



Myndigheten för  
samhällsskydd  
och beredskap



Sveriges lantbruksuniversitet  
Swedish University of Agricultural Sciences

Fakulteten för skogsvetenskap



FORSKNING/STUDIE

# Klimatpåverkan på skogsbrandrisk i Sverige.

-Nulägesanalys, modellutveckling och framtida  
scenarioutveckling





## Faktaruta

Klimatpåverkan på skogsbrandrisk i Sverige

2012-2016

SLU, SMHI, SP

Anders Granström, Francine Amon, Johan Sjöström, Wei Yang

Projektet har analyserat dagens situation vad gäller vegetationsbränders uppkomst, förekomst, vädermässiga förutsättningar och hantering. Det har också förbättrat modelleringen av centrala variabler för att bedöma brandrisk under framtida klimatscenarier.

MSB:s kontaktpersoner:

Ulrika Postgård, 010-240 50 33

Leif Sandahl, 010-240 53 12

Foto: Anders Granström, SLU

Publikationsnummer MSB1106 – maj 2017

ISBN 978-91-7383-753-8

MSB har beställt och finansierat genomförandet av denna forskningsrapport. Författarna är ensamma ansvariga för rapportens innehåll.

# Förord

Projektet är ett samarbete mellan tre forskningsorganisationer, SLU, SP och SMHI och tillkom efter en riktad utlysning vid MSB rörande naturolyckor.

---

# Innehållsförteckning

<b>Förord</b> .....	<b>4</b>
<b>Innehållsförteckning</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b> .....	<b>6</b>
<b>1. Bakgrund</b> .....	<b>7</b>
1.1 Vad är brandrisk? .....	7
1.2 Frågor att besvara .....	7
<b>2. Resultat</b> .....	<b>9</b>
2.1 Antändning .....	9
2.2 Dagens bränder .....	10
2.3 Dagens brandväder .....	13
2.4 Insatsledares instinkt och insikt .....	16
2.5 Brandriskindex .....	18
2.6 Framtidens brandväder .....	19
<b>3. Vilka lärdomar kan man dra från projektet?</b> .....	<b>20</b>
<b>4. Rapporter inom projektet</b> .....	<b>22</b>

# Sammanfattning

Detta projekt har drivits i samarbete mellan SLU, SP och SMHI. Syftet har varit att värdera skogsbrandrisker i ett framtida klimat mot bakgrund av dagens situation och även bedöma förutsättningarna för en bättre brandbekämpning.

Ett delmoment har varit att studera antändning, där den mest troliga orsaken till maskintända bränder, glödande metallfragment, visade sig kräva extremt låg substratfuktkvot<sup>1</sup>, exempelvis solbelyst uttorkad humus.

Analys av nutidens bränder visar ett mycket starkt samband med befolkningstäthet för såväl gräsbränder som skogsbränder och pekar därmed på att prevention är det effektivaste sättet att reducera såväl antal bränder som arealen bränd mark.

För skogsbränder var det ett närmast lagbundet samband mellan bränders storlek och antal från och med en storlek om ca 1 ha, vilket indikerar att den storleken utgör en brytpunkt för sannolikheten att snabbt lyckas med förstainsatsen.

Försök gjordes med att kalibrera en skiktad fuktmodell för ytbränsle och humuslager, för att få ett mer dynamiskt brandriskindex. En metod utprovades också för omskalning av olika klimatmodellens output för variablerna dagsnederbörd, luftfuktighet och vindstyrka, vilket kraftigt förbättrade resultaten när man jämför modellerade och observerade värden. När metoden applicerades på framtida klimatscenarier (år 2071-2100) indikerar modellerna längre brandsäsong för hela landet, ett minskat antal riskdagar i norra Sverige och ett ökat antal riskdagar i södra Sverige.

För att få en bild av taktiskt tänkande och värdering av brandbeteende hos landets insatsledare gjordes en intervjuundersökning med ett antal insatsledare från olika räddningstjänster. Det fanns en ganska stor samstämmighet i bedömningar och taktiska överväganden, men studien visade även på en systematisk underskattning av riskerna vid bekämpning av högintensiva bränder som hunnit växa sig stora. För framtiden kan den stora utmaningen bli att upprätthålla ett tillräckligt tätt förband av räddningstjänster trots vikande befolkningsunderlag i stora delar av landet, eftersom snabb insats är ett absolut villkor för effektiv brandbekämpning i skog.

---

<sup>1</sup> Med fuktkvot avses kvoten mellan bränslets vatteninnehåll och bränslets torra vikt.

# 1. Bakgrund

## 1.1 Vad är brandrisk?

I dagligt tal hör man ofta begreppet ”brandrisk i skog och mark” och de flesta tänker då på långvarig torka i naturen och inte mycket mer. Men egentligen kan man bryta ner begreppet i två komponenter: Den ena är förutsättningen för att en eld skall kunna sprida sig i terrängen, och med vilken hastighet och intensitet den då går fram. Detta är i sin tur beroende av bränslet och dess fuktkvot. Den andra är sannolikheten för att detta verkligen sker, vilket kräver en antändning. Den senare komponenten är beroende inte bara på bränsle- och väderförhållanden utan i väldigt hög grad på människans aktivitet, därför att de allra flesta bränder idag har antropogena orsaker. Man kan alltså tänka sig extremt brandfarliga vädersituationer med trots allt låg brandrisk, om människorna förstår faran och undviker all aktivitet som genererar en antändningsmöjlighet! I projektet har vi studerat ett antal faktorer i det här komplexet, med tanke på brändernas frekvens, intensitet och samhällets förmåga att hantera situationen i framtiden.

## 1.2 Frågor att besvara

När det här projektet startades fanns stora kunskapsluckor vad gäller vegetationsbränder i landet. En första ingång blev därför att utreda var, hur och när bränder inträffar och under vilka vädermässiga förutsättningar. Kunskap om detta är grundläggande både för preventiva åtgärder idag och för att kunna bedöma framtida trender.

En annan brist är att antändning som fenomen tidigare inte har undersökts i någon nämnvärd detalj. Här ville vi se framför allt hur bränslets fuktkvot, vilket i sin tur är styrt av vädret, påverkar antändningsmöjligheten.

För brandriskbedömning används idag främst ett kanadensiskt system (FWI-systemet), där tre index simulerar fuktkvoten i olika bränsleskikt. Systemet är robust men saknar förmåga att bedöma bland annat skillnader mellan skog och öppen mark, vilket en mer utvecklad modell skulle kunna göra.

