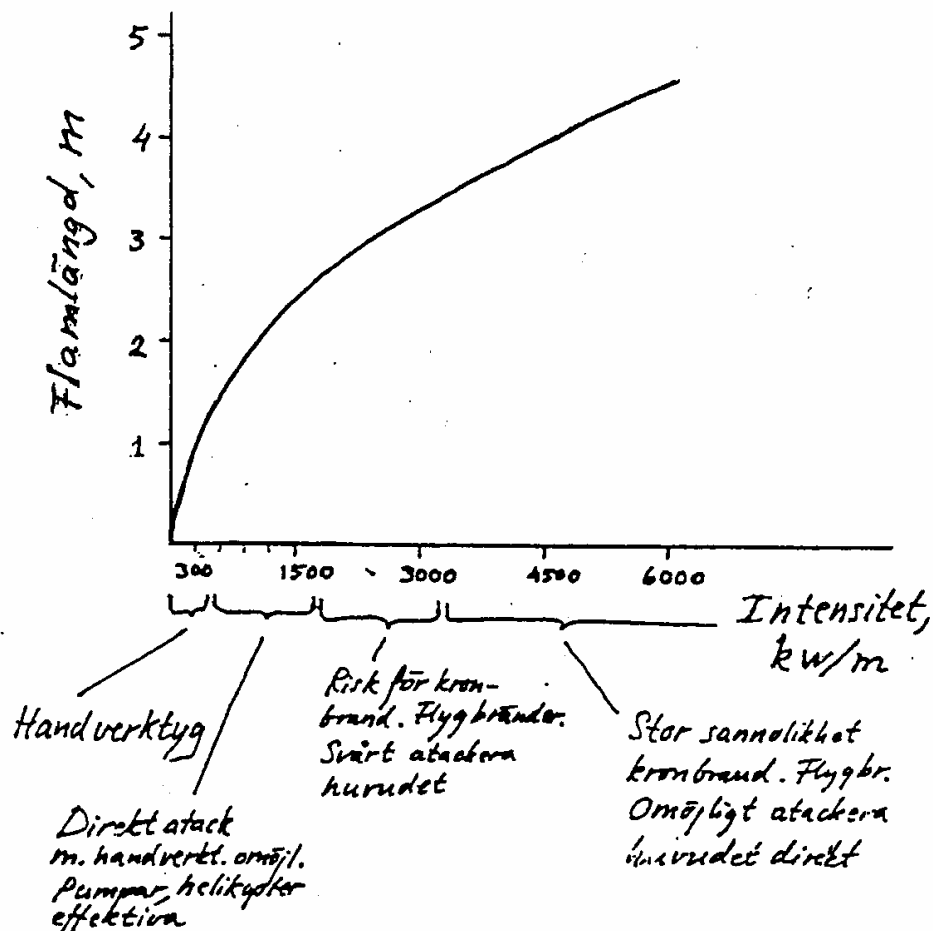
Figur 3. Sambandet mellan spridningshastighet och intensitet.

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 m² på marken, som har ett energiinnehåll av 18000 kJ/kg. På en bredd av 1 m av flambältet utvecklas då en effekt av 18000 kJ/minut = 300 kJ/sec = 300 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 (1500 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 intensitetsökning från 300 till 1500 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, men 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 mossa/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 strålningsvärmens 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 3000 kW/m, (flamlängd >3m) ökar risken kraftigt att den gör “kvantsprånget” och antänder kronskiktet.

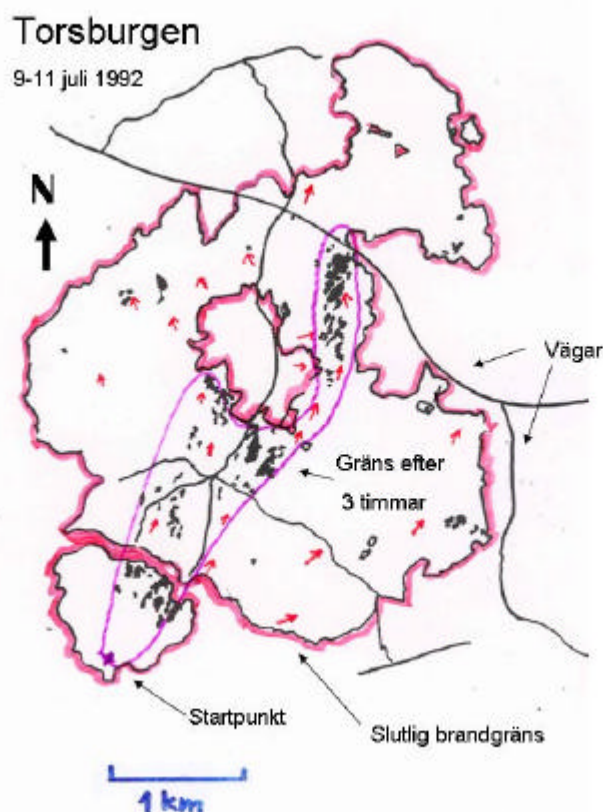
Ofta söker man karakterisera en skogsbrand utifrån vilka bränslen som tas av elden. Samtidigt vill man därigenom grovt ange eldens svårighetsgrad. Tyvärr finns ingen väletablerad svensk terminologi här. I Kanada och USA används beteckningarna surface fire och crown fire. Den viktiga skiljelinjen är om 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 pyrelld 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 1100 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 slutningen mellan den plana Torsburgen och det likaledes plana området norr därom. I slätten dominerades markbränslena av kompakta mossor, som inte bar elden. Den stora obrunna ytan i centrum av brandområdet är kulturmark, som till stora delar var färbete.

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 1100 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 volymenhet) 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

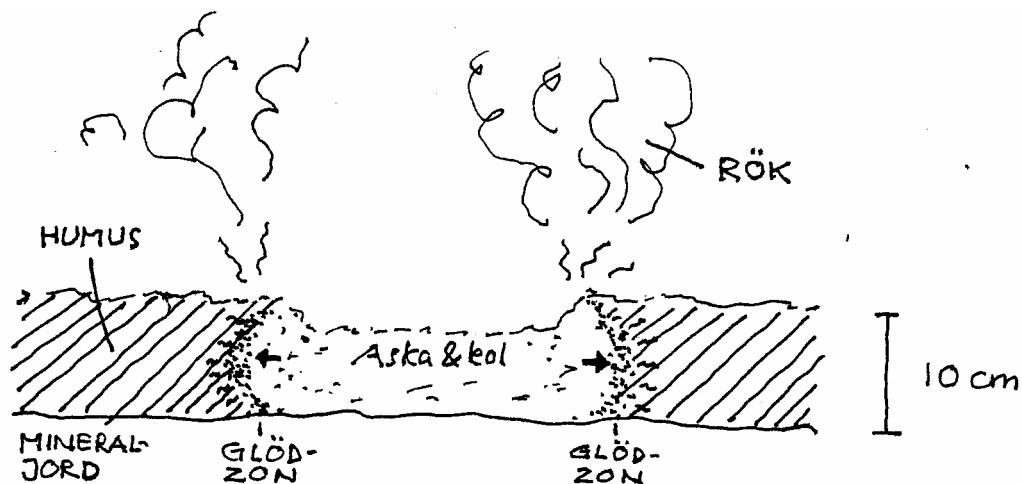
Bränsle som inte förmår avge tillräckligt med brännbara gaser för att underhålla flammor, kan under vissa förutsättningar glödbrinna. Denna process är välbekant också när det gäller brand i byggnad, då ju många inomhusbränder startar med en glödbrand i exempelvis sågspånsfyllning eller skumgummi, för 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 mossa/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 avlämnar 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 pyrolysis, 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 fortsätter 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 torra kan så mycket som ett par decimeter av yttorven torra 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 pyra 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 glödzone.

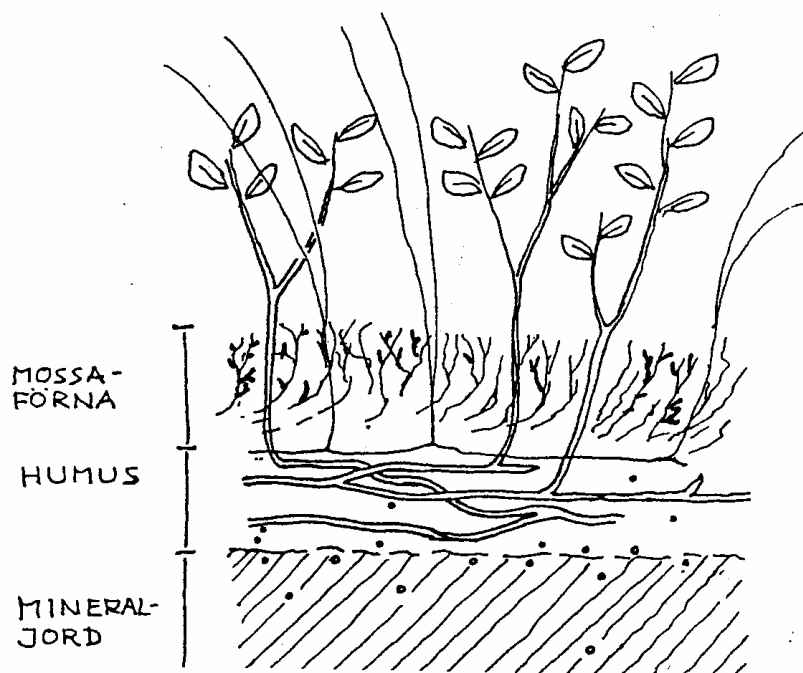


Figur 10. Typiskt brandförlopp för en torr tall, som gillar en lömsk fälla. Nederst är ytveden rötad och en glödbrand sätter sig fast där när eldfronten passerar. Efter ett par timmars kombinerad glödbrand/flammande eld är stammen reducerad till en smal kärnvedspelare. Ofta faller den ljudlöst.