Inverkan av klimatförändringar på brandrisken är en central och ofta diskuterad fråga för framtiden. Det har emellertid visat sig att standardmodellerna för klimatsimulering ger felaktiga skattningar av antal dagar med nederbörd, vilket ger mycket stora fel när man beräknar brandrisk. Ett av delprojekten syftade därför till att utveckla system för att skala om modellresultaten från klimatsimuleringar, för att därigenom höja säkerheten i prognosen för framtida bränder.

Slutligen finns det väldigt lite kunskap om hur svensk räddningstjänst bedömer och hanterar vegetationsbränder. Det beror antagligen på att det är en liten del av deras hela verksamhet och även har ringa del i utbildningen. Bättre insikt

om den nuvarande hanteringen är central för att vidmakthålla eller helst förbättra den kommunala räddningstjänstens förmåga inför framtiden.



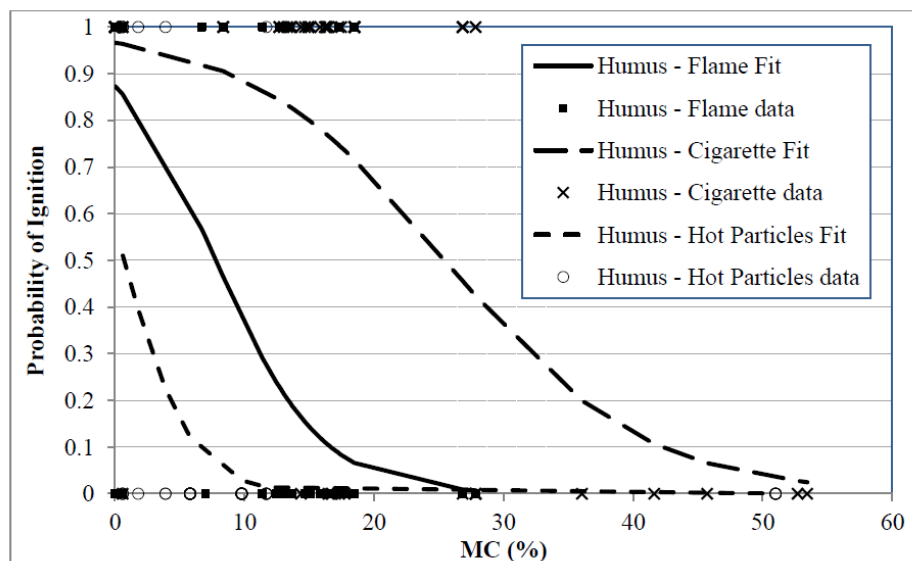
## 2. Resultat

### 2.1 Antändning

I Sverige är medveten olovlig antändning av vegetationsbränder relativt sällsynt, utan de flesta bränder antänds oavsiktligt, ofta via en eller annan diffus indirekt källa. Inte sällan är det kopplat till någon form av maskinarbete i terrängen, exempelvis markberedning, skotning eller röjningsarbete, när metall slår mot sten. Vi ville få en närmare förståelse för hur antändning sker i olika material och till följd av olika antändningskällor. Vi testade sex olika material (humus, mossa, granbarrförna, tallbarrförna, gräsförna och lövförna) mot tre antändningskällor (en liten öppen flamma, en glödande cigarett respektive heta metallpartiklar). Den sistnämnda källan skulle simulera antändning vid exempelvis körning på stenig mark. Först hade vi prövat att simulera ”maskinantändning” genom att skapa gnistbildning från olika maskiner som sliptrissor eller dylikt. Det visade sig vara svårt så vi valde därför upphettade matallfragment. Dessa var 15 x 15 x 1 mm och höll en temperatur av 700 °C.

Sen prövade vi de tre antändningskällorna mot material med olika fuktkvot. En karakteristisk bild av hur sambandet kan se ut, i detta fall för humus, visas i figur 1. För humus skedde antändning av en glödande cigarett vid högre fuktkvot än av öppen flamma men extremt torrt material krävdes för antändning av humus från heta metallfragment. Där behövde humusen ha en fuktkvot under 10% för att kunna tända. Som tändning räknades att en glödbrand etablerade sig och levde vidare i materialet. Varje enskilt antändningsförsök har egentligen bara två svarsalternativ: tänder respektive tänder ej. Men när man gör ett stort antal försök ser man att det inte finns någon abrupt fuktkvots-gräns. Flera olika slumpfaktorer kan inverka på om det tänder eller ej och man kan därför få ganska utjämnade sannolikhetskurvor som beskriver hur sambandet ser ut. Vad gäller antändning av humus visar resultaten att det krävs riktigt uttorkat material för att man skall kunna få en antändning, oavsett antändningskällan. Har man väl fått en antändning kan sen glödbrand fortsätta i betydligt fuktigare material, ända upp mot 100% fuktkvot, om det är en välutvecklad glödbrand och humusen har en lämplig struktur. Vad gäller antändning vid körning på stenig mark kan det alltså räcka om det finns små fickor av mycket torr humus, exempelvis invid stenarna nära markytan, för att en antändning skall kunna ske. För att nå fuktkvoter under 10% krävs troligen direkt solexponering som värmer en naken humusyta.

Ett annat intressant resultat från antändningsförsöken var att gräsförna har en ganska distinkt antändningsgräns för öppen flamma vid 20% fuktkvot, men att det också var ett klart samband mellan materialets täthet och benägenheten för antändning. När materialet packats tätare än 30 kg/m<sup>3</sup> sjönk sannolikheten för antändning. Antändning av gräsförna via en glödande cigarett lyckades däremot inte ens vid mycket låg fuktkvot.



Figur 1. Sannolikheten för antändning av humus via cigarettglöd, öppen flamma respektive glödande metallfragment, sett i relation till humusens fuktkvot. Kurvorna är anpassade genom logistisk regression.