Bränslestruktur

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 $0.2-0.5 \text{ kg/m}^2$ (torrvikt), varav det allra mesta faller på risväxterna. På själva markytan finns vidare ett så gott som heltäckande skikt av mossa, främst väggmossa, 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 mossa 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



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

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 mossa/förna. Elden behöver ett nära nog heltäckande skikt av lättantändliga bränslepartiklar på markytan för att kunna spridas och väggmossa med inblandad förna fyller väl kraven. De andra komponenterna kan bidra till elden (bärris), eller hämma den (örter), men utan ett skikt av finbränsle på marken kan ingen brandspridning ske. Mossan 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 mossa/förna-skiktets undre del, vilket gör att det behåller en förhållandevis konstant tjocklek och massa. Tillskottet balanseras av nedbrytningen.

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 mosstacket 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 yttersta 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 trädkronorna 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 volymenhet är då lägre, och över tiden faller allt mer av de döda grenarna i trädskiktets 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, välgallrade 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.

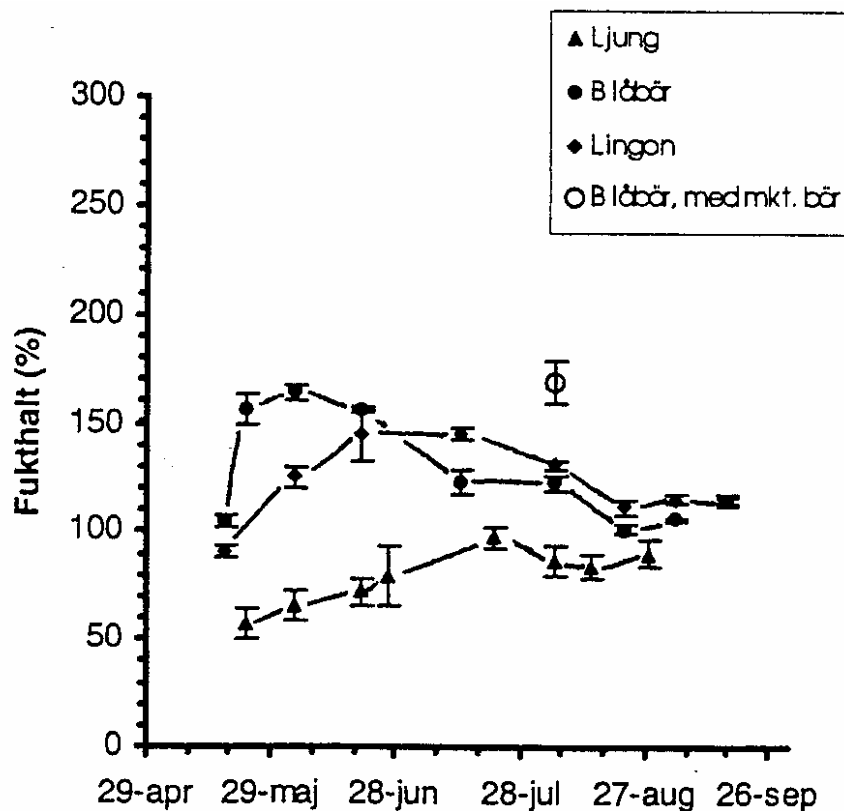
Lövträd har alltså en mycket högre fukthalt i sina blad än barrträden och minskar därför risken för kronbrand. Dessutom kan lövförna kväva mossskiktet, vilket ofta leder till en för elden ofördelaktig bränslebädd på marken under täta lövträdsbestånd. Dessutom brukar gräs och örtfloran vara rikare, genom 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, skvattram, lingon och ljung. Deras blad har generellt låg fukthalt. Blåbär och odon är sämre, då bladen som fälls 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.



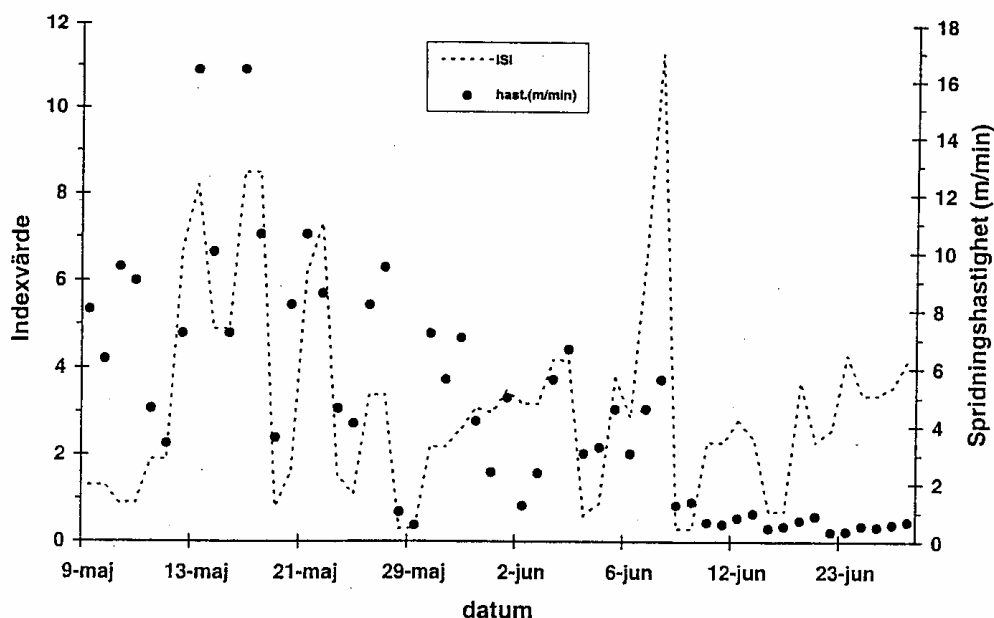
Figur 13. Fukthaltens förändring över säsongen hos blåbär, lingon och ljung. Data från skogsmark i Umeå.

Örter och gräs som bränsle

Levande örter och gräs har så hög fukthalt att de verkar direkt hämmande på brandspridningen. Är ört/gräsinslaget litet märks det knappast, men när det är täta bestånd av grönt gräs eller örter kan elden ofta själv dö, 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 mossa 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/m^2 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/förnslagret 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 gränsskiktet och ersätts med torrare luft, vilket leder till snabbare avdunstning.

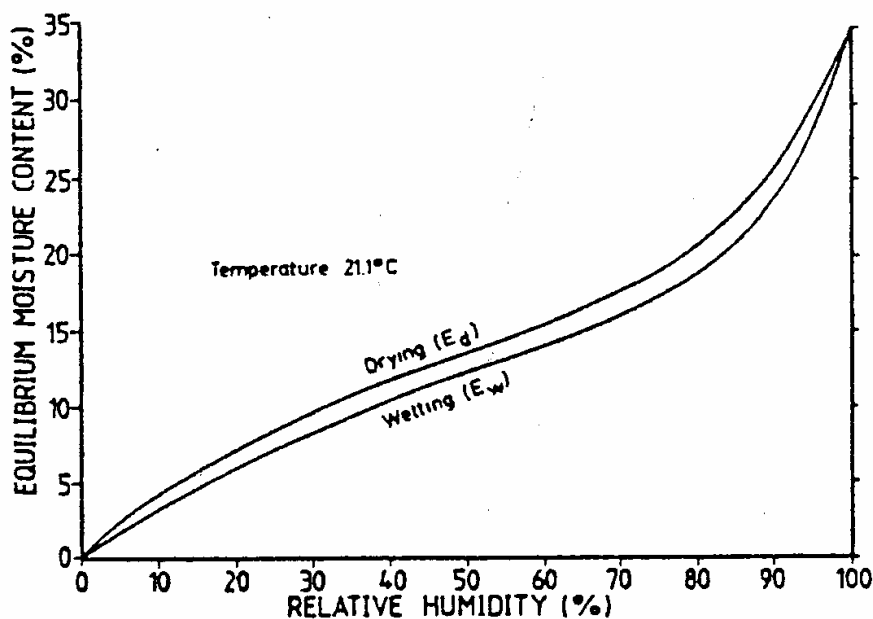
Ett skogsbestånd förändrar avdunstningen både genom att sänka temperaturen i markytan och i den marknära luften samt genom att bromsa vinden. Det är därför flerfaldiga skillnader i avdunstningshastighet mellan ett tätt skogsbestånd och öppen mark, även om bränslena på marken är desamma.

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 FFMC, 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 FFMC, 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 FFMC 0,7 dagar att förlora 2/3 av materialets initiala fukthalt, för DMC 12 dagar och för DC 52 dagar.