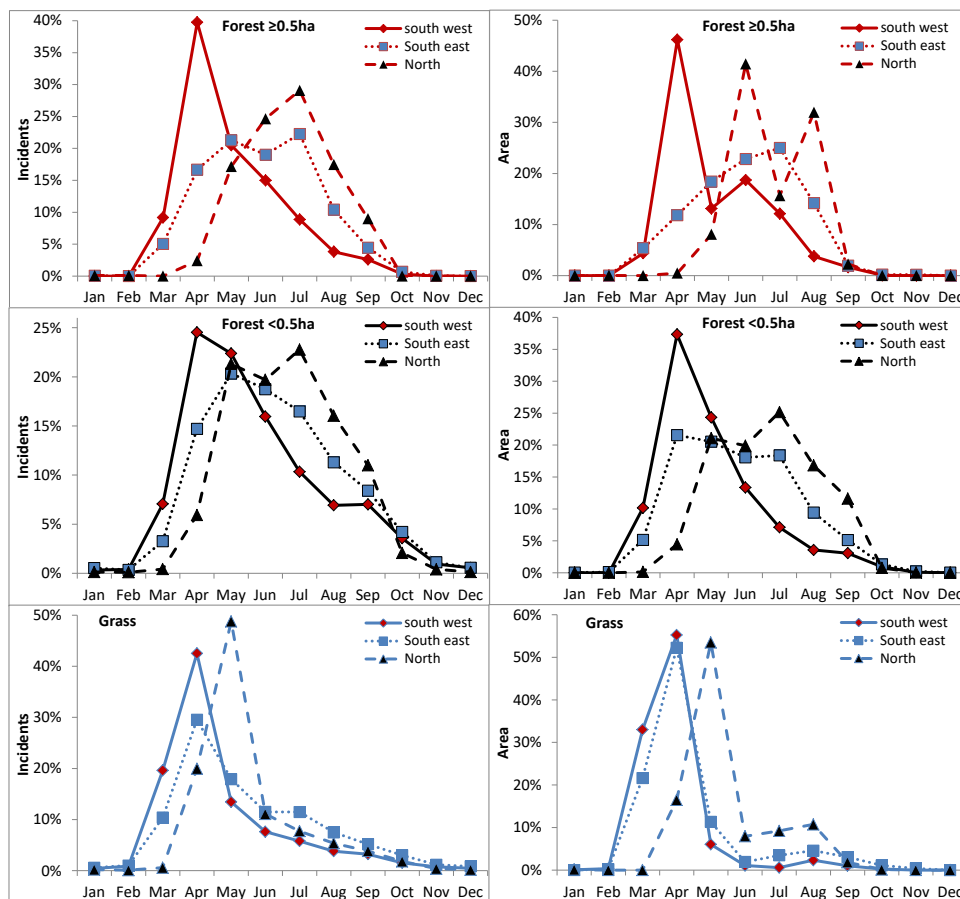
Fuktkvoten i lucker gräsförna når mycket snabbt ett jämviktstillstånd med luftfuktigheten. 20% fuktkvot i materialet, alltså gränsen för antändning med öppen flamma, motsvarar en relativ luftfuktighet av drygt 80% och man kan då fråga sig varför gräsbränder är så kopplade till låg luftfuktighet. Det är möjligt att den här kopplingen har mer att göra med brandens spridningshastighet än själva antändningen. Långsamt spridande brand i gräs kan enkelt slås ner av folk som befinner sig på platsen och leder inte till något larm.

Ett ytterligare resultat från försöken är att granbarrförna visade sig omöjlig att antända, oavsett fuktkvot och antändningskälla. Detta bekräftas även av fältexperiment inom projektet, liksom av fältobservationer i samband med vilda bränder när vi sett att även högintensiv eld stannar när den når riktigt täta bestånd av gran, där markytan är helt täckt av en barr-matta.

## 2.2 Dagens bränder

Räddningstjänsternas släckinsatser rapporteras idag till en central databas hos MSB. Vi undersökte insatsrapporterna från de 19 åren 1996 till 2014. Totalt fann vi drygt 91 000 uttryckningar som gällde brand i vegetationen, vilket ger ett medeltal av 4 700 bränder per år. Av dessa var ganska precis hälften vad vi har definierat som gräsbränder, det vill säga av den brända marken i området dominerar kategorin "mark, ej trädbeväxt" över kategorierna "annan trädbeväxt mark" och "produktiv skogsmark inklusive hygge" sammantaget. Övriga bränder klassades som skogsbränder. I själva verket kan en och samma brand mycket väl beröra både gräsytor och skogsmark, men för enkelhetens skull klassade vi dem som antingen eller. Icke förvånande var det en ganska klar skillnad mellan "gräsbränder" och "skogsbränder" både vad gäller antändningsorsaker, upptorkningskrav och säsongstrender.

Gräsbränder hade en topp under april i både sydöstra och sydvästra delen av landet och under maj i den norra, vilket bör vara en avspeglning av nord-sydliga skillnader i gräsbrandsäsongens yttre ramar: vårens ankomst respektive den nya inväxningen av färskt, brandhämmande gräs. För skogsbränder var det emellertid en klar skillnad mellan SV och SÖ Sverige (Figur 2). Sydvästra Sverige hade en tydlig topp i april, speciellt för större skogsbränder, vilket inte syns i SÖ Sverige. Det bör ha att göra med skillnader i bränslet snarare än vädret eftersom vädret inte visade några säsongsskillnader mellan SV och SÖ (se om vädret i nästa kapitel). Det kan hända att SV Sverige har större inblandning av gräs eller annan liknande vegetation i skogsbevuxen mark. Alternativt har det att göra med större antal antändningar under våren i denna del av landet, exempelvis för gräsbränning. Skogsbränder var annars relativt jämt fördelade över perioden april till juli, men därefter successivt fallande med obetydligt antal och areal efter september månad.



Figur 2. Säsongsfördelning av bränder som lett till utryckningar av brandförsvaret, uppdelat på tre regioner i landet: Syd-väst (Västra Götaland och Halland), Syd-öst (Kalmar, Östergötland, Sörmland och Stockholm) samt Norrland (de fyra nordligaste länen). Den vänstra kolumnen av grafer visar antal bränder och den högra deras areal. Översta raden av grafer gäller skogsbränder större än 0,5 ha, mellanraden skogsbränder mindre än 0,5 ha och nedersta raden gräsbränder. För varje graf och region är det relativa siffror i procent som visas.

Skillnader mellan olika bränsletyper syns också vad gäller graden av upptorkning i samband med brand. Den allra största delen av den brända arealen för gräsbränder inträffade också vid ganska låga värden för de brandriskindex som avspeglar torra i övre markskiktet, vilket inte alls gällde för skogsbränderna, och detta förklaras av hur snabbt respektive bränsletyp torkar upp. Däremot var det för både gräsbränder och skogsbränder en topp i avbränd areal vid en luftfuktighet kring 30%, vilket är ett mycket lågt värde som inträffar ganska få dagar på ett normalår.

Var i landet brinner det då mest? Både gräsbränder och skogsbränder har högst täthet i Sydsverige och upp längs Norrlandskusten. Mellan olika län är skillnaderna flerfaldiga om man räknar antal per ytenhet. Däremot är skillnaderna måttliga mellan olika landsdelar om man kompenserar för antal invånare. Om man undantar Skåne (som hade påtagligt färre vegetationsbränder än övriga landet) var det ett förhållandevis konstant antal uttryckningar per invånare: 4-7 uttryckningar per 10 000 invånare och år för de olika länen. Det gällde även om man ser till gräsbränder och skogsbränder separat och illustrerar att de flesta bränder tänds till följd av mänsklig aktivitet. Fler människor ger fler antändningar och ser man till landet som helhet är det en mycket stark koppling till befolkningstätheten, med Stockholms län i topp.