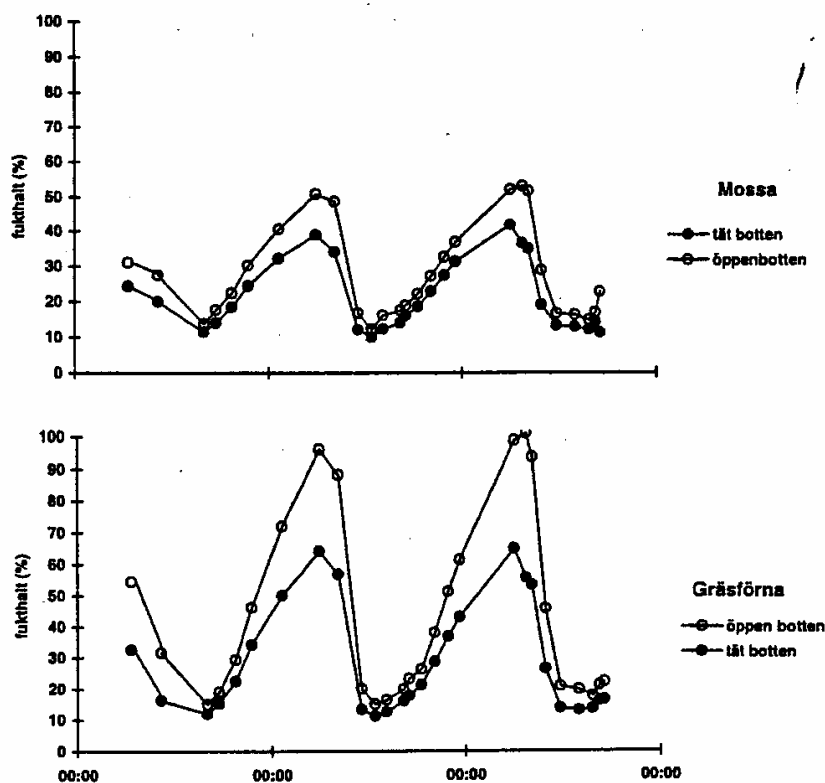
Figur 15. Sambandet mellan relativ luftfuktighet och fukthalt i bränslet (dött organiskt material) vid jämvikt. Det finns en liten skillnad i jämviktsfukthalt vid samma RH, beroende på om materialet har gått från ett fuktigare tillstånd (övre kurvan) eller från ett torrare (nedre kurvan). Anledningen 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. Sjunger 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).

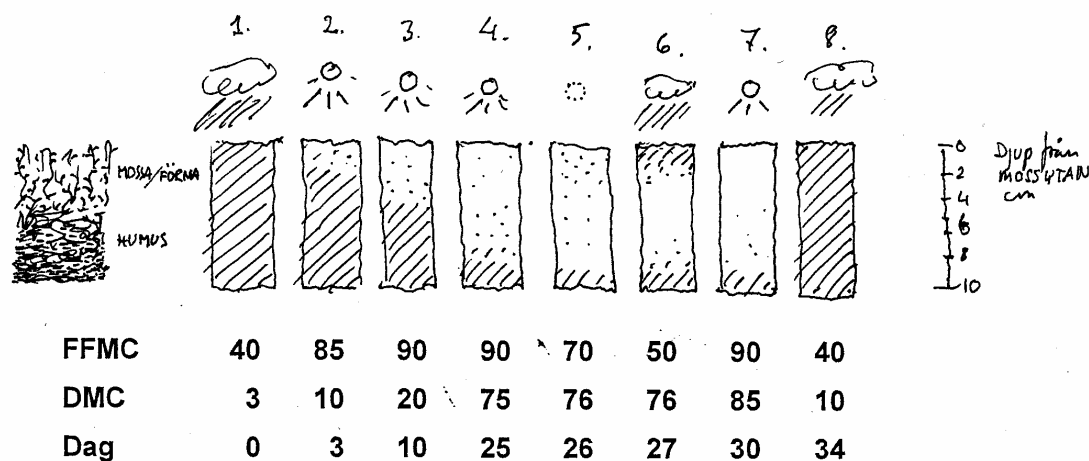


Figur 16. Förändringar i finbränslets fukthalt över två dygn för bränslebäddar av mossa respektive gräsförna. I detta fall skedde en viss daggbildning, vilket gör att fukthalten kunde stiga över 35% (=jämviktsfukthalten vid 100% RH). Upptaget av vatten var per m^2 var likartat för båda bränslebäddarna 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 somrardagar för en typisk bränslebädd där man har omkring 5 cm av mossor och förna över ett 5 cm tjockt humuslager. Rastreringen illustrerar fukthalten på olika djup. Ju tätare raster, desto fuktigare. Under respektive bild visas korresponderande värden för de två fukthaltsindexen FFMC 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 glödbranden äter 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.



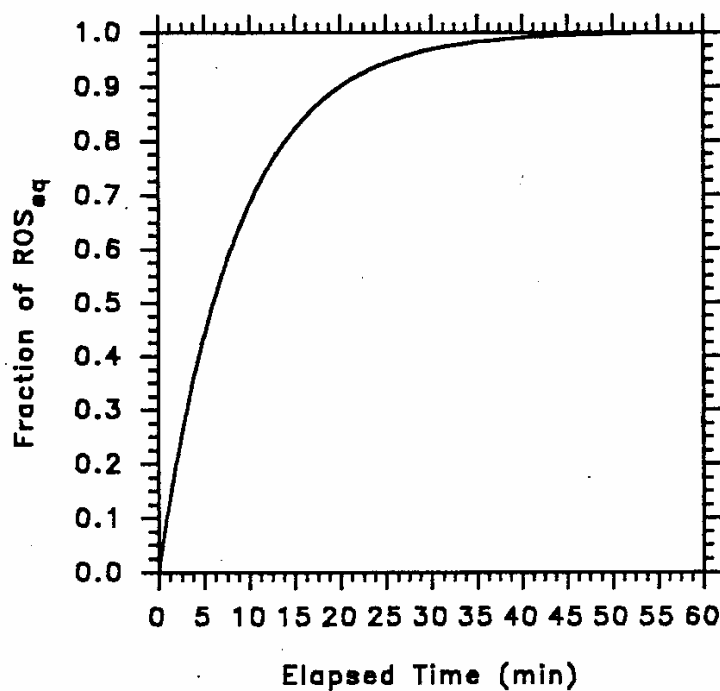
Figur 19. Rökutvecklingen kan på långt håll ge en indikation på eldens intensitet. Hög intensitet ger en stark konvektion och förhållandevis mörk rök. Bilden är tagen på en halvmils håll.

Brandbeteende. Styrande faktorer

Eldens accelerationsfas

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 kanadensiskt brandprognossystemet.

Anledningen till att det sker en acceleration under så pass lång tid vid punktantändning, men inte vid linjetändning är att den punkttända 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 uppåtstigande konvektionen.

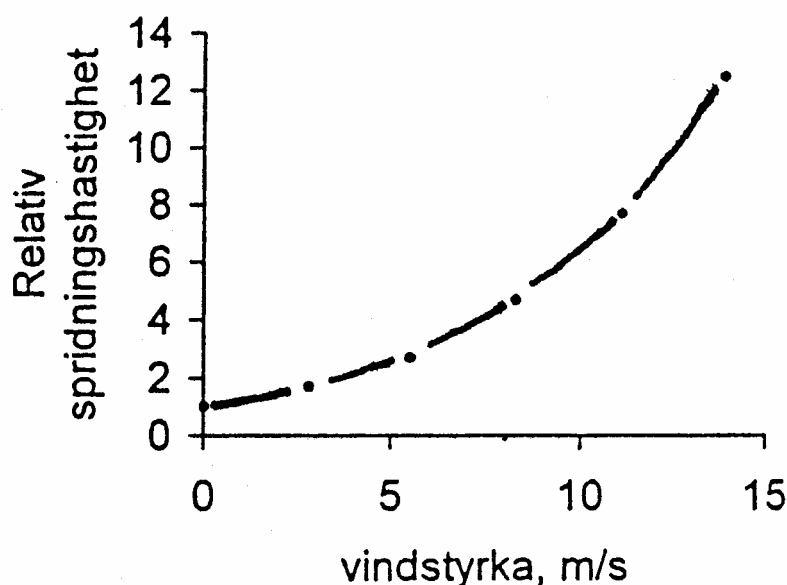
Vindens effekt på brandbeteendet.

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 prognosystem 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, förutsett att alla andra faktorer är konstanta (Figur 18). I det australiska prognosystemet 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.

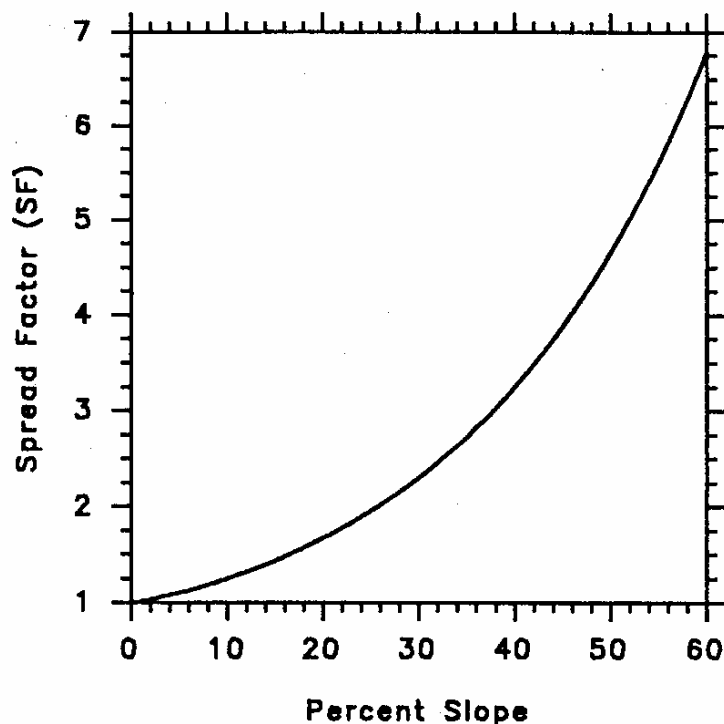
SMHI mäter vind vid tio meters höjd över öppen mark och det är den vindstyrkan som anges i väderprognoser och som används vid beräkningar av brandriskindex i FWI-systemet. Den vind som inverkar på en eld är emellertid den som direkt verkar på flammorna, det vill säga vindstyrkan betydligt närmare marken. 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 slutna 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

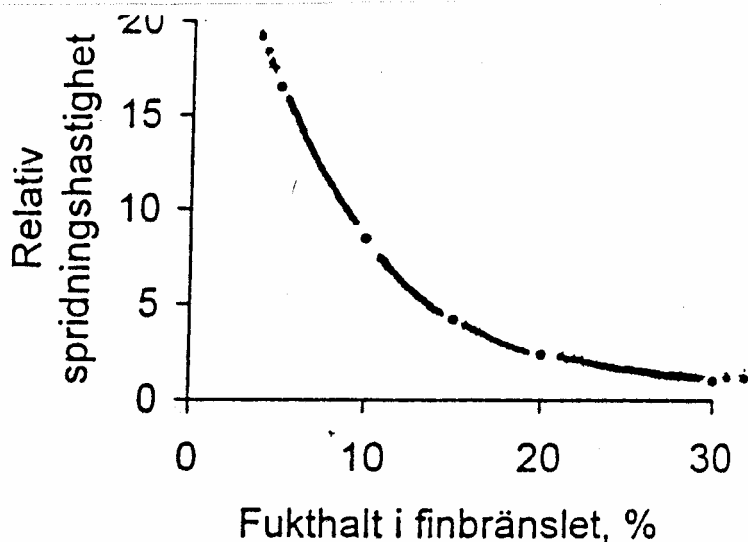
Även topografin inverkar på brandens spridningshastighet, helt i analogi med vindeffekten. Uppför en sluttning får flammorna en bättre angreppsvinkel och elden går snabbare och blir intensivare. Nedför en sluttning är effekten den motsatta. I Figur 15 visas det samband mellan lutning och spridningshastighet 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 mossa 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 mosstället 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 eldens 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 mossa och barrförna. Samma sak för gräsförna. 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.

Fukthaltsgreänsen 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 självdö 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 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 tänds, 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 15 x 15 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 år. 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 flammande 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 medvindelsen 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 sommardagar 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 flammande 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 FFMC 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 kappillärr 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 lågstarmyr). 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 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 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.

Brandriskindex

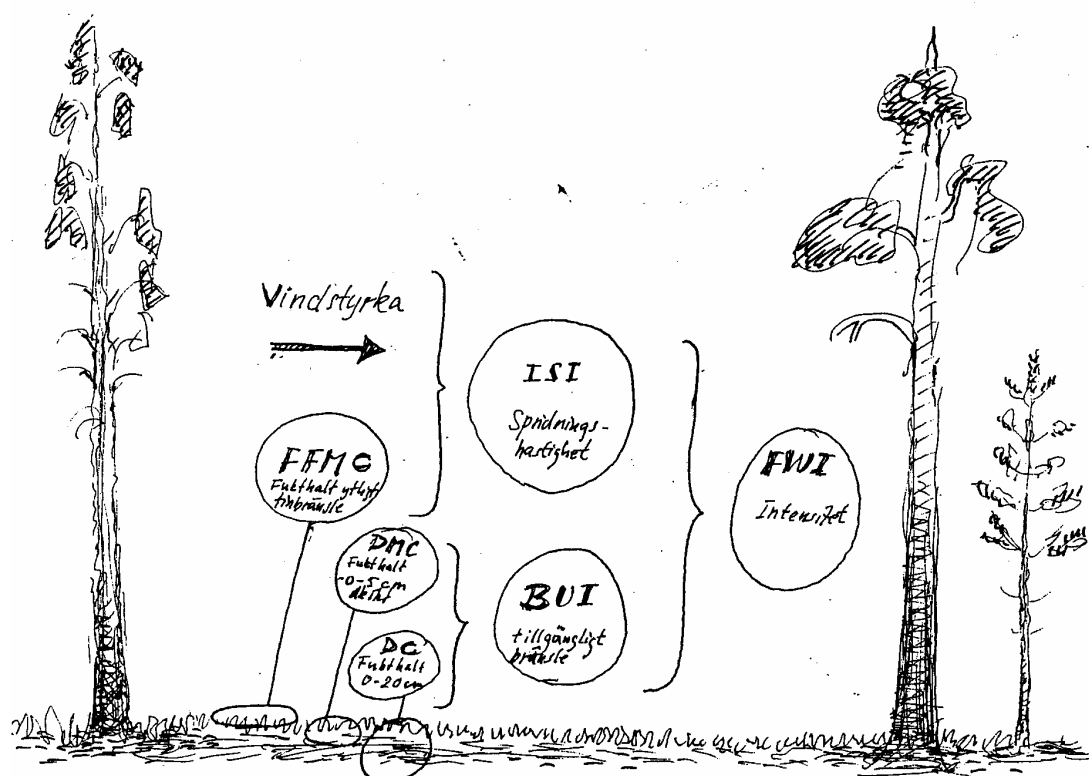
Brandriskindex syftar till att ge en indikation på de klimatiskt betingade förutsättningarna för brand. Om man bortser från lokala faktorer som bränslemängder etc är det ju två faktorer som avgör spridningshastigheten och intensiteten i en brand: finbränslets fukthalt och vindstyrkan. Till en komplett riskbedömning hör kanske ytterligare en faktor, nämligen risken för antändning, vilken består av dels naturliga faktorer (bränslets fukthalt, åskrisk) men också sociala, beteendemässiga faktorer (människors antal, aktivitet och beteende ute i naturen). Dessa senare är mycket svåra att modellera, och ignoreras i de flesta brandrisksystem (parentetiskt kan man tillägga att brandriskprognoser har som ett huvudsyfte just att styra människors aktivitet och beteende i naturen!).

För närvarande används två skilda system parallellt i landet. Ett är ett kanadensiskt system (här benämnt FWI-systemet) och ett är utvecklat vid SMHI (HBV-modellen). Båda är kumulativa och utnyttjar föregående dags indexvärde samt prognostiserade väderdata för att beräkna den aktuella brandriskprognosen. Den avgörande skillnaden mellan systemen är att HBV-modellen inte beaktar vinden som en variabel för beräkning av risknivån och alltså bara modellerar fukthalt. Till FWI-systemet hör vidare en modell för att beräkna förväntat brandbeteende på en enskild lokal (Canadian forest fire prediction system), det vill säga med beaktande av bränsleförhållanden (typ av skog etc), topografi och tid på dygnet.

FWI-systemet

Index för bränslefukthalter och brandbeteende

Detta system har utarbetats av det kanadensiska skogsbrandförsvaret och används sedan år 2000 i Sverige (parallellt med HBV-indexet som beskrivs under särskild rubrik). Systemet beräknar tre grundindex (FFMC, DMC och DC) som skall avspegla fukthalten i tre olika bränsleskikt, ett sekundärt fukthaltsindex som skall avspegla andelen bränsle som är tillgängligt för branden (BUI), ett index som skall avspegla eldens framryckningshastighet (ISI), och slutligen ett index som skall avspegla brandens intensitet (FWI). Detta sista index används även för den slutgiltiga brandriskbedömningen som går ut till allmänheten (klassindeldad i en sexgradig skala). De olika fuktindexen är baserade på uppmätningar i fält och är kalibrerade för att korrelera med dygnets "värsta" period, vilket anges till omkring klockan 4 på eftermiddagen. Väderobservationerna som stoppas in i beräkningen av index skall dock tas klockan 12 (soltid) varje dag (i Sverige används mätdata från kl 13 (soltid) eftersom detta är standardtid för SMHIs väderavläsningar). De olika vädervariabler som behövs för att göra indexberäkningarna framgår av Tabell 1. Där anges också de nominella bränsleklasser de olika indexen representerar samt hur snabbt de "torkar ut". I Figur 29 illustreras deras representation och inbördes relation.



Figur 29. En grafisk illustration av de olika index som ingår i FWI-systemet.

FFMC representerar fukthalten i det översta skiktet av finbränsle på marken. Skalan går från 1-99 där höga värden motsvarar låga fukthalter. Gränsen för brännbarhet (22%) motsvaras av FFMC 80. För fukthalter <20% är funktionen ganska rätlinjig (se Figur 30) varvid gäller att $101 - \text{FFMC} = \text{fukthalt i procent}$. FFMC 85 motsvarar alltså ungefär 16% fukthalt i finbränslet. **DMC** representerar fukthalten i ett tjockare skikt av bränslet på marken. Skalan går från noll och saknar övre gräns. **DC** representerar fukthalten i riktigt tjocka organiska markskikt. Skalan går från noll och saknar övre begränsning. **BUI** genereras av DMC och DC, men med DMC som mest vägande. Det representerar den andel av bränslet som är så torrt att det är tillgängligt för förbränning. Skalan går från noll och saknar övre begränsning. **ISI** bildas av FFMC och aktuell vindstyrka. Det representerar framryckningshastigheten hos en eld som sprider sig med vinden. Skalan går från noll och är konstruerad för att ungefärligen motsvara spridningshastigheten i meter per minut. **FWI** representerar intensiteten i en eld som sprider sig med vinden. Det bildas av ISI och BUI. Den underliggande logiken är att brandintensiteten beror på spridningshastigheten (ISI) och mängden tillgängligt bränsle (BUI). Skalan börjar vid noll och har ingen fix övre gräns, även om värden över 33 är mycket ovanliga. Det finns ingen direkt överföringsfunktion mellan FWI och brandintensitet i KW/m, eftersom bränslemängden kan variera så dramatiskt mellan olika biotoper. Skalan ger alltså en relativ indikation av brandintensitet. FWI är i ett kortare tidsperspektiv (några dagar) väl korrelerad med ISI.