Vad gäller antändningsorsaker var det olyckligtvis över 35% av alla skogsbränder som inte hade någon angiven orsak. För skogsbränder större än 0,5 ha var siffran hela 38%. Det gör resultaten ganska svajiga, men det är sannolikt att flertalet av dessa ändå var antropogena. Blixtantändning var annars en relativt vanlig angiven orsak för de något större skogsbränderna, med 16%. Sett över alla uttryckningar var gräsbränning som gått över styr den vanligast angivna orsaken, följt av barns lek. En liten illustration till detta är att det inträffade 38% fler gräsbränder på lördagar än på arbets/skol-dagar!

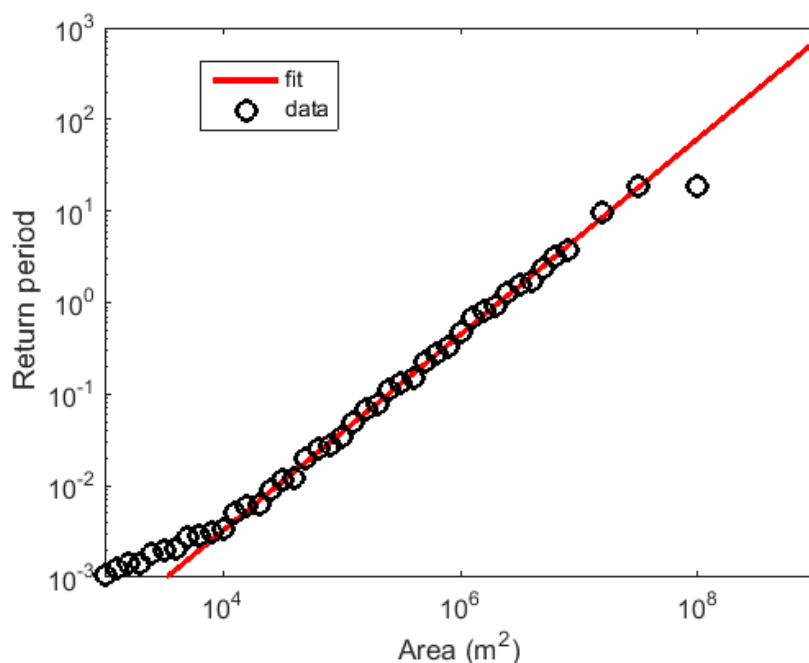
Ser man över hela den här statistiken var det ett starkt samband mellan det kanadensiska brandriskindexet FWI och sannolikheten att få en brand som leder till utryckning. För bränder större än 0,5 ha var sambandet allra tydligast, med en absolut undre gräns vid omkring FWI-värde 5 och sen en allt brantare stigande kurva ända till de allra högsta värdena.

De flesta bränder släcks ner innan de hunnit sprida sig över någon nämnvärd areal, men ser man till den summerade avbrända arealen är det ett litet antal som betyder mest. Mindre än 10% av alla bränder når en yta större än 1 ha, men dessa står för över 90% av den summerade arealen bränd mark. Och det lilla fåtal som blir större än 100 ha står för omkring hälften av arealen.

Vi fann att det var en närmast lagbunden relation mellan brändernas storleksfördelning och deras antal, som höll från omkring 1 ha upp till de allra största bränderna. Det gjorde det möjligt att beräkna den sannolika återkomsttiden för bränder av olika storlek (Figur 3). För landet som helhet skall man förvänta sig en brand större än 1000 ha var 5e år i medeltal och den statistiska återkomsttiden för en brand av Salabrandens storlek är omkring 80 år!

För bränder mindre än 1 ha bröts den här lagbundenheten och det var ett oproportionerligt stort antal riktigt små bränder. Vi gissar att detta avspeglar ett brott i sannolikheten för en omedelbart lyckad släckningsinsats, vilket i sin tur har att göra dels med väderförhållanden, men också med en del slumpfaktorer som avstånd till väg etc. Om väl branden nått en viss storlek när insatsstyrkan nått fram minskar sannolikheten att omedelbart släcka ner. Datat antyder att den brytpunkten ligger kring 1 ha.

En slutsats är att utmaningen för framtiden inte bara är risken av förändrat klimat utan kanske ännu mer att lyckas minska de mänskliga antändningarna och att upprätthålla ett effektivt brandförsvar. Den allra enklaste åtgärden vore en mer riktad brandprevention för att minska onödiga antändningar under verkliga ”riskdagar”, det vill säga när förutsättningarna finns för snabb brandspridning: låg luftfuktighet och stark vind.

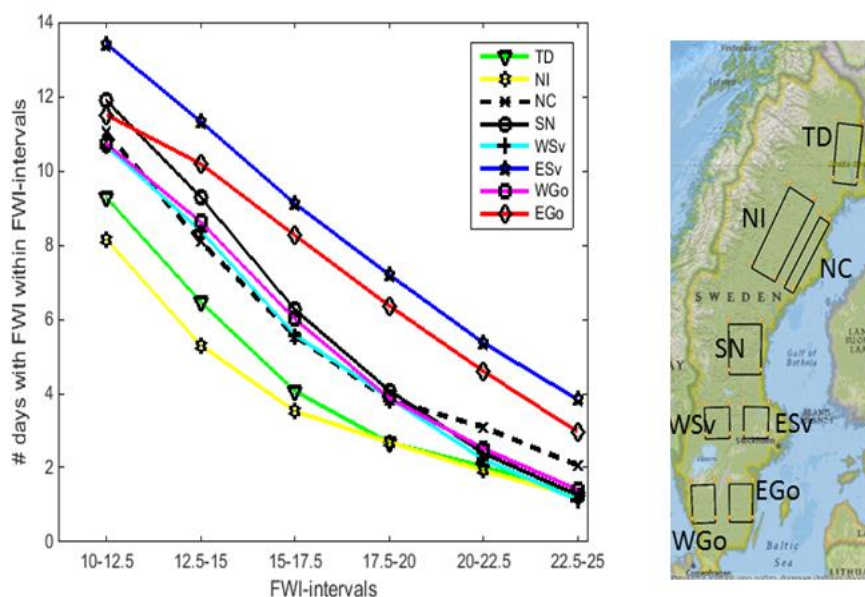


Figur 3. Den statistiska återkomst-tiden (räknat i antal år) för bränder av olika storlek ( $m^2$ ). Notera brottet i kurvan vid storleken  $10\ 000\ m^2$ , det vill säga 1 ha. För bränder större än 1 ha är det ett närmast lagbundet samband mellan antal och storlek och antal. Den röda linjen är anpassad för data mellan  $10^4$  och  $10^6\ m^2$ , men håller bra även för mycket större bränder. Ringarna visar verkliga data från insatsrapporteringen. Både x och y-axeln är logaritmerade.

## 2.3 Dagens brandväder

Hur ser egentligen de vädermässiga förutsättningarna ut för vegetationsbränder i Sverige? Hur många dagar är tillgängliga för potentiell brandspridning, när på säsongen inträffar de och hur skiljer det sig mellan olika delar av landet? För att svara på de frågorna utnyttjade vi en stor datakörning av väder och brandriskindex som gjorts vid SMHI för

sommarperioderna (april-september) för de 16 åren 1999-2014. Väder-datat är beräknat för ett 11 x 11 km rutsystem över hela landet, där man har utnyttjat både observationsdata från väderstationer och diverse modellberäkningar baserade på radarbilder, topografi etc. Vi valde ut 8 separata områden i landet för att täcka in dels en nord-sydlig och dels en öst-västlig gradient och vi fokuserade främst på det kanadensiska brandriskindexet FWI (fire weather index). Det är konstruerat för att avspegla brandintensitet i en relativ skala och tar hänsyn till väsentliga faktorer som driver en vegetationsbrand: bränslets fuktkvot och vindstyrkan.



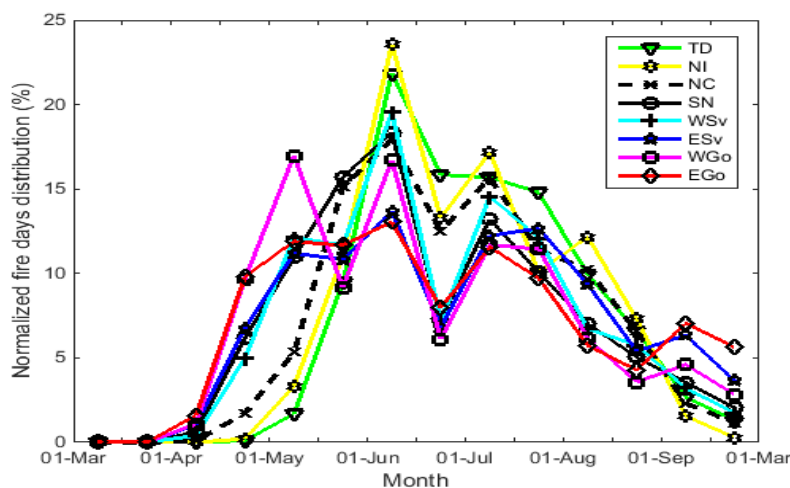
Figur 4. Antal dagar per FWI-klass (klassbredd 2,5 enheter) för de 8 olika områdena i landet. Medeltal per år över perioden 1999-2014. De geografiska områdena är avgränsade på kartan.

Om man tittar på fördelningen av alla dagar över ett antal år ser man ett snabbt sjunkande antal dagar med stigande indexnivå (Figur 4), och alla områdena följer ungefär samma mönster. Var skall man då dra gränsen för att räkna ”branddagar”? Där finns det ingen absolut gräns eftersom olika bränsletyper blir brännbara vid olika indexnivå, men ett FWI-värde på 15 kan tjäna som riktmärke.

Sett över hela undersökningsperioden var det då högst antal potentiella branddagar i östra Götaland och östra Svealand (omkring 30), väsentligt färre i västra Götaland och västra Svealand och södra Norrland (14-16), återigen högre i norra Norrlands kustland (19) och lägst i norra Norrlands inland och Tornedalen (11-12).

En annan distinkt skillnad fanns i säsongens inledning, som ligger omkring en månad tidigare i söder än i norr (Figur 5), vilket säkerligen är kopplat till att snön blockerar säsongöppningen i norra Sverige. Det var också en något flackare fördelning av branddagar över sommaren i södra Sverige än i norra,

där det var en tydlig topp under juni månad. Undersökningsperioden är egentligen för kort för att väl beskriva säsongfördelningen, eftersom vissa extremår slår igenom kraftigt i materialet. Den allmänna bilden är dock väldigt lik den som även syntes i brändernas fördelning sett över en så lång period som 19 år: en snabb stegring på våren (i söder redan i början av maj), kulminering och sedan långsam avtrappning från andra halvan av juli fram till sen september.

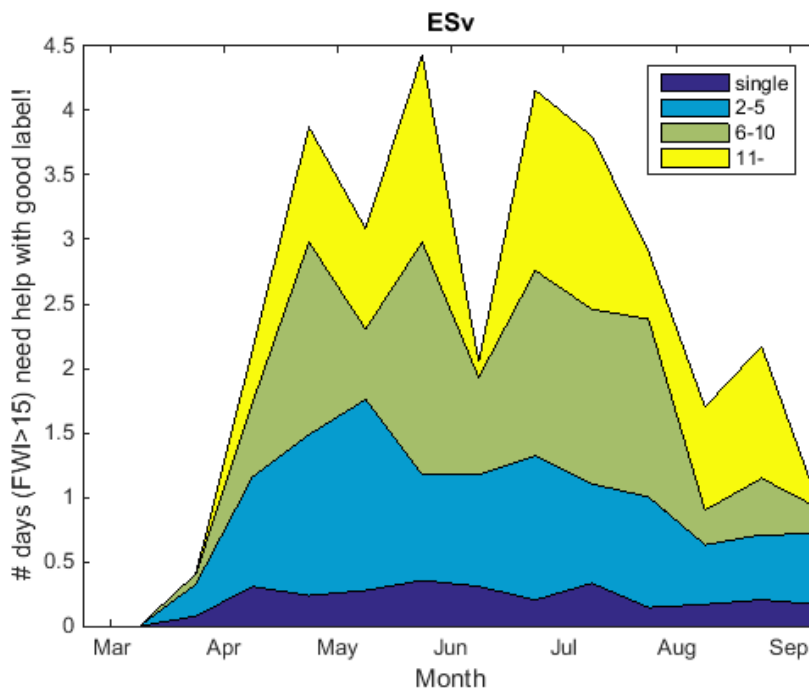


Figur 5. Den relativa säsongfördelningen av dagar med FWI-värde 15 eller högre för 8 olika områden i Sverige. Datat är här presenterat i relativa tal per område, för att säsong-skillnaderna skall framträda tydligare.