Tabell 1. Några karakteristika för de tre primära bränslefuktindex som ingår i FWI-systemet. Se vidare Figur 18.

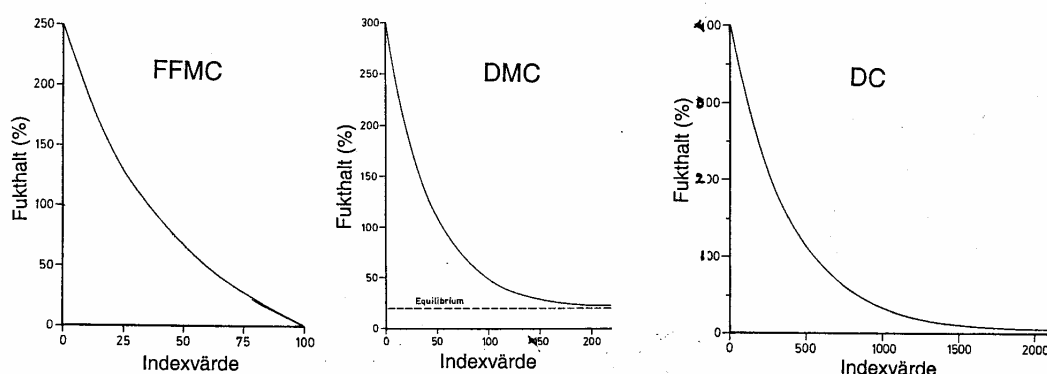
	Fine fuel moisture code FFMC	Duff moisture code DMC	Drought code DC
“Torkhastighet” ¹	0.7 dagar	12 dagar	52 dagar
Representerar bränsleskikt	Övre mossa/förna (1.2 cm tjocklek)	Mossa/förna plus humus (totalt 7 cm)	Torv/humus (18 cm)
Maximalt vattenlager	0.6 mm	15 mm	100 mm
Ingående vädervariabler	Temperatur Regn RH	Temperatur Regn RH	Temperatur Regn

¹ Med “torkhastighet” menas här tiden som åtgår för att förlora 63% av den fukt som ligger över jämviktsfukthalt (gäller vid middagstemperatur av 21 °C och 45%RH, utan ytterligare nederbördstillskott). Alla tre indexen förutsätter alltså exponentiellt avtagande vattenavgivning, men med olika maximala vattenföråd och hastighet i uttorkningsprocessen. Vattenavgivningen drivs av skilda algoritmer som simulerar evapotranspirationen.

Teoretiskt kan index för FFMC, DMC och DC översättas till verkliga fukthalter i de respektive bränslen de representerar (Figur 30). Dessa samband måste dock tas med stor försiktighet, inte minst på grund av skillnader mellan olika biotoper (vid exempelvis DMC 20 är det vanligtvis mycket torrare i mossan/förnan på ett öppet

hygge än i mossan/förnan i skogen intill). Lagg märke till att både DMC och DC går mot en jämviktsfukthalt vid höga indexvärden. Analyser i svensk skogsmark (Granström & Schimmel 1999) indikerar att detta sker för ett normaltjockt humuslager redan vid DMC-värden mellan 60 och 100. Både DMC och DC saknar alltså övre gräns (Figur 30), men det är mycket ovanligt med DMC-värden över 100 och DC-värden över 600. DMC-nivåer kring 100 kräver ungefär 30 nederbördsfria sommark dagar i svit (förutsatt att man startat från noll). För DC har man då nått en nivå av omkring 200. Det är vidare för DC vanligen en tydlig säsongstrend, mot allt högre värden sent på säsongen, på grund av att det krävs så höga nederbörds mängder för att "nollställa det. Oftast nås de högsta värdena under sen augusti.

FFMC simulerar fukthalten i det översta skiktet av finbränsle. Det har alltså ett mycket litet vattenförråd och snabb upptorkning. Till skillnad mot DMC och DC är skalan ändlig (teoretiskt maxvärde 99) och når ett konstant värde efter ungefär tre dagar med samma väder (utan ytterligare nederbörd). Därefter styrs indexvärdet helt av relativa luftfuktigheten (enligt sambandet i Figur 15). Gränsen för brännbarhet (22 % fukthalt i finbränslet) motsvaras ungefär av FFMC 80, medan FFMC-värden över 90 indikerar explosiva situationer. De högsta FFMC-värden som brukar noteras i Sverige ligger kring 92-93 och förutsätter en relativ luftfuktighet mellan 20 och 30%.



Figur 30. Sambandet mellan indexvärde och fukthalt för de tre fuktindexen i FWI-systemet.

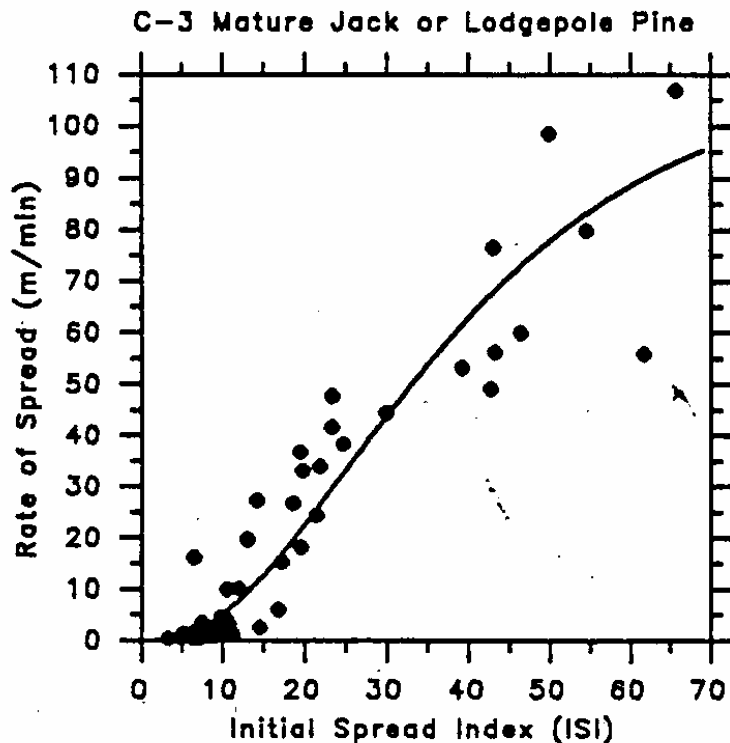
Prediktion av brandbeteende

Tre av indexen i FWI-systemet är alltså konstruerade för att simulera brandbeteende: ISI för spridningshastighet, BUI för bränslekonsumtion, och FWI för brandintensitet. Indexen kan i huvudsak betraktas som relativa skalor, vilka dock kan översättas till "verkliga" mått om man tillför information om lokala och tillfälliga villkor såsom bränsleförhållanden, topografi och aktuellt väder. I Kanada finns ett sådant översättningssystem som heter Canadian Fire Prediction System. Man har där 16 olika biotoper vilka står för information om bränsleförhållanden. Övriga ingångsvariabler är FFMC och BUI samt tid på dygnet, marklutning, vindstyrka (och riktning relativt marklutningen). Systemet genererar spridningshastighet och brandintensitet i olika delar av brandfronten (medvind, motvind och flank), bränslekonsumtion och avbränd yta i relation till tid från tändning. Vidare skattas typ av brand (surface eller crown fire) samt vilken andel av kronbränslet som involveras i brandfronten. Bedömningen av huruvida branden skall ta sig upp i kronskiktet är naturligtvis avgörande för alla

övriga skattningar, eftersom detta medför en dramatisk ökning av spridningshastighet och intensitet.

Systemet har inte testats för svenska förhållanden, men vissa av bränsletyperna liknar svenska motsvarigheter: S-1 är hyggesmark med måttliga mängder avverkningsavfall; C-3 är äldre tallskog (*Pinus contorta* eller *P. banksiana*) med mossa/förna på marken och viss underväxt av gran; O-1 är gräsmark med kring 3 ton biomassa/ha och kan antagligen väl motsvara våra gräsmarker på ohävdad jordbruksmark.

I princip görs, alltefter de lokala förhållanden som råder vid en viss brand, en omskalning av de ingångsvärden som genereras av FWI-systemet. Vissa av de funktioner som utnyttjas har redan presenterats här i grafisk form: Eldens acceleration (Figur 20), effekten av vind (Figur 22), effekten av sluttning (Figur 23). Bränsletypen har likaså en modifierande inverkan på spridningshastighet. Ett exempel ges i Figur 31, där spridningshastighet i bränsletyp C-3 (äldre tallskog) ges som en funktion av ISI (förutsatt att det är plan mark). Lägga märke till kurvans sigmoida form. Vid låga ISI-värden ligger verklig spridning något lägre än ISI, för att därefter stiga brant. Anledningen är att elden håller sig på marken vid låga ISI och då är skyddad av skogsbeståndet från kraftig vindpåverkan. Vid högre ISI går elden upp i kronorna, med kraftigt ökad spridningshastighet som följd. Punkterna i figur 31 utgör det empiriska underlaget för funktionen och härrör från såväl experimentbränningar som vilda bränder (flertalet av de högsta spridningsvärdena).