En väsentlig fråga är också hur de tillgängliga branddagarna faller: enskilt eller i följd? Om flera dagar med bra brandväder följer på varandra kan man få problem av två typer. Dels riskerar enskilda bränder som tänds tidigt i perioden pågå under lång tid, dels blir det en stor belastning på brandförsvarets personal när man riskerar att få många bränder under en följd av dagar.

Det visade sig att ungefär lika många dagar faller i kategorin ”endags-episoder”, tvådags-episoder, tredagsepisoder etc. Summerat faller exempelvis omkring 60% av alla branddagar i östra Svealand (Figur 6) i sammanhängande perioder som varar längre än 5 dagar. Det finns ingen tydlig säsongstrend här annat än att det av naturliga skäl inte finns några riktigt långa sammanhängande perioder alldeles i början respektive slutet av säsongen.

När vi beräknade brandperiodernas längd ”tillät” vi maximalt en dag med lägre FWI-värde än 15 inom perioden, utan att perioden bröts. Det kan exempelvis räcka med en dag utan vind och med relativt hög luftfuktighet för att värdet skall gå ner kraftigt, men då stiger det lika snabbt om vädret blir bra dagen efter. En sådan svacka förmår i realiteten inte heller ”döda” pågående bränder, utan de vaknar när vädret förbättras. Om det däremot regnar sjunker index för längre tid och i det ger också en verklig respit när det gäller bekämpningen av en pågående brand.



Figur 6. Säsongsfördelningen av dagar med FWI-värde 15 eller högre i Östra Svealand, med en uppdelning på de sammanhängande periodernas längd.

För alla regioner var det dessutom signifikanta korrelationer mellan antal dagar per år med bra brandväder och antalet skogsbränder större än 0,5 ha. Man kan därför säga att antalet dagar med bra brandväder är en begränsande faktor för antal bränder på regional nivå, men vid jämförelse mellan regioner är trots allt befolkningstätheten en överordnad styrande faktor.

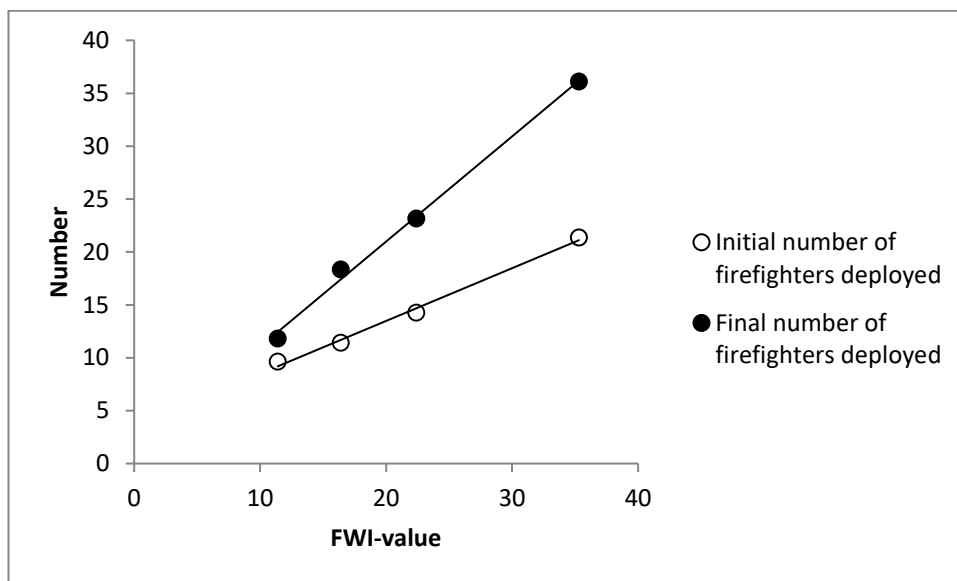
## 2.4 Insatsledares instinkt och insikt

Sveriges brandförsvaret har på senare tid alltså släckt i medeltal 4 700 vegetationsbränder per år och lyckats begränsa den summerade avbrända arealen till 2 900 ha, där den allra största arealen rör brand i skogsterräng. Trots den här ganska omfattande hanteringen finns egentligen ingen nationell doktrin för brandsläckning i terräng och ingen enhetlig instruktion som rör taktik, dimensionering av resurser etc. Skogsbrand har också en ganska undanskymd plats i brandbefälsutbildningen. För att få en bild av hur dagens insatsledare uppfattar bränsletyper, skogsbrandbeteende och taktiska överväganden gjorde vi en intervju-undersökning med ett antal insatsledare, där vi också lät dem ”spela” fyra olika brandscenarioer från larm till dess insatsen var avslutad och området överlämnat till markägaren för eftersläckning/bevakning. Totalt intervjuade vi 17 insatsledare, som i medeltal hade 13 års erfarenhet, och vi upprepade de spelade brandscenarioerna vid 12 tillfällen.

Det visade sig att man hade en ganska realistisk bild av brandspridningshastighet i olika väder/bränsle-situationer (jämfört med facit som var spridningshastighet beräknad med en brandbeteendemodell). Man hade också en samstämmig värdering av vilka bränsletyper som skulle generera



snabbast brandspridning. Deras bedömning av hastighet för att upprätta begränsningslinjer varierade kraftigt, men medlet låg relativt nära vad som angivits i utländska studier.



*Figur 7. Antal brandpersonal som skickades omedelbart på larm, respektive användes som mest under insatsen, ställt i relation till FWI-värdet vid larm. Resultat från ett scenariospel med insatsledare. FWI-värdet fanns tillgängligt, men efterfrågades inte av de flesta insatsledarna. Däremot gavs vid larm direkt en vädersituation (temperatur, luftfuktighet, vindstyrka och vindriktning) samt brandriskklass. För de fyra scenarierna var brandriskklassningen 3, 3, 4 och 5E. Tillsammans med respektive larm gavs också koordinater samt en topografisk karta över området.*

Likaså när det gällde resursdimensionering respektive taktik fanns ganska stora likheter mellan insatsledarna. Även om det i de flesta fall saknades uttalade scheman för första-insatsens dimensionering visade det sig att insatsstyrkan ökade linjärt med FWI-värdet som gällde vid respektive larm (Figur 7). Taktiken för de flesta insatser var att försöka nå in till brandplatsen med vatten från släckbil-tankbil, även om öppet vatten fanns i närheten. Ofta skisserade man att lägga begränsningslinjer på ett visst avstånd framför elden. I det ”värsta” scenariot föll man tillbaka när första-insatsen misslyckats och upprättade spärrlinjer längs vägar eller myrmark långt från branden, vilket gjorde insatsen sårbar för exempelvis en vindkantring. Vad gäller taktiken som användes vid detta scenario kan man dra en parallell till hanteringen av Salabranden 2014, som scenariot var modellerat efter vädermässigt.