Figur 31. Sambandet mellan ISI och förväntad spridningshastighet för bränsletypen C-3 (äldre tallskog) i Canadian Fire Behavior Prediction System. Punkterna utgör de

observationsdata som kurvan bygger på. Motsvarande kurvor finns för samtliga 16 bränsletyper i systemet.

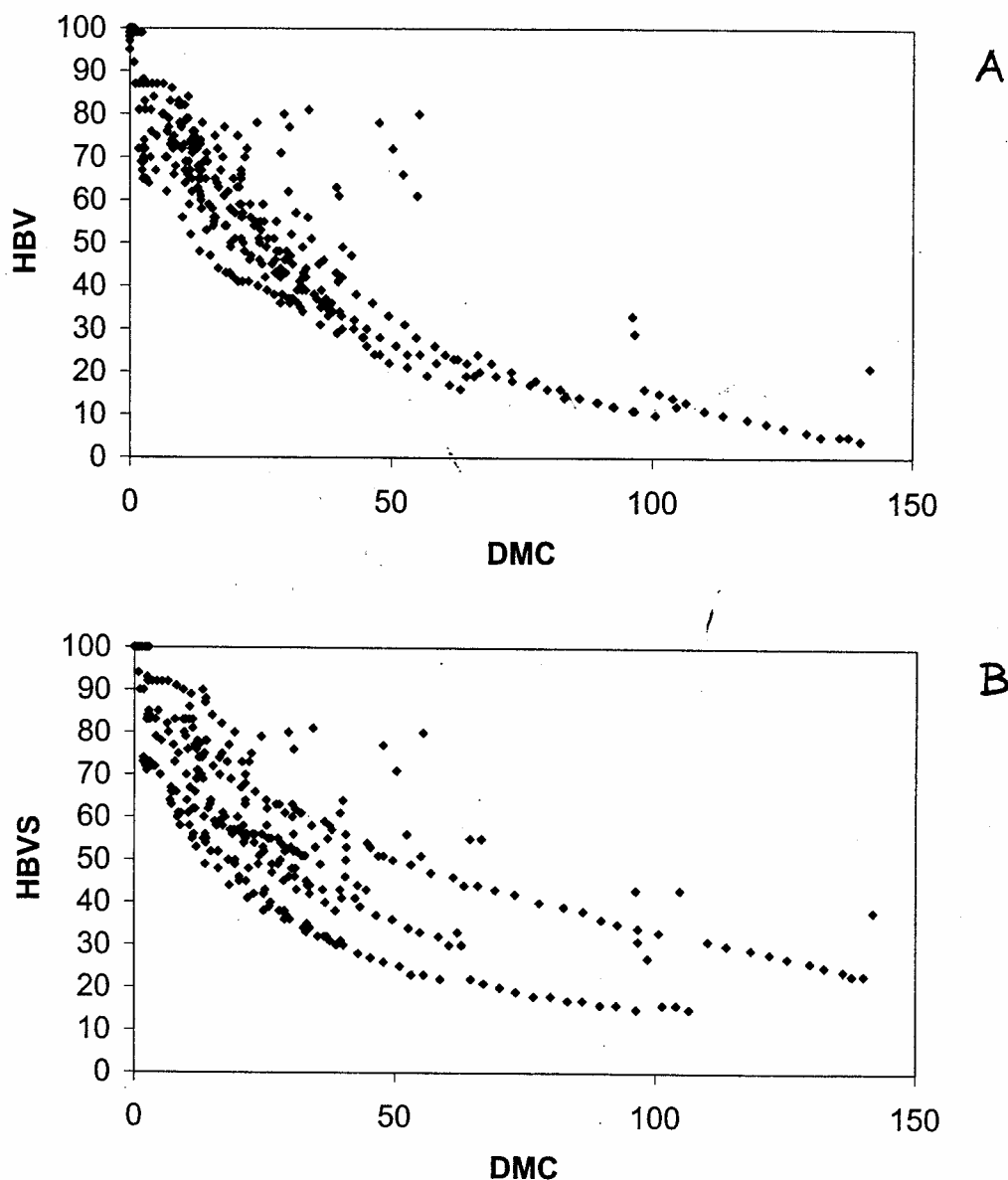
HBV-modellen

HBV är ursprungligen en hydrologisk modell, utarbetad vid SMHI för att modellera markvattenförråd och avrinning. För att kunna appliceras i brandriskprognoser har den modifierats så att den beskriver fukthalten i ett betydligt ytligare markskikt än i den ursprungliga hydrologiska modellen. Det finns för närvarande två varianter av modellen. Den ena (HBV) beräknar fukthalten i ett övre marklager, som har en lagringskapacitet av 25 mm (egentligen 20-25 mm beroende på region). Den andra varianten (HBVS) beräknar först markfukthalten i två över varandra liggande markskikt, varav det övre har ett maximalt vattenlager av 25 mm och det undre 200 mm. Därefter sker en sammanvägning, där det övre lagrets värden har störst betydelse. En beskrivning av metodiken finns i Gardelin (2000). Uttorkning i HBV-modellen styrs (liksom FFM, DMC och DC) av potentiell evapotranspiration¹, som skattas via lufttemperaturen. Härvid antas 1/3 av evapotranspirationen tas ur det övre skiktet och resten från djupare lager. Avdunstningen antas också sjunka vid sjunkande markvattenhalt, enligt ett rätlinjigt samband (i motsats till exempelvis DMC, som räknar med en logaritmskt avtagande funktion).

För att minska risken av höga indexvärden under "lågriskdagar" görs en schablonhöjning av HBVS-värdet med tio enheter under de dagar då det förekommer nederbörd, oavsett mängden. Denna korrektion ligger bara med för dagen i fråga och ingår inte i beräkningsunderlaget för kommande dagars index. För närvarande (från och med säsongen 2002) noteras bara HBVS i brandriskprognosen.

Grovt kan man säga att båda HBV-indexen närmast motsvarar DMC-indexet i FWI-systemet, det vill säga en simulerad fukthalt i ett övre markskikt som har en maximal lagring av ett par cm vatten (HBV 25 mm, DMC 15 mm). En mindre skillnad är att uttorkningen för DMC styrs av såväl RH som temperatur, men för HBV bara av temperatur. Man kan alltså förvänta sig ett relativt nära samband mellan DMC och HBV, vilket också är fallet (Figur 21). Notera likheten med kurvan i Figur 19b. DMC är ju konstruerat för att avspegla en exponentiellt avtagande fukthalt vid stigande indexvärde, medan HBV är konstruerat för att visa fukthalt (i % av maximal vattenhalt). Det är precis vad sambandet i figur 21 visar. Vad gäller den skiktade HBV-modellen motsvarar det undre lagret, med 200 mm maximal vattenlagring, närmast av DC i FWI-systemet, som har 100 mm lager. För det integrerade indexet HBVS är det en mycket sämre korrelation med DMC än för det rena HBV-indexet (se exempel i Figur 32). Det beror på att man i HBVS har låtit vattenhalten i riktigt djupa markskikt få ett inflytande, vilket försämrar beskrivningen av fukthalten det översta organiska markskiktet.

¹ Med evapotranspiration menas de totala vattenavgångarna via avdunstning från marken och via växternas transpiration (dvs vattenavgivning genom bladen).



Figur 32A. Sambandet mellan DMC och HBV. Data från april till augusti 2002 från två lokaler (Lycksele och Oskarshamn). Trots att datat härrör från två skilda platser och inrymmer flera olika episoder av uppfuktning och uttorkning är sambandet förhållandevis tätt. De "utelligare som kan ses ovan den koncentrerade kurvan av punkter kommer sig av att DMC beräknas för klockan 14 (sommartid), medan HBV beräknas för kl 20. Nederbörd som faller mellan kl 14 och 20 bokförs i HBV-indexet för denna dag, men i DMC först nästa dag, vilket ger en tillfällig diskrepans mellan indexen.

B). Sambandet mellan DMC och HBVS (det index som tar viss hänsyn också till fukthalten i djupa markskikt). Samma dataunderlag som ovan.

Genom sin konstruktion är HBV-modellen ett förhållandevis konservativt index av brandrisk. Det gäller i än högre grad det sammanvägda indexet HBVS. Det "torkar" förhållandevis långsamt och det krävs ganska mycket nederbörd för att "fukta upp"

det (även om det bifogats en nödbroms i och med schablonsänkningen som görs för regndagar). Som illustreras av det nära sambandet med DMC bör HBV ge en ganska god korrelation med fukthalten i markens övre organsika skikt, det vill säga mossa/förna och humus sammantaget, men sämre korrelation med det översta skiktet av finbränsle. HBV/HBVS-indexens svaghet som brandriskindex är att de inte förmår hantera fukthalten i det översta skiktet av finbränsle, när det fria vattnet väl har avdunstat. I verkligheten styrs då dess fukthalt primärt av den relativa luftfuktigheten, som inte alls beaktas i modellen. Om man till exempel efter en veckas torka får en dag med RH 30% (och därmed verkligt riskabla förhållanden) kommer ändå HBV-värdet att vara detsamma som om RH vore 85% (då brandspridning knappast är möjlig). Detta under förutsättning att temperaturen i båda exemplen är densamma.

HBV-modellen beaktar inte heller vindstyrkan. Om man ser till de två faktorer som betyder mest för brandens beteende, det vill säga finbränslets fukthalt och vindstyrkan, så fångar HBV-modellen upp bara den första, och förmodligen med ganska låg precision. Det betyder att man inte kan förvänta sig någon god beskrivning av verklig brandrisk, om man därmed menar potentiell spridningshastighet för elden eller brandintensitet. Däremot ger HBV-modellen en god bild av torkan i humuslagret, vilket är **en** viktig variabel för bedömning av risk (se nedan).

Väder, brandriskindex och brandbeteende

För att kunna värdera och utnyttja informationen som finns i olika brandriskindex krävs kunskap om vad de representerar och vilka begränsningar som ligger i systemen. En uppenbar begränsning är att index beräknas för en viss punkt, som får representera ett större geografiskt område. Traditionellt har index beräknats för var och en av de väderstationer som funnits tillgängliga. Idag gör SMHI en mer högupplöst beräkning, baserad på dels väderuppgifter från stationer, dels nederbördsskattningar från radarbildstolkningar. Indexberäkningarna görs för ett nätverk av punkter över landet, med 20 km inbördes avstånd. Den största felkällan är med stor säkerhet nederbörden, som ju kan variera på mycket mindre skala än så. Särskilt under sommaren, när det ofta är lokala skurar. Temperatur och luftfuktighet uppvisar mindre lokal variation.

Det är viktigt att ha klart för sig vad olika brandriskindex verkligen representerar. Ett avancerat indexvärde behöver inte alltid innebära hög "risk". Höga värden på index som DMC (och låga värden på HBV) betyder att det är lite fukt i ett ganska tjockt skikt av marken (mossa/förna plus underliggande humus). Däremot ger de föga ledning till verklig fukthalt i det **översta** skiktet av mossa/förna, det skikt som verkligen föder elden, och som tillsammans med vindsyrkan avgör spridningshastighet och intensitet. Här behöver man alltså ytterligare information (som i FWI-systemet förmedlas av FFMC, som går vidare in i ISI och FWI).

Samtidigt finns det andra aspekter av brandrisk som behöver täckas av ett långsamt uttorkande index (som DMC, HBV eller till och med DC). Djupgående torka innebär att eftersläckning blir svår och tidsödande. Det kan också vara befogat använda ett sådant index som grund för eldningsförbud, därför att lägereldar etc är mycket svårsläckta om humusen är starkt uttorkad. Dessutom innebär avancerad torka att

långsamtorkande skogsbiotoper börjar bli skogsbrandtorra. Nedan görs en summering av olika riskkomponenter och hur de grovt sett avspeglas i skilda brandriskindex.

Spridningshastighet och intensitet. För de flesta peroner är snabb brandspridning och hög intensitet liktydigt med hög "brandrisk". Som tidigare beskrivits betyder fukthalten i mossa/förnalagret samt vinden mest för spridningshastighet och intensitet. Om det är riktigt torrt i mossan/förnan kan man mycket väl ha en explosiv brandspridning trots att humusen är blöt under. När det fria vattnet avdunstat står fukthalten i finbränslet i jämvikt med luftfuktigheten (indikeras via FFMC), men det tar olika lång tid för olika skogsbiotoper innan det fria vattnet försvunnit ur finbränslet (kan indikeras av DMC eller HBV). För normal skogsmark har DMC vanligen då nått ett värde av ca 20. Om FFMC samtidigt ligger över ca 80-85 kan en brand med stor säkerhet sprida sig. Skulle FFMC ligga över 90 och det dessutom är en stadig vind kan man räkna med att elden sprider sig häftigt och med hög intensitet. Mycket höga värden på FFMC och måttliga värden på DMC eller HBV betyder alltså att det är torrt i mossan/förnan men fuktigt längre ner. En inte ovanlig kombination under vår/försommar som ofta underskattas ur risksynpunkt.

Antändningsrisk. Sannolikheten för antändning via en gnista (från blix, tåg, markberedare etc) eller en större glöd (cigarett etc), ökar med sjunkande fukthalt. Om det mottagande bränslet är förna (kastade fimpar) ger FFMC bäst indikation på antändningsrisken (hög risk vid FFMC>90) och om det är humus (blixantändning, lägereldar) ges det istället av DMC eller HBV.

Risk för återtändning. När humuslagret i skogen, liksom torven i kärr och myrar, är starkt uttorkat, är det stor risk för kvarliggande glödbränder, som lätt kan leda till återtändning efter en till flera dagar. Denna risk beskrivs bäst av DMC, DC eller HBV. DC-nivåer över 350 brukar i Kanada användas som indikation på problematisk eftersläckning och glödbrand i djupa organiska skikt.

Biotoper och förväntat brandbeteende

Nedan finns beskrivningar för tio olika biotoper som är vanligt förekommande i Sverige. För varje typ finns bränsledata samt en allmän karakteristik av biotopen samt en beskrivning av brandpotentialen i grova drag. Till varje biotop finns vidare en mall som ger en grov ledning till eldens spridningspotential under försommar respektive högsommar samt vid olika långvarig torka. Torkan har getts tre klasser, vilket kan representeras av DMC-värden 5-10, 15-25, > 40 (eller HBV-värden i storleksordningen 80, 55 resp 30). Detta motsvarar mycket ungefärligt 2-3, 5-10 respektive >15 torkdagar efter ett kraftigt regn.

Gles äldre tallskog

Finbränsle på marken: Mossa/lav/förna	0.6-1.2 kg/m ²
Fältskiktsbränsle: Lingon, ljung, kråkbär, blåbär	0.5-1 kg/m ²
Kronbränsle: väl separerat från marken	0.5 kg/m ²
Humuslager: ca 5 cm	



Karakteristik: Den här typen av skog utbildas främst på mager mark, där tall normalt är det dominerande trädslaget. Då kan inslaget av lavar på marken vara stort, liksom ljung och kråkbär i fältskiktet. Även på bördigare mark kan man få en skog med liknande struktur, om man gallrat för att gynna tall på bekostnad av gran och lövträd. Då dominerar mossor på marken och blåbär och lingon i fältskiktet. God sikt och framkomlighet.

Brandpotential: Uttorkningen går snabbt på grund av det glesa trädskiktet. Goda finbränslen på marken. Redan vid måttlig upptorkning kan en eld sprida sig villigt, men potentialen att involvera kronskiktet är ringa, på grund av det stora avståndet från mark till kronbränslets undre gräns. Om det är rikligt med ljung på marken ökar mängden finbränsle avsevärt, med högre brandintensitet som följd. Jämfört med öppen mark är dock brandspridningen långsam, på grund av beståndets vinddämpning.

Flerskiktad barrskog

Finbränsle på marken: Mossa/lav/förna	0.6-1.2 kg/m ²
Fältskiktsbränsle: Lingon, ljung, kråkbär, blåbär	0.5-1 kg/m ²
Kronbränsle: god vertikal kontinuitet	ca 1 kg/m ²
Humuslager: ca 5 cm	



Karakteristik: Skog på medelgod mark som fått utvecklas utan gallring och underröjning. Ofta en hel del tall bland de grövre träden och underväxt av gran. Goda markbränslen, men oftast mindre fältskiktsbränsle än i glesare skog. Dålig sikt.

Brandpotential: Relativt långsam upptorkning, men god brandspridning när väl mossan/förnan är torr. Stor risk att enstaka träd brinner upp i toppen och orsakar flygbränder. Om vinden dessutom är god finns det risk att elden tar sig upp i kronskiktet på bred front, varvid brandintensitet och spridningshastighet flerdubblas.



Tät granskog

Finbränsle på marken: Mossa/förna

0.5 kg/m²

Fältskiktsbränsle: blåbär, örter, gräs

0.5 kg/m²

Kronbränsle: dålig vertikal kontinuitet

ca 2 kg/m²

Humuslager: ca 5-10 cm



Karakteristik: På medelbördig mark utgörs fältskiktet av blåbär och en del gräs och örter. På riktigt bördig mark är det mer örter och knappt något blåbär. På grund av det täta kronskiktet har även granarna kvistrensade stammar och det finns ingen nämnvärd underväxt av gran. Relativt god sikt och framkomlighet.

Brandpotential: Mycket långsam upptorkning. Ofta har finbränslet på marken en struktur som är mindre gynnsam för elden. Om det rör sig om rena granbarmattor eller bestånd av kompakta mossor (*Dicranum*-arter) brukar elden kunna självdö. Där inslaget av örter och gräs är stort kan även detta dämpa elden. Om det är mycket gräs/örtförna på våren kan detta leda elden. För en eld som väl förmår sprida sig är risken att den klättrar ringa, på grund av det stora spannet från marken till kronskiktets undre gräns.

Ungskog

Finbränsle på marken: Mossa/lav/förna	0.6-1.2 kg/m ²
Fältskiktsbränsle: Lingon, ljung, blåbär, gräs	0.5-1 kg/m ²
Kronbränsle: god vertikal kontinuitet	ca 1 kg/m ²
Humuslager: ca 5 cm	



Karakteristik: Skogen är oftast planterad på kalavverkad mark. Ålder 10-20 år. Om det är bördig mark kan inslaget av gräs och örter vara stort till dess att ungskogen har slutit sig och skuggat ut markvegetationen. Hyggesavfallet från avverkningen är nästan helt borta. Upptorkningen går relativt snabbt. Dålig sikt och framkomlighet.

Brandpotential: På mager mark kan finbränslena på marken medge god brandspridning. Särskilt riskabel är ljungrik mark, där ljungen har kunnat växa sig hög under hyggesfasen. Vinddämpningen är ringa. Stor risk att elden går upp i trädkronorna. Om det finns inslag av lövträd är finbränslena sämre och risken för kronbrand minskar. Vid avancerad torka finns risk att en svårsläckt glödbbrand biter sig fast i de gamla markberedningsstråken (som gjorts inför planteringen), där det finns gott om delvis begravd humus.