I ett internationellt perspektiv är Sveriges skogsbrandförsvaret ganska unikt eftersom det nästan helt bygger på ganska små enheter, primärt designade för släckning av brand i byggnad. Detta förutsätter att första-insatsen verkligen förmår slå ner elden innan den hunnit nå någon större storlek, vilket idag är möjligt genom ett tätt vägnät och stort antal spridda brandstationer, som ger snabb kontakt med elden. Om den pågående avfolkningen av landsbygden i framtiden leder till svårigheter att upprätthålla stationstätheten i delar av landet är det troligt att detta kommer att avspeglas även i

skogsbrandstatistiken. Ett motdrag kan då bli att förstärka skogsbrandutbildningen och skapa enhetligare insatsplanering, liksom att ge bättre ledningsstöd från central nivå.

## 2.5 Brandriskindex

Alla existerande brandriskindex har som grundbult någon form av skattning av fuktkvoten i bränslet på marken. I det kanadensiska risksystemet, vilket används i Sverige idag, görs separata beräkningar av fuktkvoten i tre olika index, som motsvarar successivt djupare skikt i markens organiska del. Systemet utarbetades på 1970-talet och var designat för att vara enkelt att beräkna med så få ingångsvariabler som möjligt. Så tar det exempelvis inte någon hänsyn till fuktutbyte mellan de olika bränsleskikten, och inte heller till variationer i solinstrålning.

Vi gjorde en anpassning av en skiktad markfuktmodell (COUP) för att åstadkomma en mer dynamisk fuktmodellering av markbränslena. Modellen kalibrerades för fem skikt i skogsmark, där de tre översta gällde mossa/förna i vardera 2 cm skikt och de två understa humuslager om vardera 2 cm. Modellen gav en relativt god överensstämmelse med uppmätt fuktkvot. Vidare indikerar modellen att det förekommer en betydande uppåtriktad vattentransport mellan humuslagret och det övre mossa/förnagret när det senare är uttorkat, och att ungefär hälften beror på kapillär stigning och hälften på transport i ång-fas, särskilt under natt. Likaså sker det nattetid en återfuktning av ytbränslet via luften vid markytan, vilken också kunde simuleras av modellen.

Två intressanta nya observationer gjordes i samband med den upprepade provtagningen av markbränslen för den här studien. Dels visade det sig att den maximala vattenhållande förmågan varierar starkt med djupet i en mossdominerad bränslebädd. Det levande ytskiktet av mossa, som vanligen är drygt 2 cm tjockt, kan hålla så mycket vatten som 6 gånger sin egen vikt. Skikten därunder kan bara hålla maximalt tre gånger sin egen vikt, till följd av att mossbladen är döda (av egenskuggning) och inte längre kan hålla och innesluta vattendroppar så som de levande mossbladen gör. Maximal vattenlagring är en central variabel för brandriskindex. I det kanadensiska FFMC-indexet räknas till exempel med en maximal vattenhalt av bara 250% för ett övre skikt som viktmässigt motsvarar ungefär det levande översta skiktet av mossa. En enkel korrigering skulle vara att höja denna, eftersom svensk skogsmark nästan alltid är mossdominerad.

Den andra observationen var att återfuktning av undre delen av mossa/förnaskiktet samt av humuslagret inte skedde som förväntat. Nuvarande brandrisindex, exempelvis det kanadensiska DMC-indexet, förutsätter en homogen uppfuktning via allt vatten som sjunkit genom ytskiktet. Istället visade det sig att förna under nedbrytning och humus som torkat var hydrofob, vilket ledde till kanalisering av sjunkvatten i bestämda stråk ner genom markskikten. Med stor säkerhet beror det på att de svamparter som dominerar nedbrytningen i boreal skogsmark har hydrofoba hyfer. Mycket av regnvattnet kommer då att sjunka ner i mineraljorden utan att absorberas i markens

organiska skikt, vilket gör att bara en liten del av regnvattnet kommer att återfukta bränslebädden. Vanligen kanaliseras regnvattnet till små svackor där det kunde penetrera humuslagret, ofta via genomgående befintliga kanaler i humuslagret. Inte sällan kunde man se vatten stående i små fördjupningar i svampmycel-bemängd humus mer än en dag efter kraftiga regn. För att fullt vattenmätta undre delen av mossa/förna-skiktet och humusen krävs under sådana förhållanden flera på varandra följande regntillfällen. Förmodligen har detta fenomen mycket stor betydelse under torrsomrar och förhindrar en effektiv och ytmässigt jämn återfuktning av humuslagret. Här behövs mer analyser, men det är troligt att materialet blir hydrofobt först när det torkat under en viss nivå, vilket gör det till en utmaning att inkorporera fenomenet i en fuktmodell.

## 2.6 Framtidens brandväder

Prognoser för framtidens brandväder bygger på klimatmodeller vars viktigaste mål, när de utvecklades, var att ge bra skattningar av medeltemperatur och totalnederbörd. När det gäller vegetationsbränder är det dock centralt att man också får realistiska simuleringar av de nederbördsfria periodernas längd samt luftfuktighet och vindstyrka under dessa perioder, eftersom de variablerna har en mycket stor inverkan på bränslets fuktkvot och brandbeteendet, det vill säga det som sen skall avspeglas i brandriskindex.

Det har visat sig att standardmodellerna som används för klimatmodellering ger systematiska felkattningar när man kör modellerna för exempelvis det sena 1900-talet och jämför med observationsdata. Bland annat ger modellerna alldeles för många dagar med små nederbörds mängder, vilket direkt avspeglar sig i en underskattning av antalet riskdagar för vegetationsbrand. Projektet har därför velat skapa rutiner för korrigerings av klimatmodellernas utdata för att bättre avspegla verkliga förhållanden. I arbetet användes tre olika klimatmodeller, nerskalade till en upplösning av 12,5 x 12,5 km.

För att kompensera överskattningen av antal dagar med mycket lite nederbörd gjordes först en bortgallring av alla dagar med mindre nederbörd än ett visst tröskelvärde, kombinerat med en omskalning av frekvensfördelningen av övriga nederbördsdagar så att den ansluter till fördelningen av observerade dagliga nederbördsdata under testperioden. Liknande skalningar gjordes för relativ luftfuktighet och vind. Genom dessa omarbetningar av klimatmodellernas utdata blev det möjligt att få en väsentligt förbättrad passning mellan modellresultaten och verkligheten, vilket i nästa steg applicerades på modellresultat för olika framtidsscenarier.