Hygge på mager mark

Finbränsle på marken: Mossa/lav/förna	0.6-1.2 kg/m ²
Fältskiktsbränsle: Lingon, ljung, blåbär, gräs	0.5-1 kg/m ²
Hyggesavfall: (år 1)	ca 1 kg/m ²
Humuslager: ca 5 cm	



Karakteristik: På riktigt mager mark finns nästan inga örter och gräs under hyggesfasen. Finbränslena på marken förändras då inte efter avverkningen. På något bördigare mark, särskilt i södra Sverige, ökar gräsinslaget kraftigt inom 2-3 år. Hyggesavfallet tillför stora mängder bränsle, men börjar brytas ner märkbart efter andra sommaren och efter tio år återstår bara de grövre delarna. Om hygget har markberetts får man en stor mängd avbrott i finbränslet. Fri sikt, men ganska dålig framkomlighet på grund av hyggesavfallet och eventuell markberedning.

Brandpotential: Hyggesmark torkar ut mycket snabbt jämfört med skogklädd mark. Hyggesavfallet tillför stora mängder finbränsle till marken, men det är oftast ojämnt deponerat. Finbränslena mellan högarna Spridningshastigheten påverkas inte stort av hyggesavfallet, och det är nödvändigt att det finns tillräckliga finbränslen mellan högarna för att elden skall sprida sig. Hyggesavfallet gör dock att intensiteten blir mycket högre. Vinden har fritt spel på hygget och gör att elden sprider sig mycket snabbare än inne i skog. Om hygget är markberett kan elden ibland hindras. Markberedningen river upp och exponerar humus för sol och vind och gör att det finns risk för långvarig glödbrand i humusen, även vid måttlig torka.

Hyggesmark är svårbedömd då det sker så stora förändringar över tiden. Generellt kan man säga att brandpotentialen är störst under de två första somrarna efter avverkning för att därefter minska gradvis. De nya trädplantorna är inte tillräckligt stora för att nämnvärt påverka brandbeteendet förrän vid omkring 10 års ålder.

Hygge på bördig mark

Finbränsle på marken: Mossa/lav/förna	0.6-1.2 kg/m ²
Fältskiktsbränsle: Lingon, ljung, blåbär, gräs	0.5-1 kg/m ²
Hyggesavfall: (år 1)	ca 1 kg/m ²
Humuslager: ca 5 cm	



Karakteristik: På bördig mark blir gräs och örtvegetationen snabbt ymnig. Redan andra sommaren kan det finnas en högväxt ört och gräsflora.. Hyggesavfallet är rikligt, då det oftast har varit ett granbestånd före avverkningen. God sikt men dålig framkomlighet på grund av det ymniga hyggesavfallet.

Brandpotential: Jämfört med hyggen på mager mark förändras brandpotentialen mer och snabbare. När man har fått en utvecklad gräs och örtvegetation (vanligen inom tre år) är risken för brandspridning ringa under högsommaren. På våren kan en eld dock sprida sig snabbt i den rika gräs/örtförnan.

Mossemark (rismosse)

Finbränsle på marken: Mossa/lav/förna 0.6-1.2 kg/m²

Fältskiktsbränsle: Lingon, ljung, skvattram etc 0.5-2 kg/m²

Kronbränsle: varierande täthet, varierande vertikal kontinuitet

Torvdjup: 0.5-2 m



Karakteristik: Den här typen av myr har bränslen som ganska mycket liknar de i skog. På tuvor finns ofta väggmossa eller renlav och fältskiktet domineras av risväxter: lingon, ljung, skvattram, odon, kråkbär. Till största delen täcks dock marken av vitmossa (Sphagnum). Ofta finns ett glest och lågvuxet trädskikt av tall. Ofta dålig sikt. Sådana här marker har ofta dikats. Det kan då vara högväxt skog, men mindre risvegetation på marken. På försommaren ligger grundvattenytan i svackorna nära (eller över) markytan, men under torrsomrar kan den ligga ett par dm under ytan.

Brandpotential: Förutsättningen för brandspridning är att finbränslet på marken torkat ut tillräckligt. Eftersom det mest rör sig om vitmossa krävs vanligen längre tid än i kringliggande skog. Kantzoner mot skog kan dock ha mer väggmossa. Den ymniga risvegetationen gör att brandintensiteten blir hög. Vid avancerad torka kan glödbland lätt bita sig fast i upphöjda tuvor. Om marken har dikats är risken stor för svårsläckt glödbland i gamla dikeskanter och dikesvallar, (även om det inte råder svår torka). På grund av att markvegetationen domineras av risväxter är det ingen stor säsongsvariation i brandpotential.

Lågstarrmyr

Finbränsle på marken: Mossa/förna (mängden svårdefinierad)

Fältskiktsbränsle: Lågvuxen starr, snip et c 0.05-0.1 kg/m²

Kronbränsle: saknas

Torvlager: ca 0.5-2m.



Karakteristik: Vanligen heltäckande vitmossa på markytan. Kan avbrytas av flarkar utan nämnvärd mossvegetation (mer eller mindre bar gyttja). Glest och lågvuxet (20 cm) fältskikt av smalbladiga starr- eller starrliknande arter.

Brandpotential: Starrförnan är ofta för gles för att ensam bära elden utan stöd från vitmossan. Om elden förmår sprida sig är intensiteten låg och den är lättbekämpad. När vitmossan har torkat ut, vilket kräver avancerad torka, bär elden överallt utom i flarkar. Även om vitmossans översta del är torr finns oftast riklig fukt längre ner och genom att trampa till ytan (med bandvagn, 4-hjuling eller dylikt) kan ett ganska effektivt, om än temporärt, brandhinder skapas.

Högstarrmyr

Finbränsle på marken: Mossa/lav/förna	0.3-0.6 kg/m ²
Fältskiktsbränsle: Levande starr och gräs	0.5-0.8 kg/m ²
Kronbränsle: saknas utom i gräns mot skog	
Torvlager: ca 0.5-2m	



Karakteristik: En produktiv myrtyp som är vanlig i de delar av myren som har god sidledes vattenrörelse. Ofta nära bäckar. Högvuxna och bredbladiga starrarter. Ibland storvuxna gräsarter. Vegetationen är oftast kring 50 cm hög, och tät. På våren finns en heltäckande förnabädd, delvis nedpressad av snö. Vanligen god sikt men ofta dålig framkomlighet på grund av bäckdråg och lösbottnenytor.

Brandpotential: Under vår och försommar leder starrförnan elden väl. Spridningshastigheten är snabb; jämförbar med gräsmark. Upptorkningen är mycket snabb. Bränslemängden och den snabba spridningen genererar långa flammor, vilket gör att elden lätt tar sig över mindre hinder som bäckar på myren. Även om det står fritt vatten på myrytan kan elden ofta sprida sig, särskilt om det är frisk vind. Ofta består en myr av mindre stråk av högstarrvegetation, men det kan räcka för att föra elden från en skogsmark till nästa. Allteftersom de nya skotten växer upp, minskar spridningshastighet och flamlängd, men ibland kan elden långsamt äta sig fram även igenom relativt tät grönska. Liten risk för återtändning när väl flammorna släckts, då förutsättningarna för kvarliggande glödbland är ringa i dessa fuktiga partier.

Gräsmark

Finbränsle på marken: Förna av gräs och örter

0.3-(1) kg/m²

Fältskiktsbränsle: levande gräs/örter

0.5-1 kg/m²

Kronbränsle: Spridda träd vanliga.

Humuslager: 0-1 cm



Karakteristik: Åker eller betesmark som inte nyttjas. Vanligen domineras fuktigare partier av ganska robusta och storsväxta gräs (tuvatåtel, grenrör, etc) samt ibland

störväxta örter (mjölke, älgört). Torra områden har lägre växtlighet och mindre bränslekvaniteter (venarter, fårsvingel). Ett års utebliven hävd räcker för att generera en förna som bär elden, även om bränslemängden är något högre efter 2 år. Under förnabädden finns ingen eller bara obetydligt med humus. På lång sikt invaderas de flesta gräsmarker av träd, men det är först när de bildat ett tätt bestånd som vegetationen och bränsleförhållandena ändras påtagligt i riktning mot skog (skogsmossor, risväxter). God sikt och god framkomlighet.

Brandpotential: På våren är brandspridningen extremt hastig i en bädd av gräsförna. Om förnan har blivit nedpressad av snö är spridningshastigheten lägre, men ändå flerfaldigt högre än i en bränslebädd dominerad av skogsmossor. Upptorkningen är mycket snabb. Om det är bra torkväder kan gräsmark vara brännbar redan dagen efter regn, och efter 2-3 dagar är hela bränslebädden nedtorkad till jämvikt med rådande luftfuktighet. Om det förekommer spridda barrträd i gräsmarken har dessa vanligen grenar långt ner mot marken och fattar lätt eld.

När grönskan börjar bli synlig ovan förnan minskar spridningshastigheten dramatiskt. Under högsommaren brukar elden inte bära ens efter lång torka. I viss mån finns alltså en tidsmässig uppdelning mellan gräsbränder och skogsbränder. Det är bara en mindre del av skogsmarken som kan brinna när gräsbrandrisken står på topp och vice versa. Ett typiskt förlopp är att sydvända skogsbackar hunnit torka upp nog för att kunna brinna i anslutning till gräsbränder, särskilt om det varit en tidig snösmältning.