När den här korrektionsmetoden användes på modellerade data för perioden 2071-2100 och brandriskindex beräknades på dessa data blev resultatet en förlängd brandsäsong i stora delar av landet jämfört med idag för två modeller, ett lägre antal riskdagar i norra Sverige och ett högre antal riskdagar i södra Sverige. Den "blötaste modellen" visade en generell sänkning av brandrisk för hela landet.

### 3. Vilka lärdomar kan man dra från projektet?

**Människan tänder!** Skogsbrand är en naturlig faktor i vår del av världen, men merparten av alla bränder och merparten av kostnaderna faller idag på bränder orsakade av människor och så kommer det med säkerhet att vara även i framtiden. Samtidigt är det av allt att döma få bränder som startats med ont uppsåt. Med andra ord borde flertalet bränder vara möjliga att undvika, förutsatt att folk förmår identifiera riskerna. Vad kan då göras för att ta åtminstone några steg i den riktningen? Vi fann att sannolikheten för brand ökar progressivt med FWI-värdet, vilket gör det angeläget att kommunicera det aktuella värdet till allmänheten. Eldningsförbud är av flera skäl ett mycket trubbigt instrument för brandprevention. Vanligen läggs dessa efter en längre tids torka, varför de sällan täcker upp exempelvis riskperioder tidigt på säsongen. Likaså får de oftast ligga kvar fram till mer betydande regn, även över dagar när det kan vara låg eller obefintlig risk. Med dagens kommunikationsredskap borde det vara möjligt att förmedla mer dynamiska dagsvarningar, för att markera verkliga riskdagar, primärt de potentiella brand-dagar då man samtidigt har riktigt låg luftfuktighet och ordentlig vind.

**Insatsrapporteringen måste förbättras.** En uppenbar brist är att mer än var tredje brand inte har en angiven orsak, vilket allvarligt försvårar det förebyggande arbetet. En enkel lathund för orsaksutredning kunde hjälpa upp situationen. Under arbetet fann vi brister inte bara i orsaksutredningen utan även i arealuppskattningen och koordinatangivelsen. För att ta ett exempel hittade vi en brand med angiven areal om 650 ha som i själva verket var mindre än en villatomt. Likaså föll många koordinater ute i Östersjön. I de flesta fall har man idag GPS med under uttryckningen, men överföringen till insatsblanketten ger många möjligheter till fel (olika koordinatsystem, felskrivning av siffror, hopblandning av x och y-koordinater). Man kan tänka sig ett automatiskt felsökningssystem för att sälla bort de flesta felen här. Samma sak med arealskattningen. Med en handhållen GPS är det idag enkelt att gå runt brandområdet och få en korrekt areal. Om detta inte är möjligt borde man istället få ange längd och bredd på det brunna området och sedan i blankettsystemet ha en automatisk arealberäkning med antagandet om elliptisk form på området (vilket vanligen ligger rätt nära sanningen). Det är för de flesta personer utan skoglig eller annan liknande utbildning omöjligt att direkt skatta arealer i terrängen och sen ange dem i kvadratmeter. Det är betydligt enklare att bedöma sträckor.

**Index och Säsong.** Grovt räknat omfattar brandsäsongen idag mellan 6 och 7 månader i sydligaste Sverige och mellan 4-5 månader i nordligaste. Man kan notera att starten av gräsbrandsäsongen respektive skogsbrandsäsongen inte skiljer sig dramatiskt, medan naturligtvis avslutet skiljer sig mycket. Det är lätt att underskatta riskerna tidigt på säsongen, inte minst på grund av att bränslebädden då har större andel förna som torkar ner mycket snabbt och i

sådana fall är FWI-index inte representativt. Här behövs ett ”gräsbrandindex” som inkorporerar både luftfuktigheten och vindstyrkan. Gräsbränder står för omkring hälften av alla insatser och är dessutom orsak till en försvarlig andel av de bränder som huvudsakligen berör skogsmark.

**Taktik.** Det överväldigande antalet utryckningar resulterar i en snabb och effektiv brandsläckning. Vår intervjuundersökning visade också att insatsledarna generellt förmår tolka normala brandsituationer väl och agera därefter. Mycket av detta förefaller dock vara tyst kunskap som bygger på tradition och erfarenhet. En enkel och tydlig instruktion/handledning för skogsbrandsläckning skulle kunna reducera risken för misstag, i synnerhet i samband med allvarliga bränder, för vilka de flesta insatsledare inte har någon erfarenhet.

**Framtiden?** Den förbättrade korrigeringen för nederbörd och luftfuktighet gjorde det möjligt att förutsäga framtida brandklimat med mycket större säkerhet. Det förefaller som om de skillnader inom landet som finns idag kommer att förstärkas under kommande decennier. Det kommer alltså att bli fler riskdagar i de områden som redan idag har flest riskdagar. Vi såg vidare att antal riskdagar korrelerar med antal bränder på regional nivå, men sett över hela landet kommer fler faktorer att spela in, inte minst befolkningstätheten. Här finns en paradox i att de glest befolkade delarna visserligen har färre bränder per ytenhet, men samtidigt kommer få allt få allt svårare att upprätthålla ett effektivt brandförsvar, om den nuvarande befolkningstrenden håller i sig och småningom resulterar i neddragning av antal brandstationer. Ett tänkbart motdrag kan då bli att satsa mer på tidiga insatser med helikopter, där ju avstånd betyder mindre. Ett effektivt skogsbrandförsvar är en förutsättning för skogsbruket i landet, men som LSO är skriven ligger kostnaderna för detta idag helt på kommunerna, där relativt lite av intäkterna från skogsbruket skattas. Markägarkollektivet skulle i framtiden kunna bidra både med kompetens och resurser för att stötta skogsbrandförsvaret.

## 4. Rapporter inom projektet

Francine Amon, Johan Sjöström, Lotta Vylund & Sabiha Fasth (2015)  
Climate impact on forest fire risk in Sweden.  
Fire and Materials conference, San Fransisco 2-4 Feb 2015.

Wei Yang, Marie Gardelin, Johan Olsson, & T. Bosshard (2015)  
Multi-variable bias correction: application of forest fire risk in present and future climate in Sweden.  
Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 2037–2057, 2015

Anders Granström, Lotta Vylund & Johan Sjöström (2016)  
Perception of wildfire behaviour and fire suppression tactics among Swedish incident commanders.  
Manuskript

Johan Sjöström & Anders Granström (2016)  
Distributions of Swedish wildfires 1996-2014: Spatial, temporal and weather patterns.  
Manuskript

Johan Sjöström & Anders Granström (2016)  
Geography of forest fire weather in Sweden.  
Manuskript.

