



Myndigheten för  
samhällsskydd  
och beredskap

FORSKNING/STUDIE

# Hur brinner skogen?

Initial kalibrering av den kanadensiska  
brandspridningsmodellen





## **Hur brinner skogen?**

Tidsperiod: 2022–2023

Utförare: RISE Research Institutes of Sweden

Ansvarig forskare/författare: Frida Vermina Plathner

Kort sammanfattning: Experimentella fältobservationer och skogsbrandsdata har sammanställts för att kalibrera den kanadensiska brandbeteendemodellen FBP till svenska förhållanden.

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

MSB:s Kontaktpersoner: Leif Sandahl 010-240 5312, Stefan Andersson, 010-240 5199

Foto omslag: Frida Vermina Plathner

Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB2355 – juni 2024

ISBN: 978-91-7927-497-9

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

# Innehåll

<b>Inledning</b>	<b>4</b>
<b>Metod</b>	<b>5</b>
Fire Behavior Prediction (FBP)	5
Brandväderindex (FWI)	6
Brandbeteendemodellering (FBP)	7
Experiment	8
Markbränslekonsumtion	8
Brandspridningsexperiment	9
Modellering	10
<b>Svenska bränslemodeller</b>	<b>11</b>
Bränslekonsumtion	12
Brandspridningshastighet	15
<b>Slutsats</b>	<b>18</b>
<b>Framtida forskning</b>	<b>19</b>
<b>Referenser</b>	<b>20</b>

# Inledning

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) tillhandahåller två webbaserade tjänster för att bedöma brandrisken i skog. Tjänsten *Brandrisk skog och mark* (SMHI, 2023) presenterar ett riskindexsystem (förutsättningar för brandspridning) som utgår från meteorologiska variabler. Tjänsten *Brandbränsleklassificering* (MSB, 2023) utgör ett kompletterande material, där brandbenägenheten i olika typer av vegetation presenteras. De brännbara klasserna är inbördes rangordnade, baserat på experterfarenhet.

De båda tjänsterna syftar tillsammans till att ge ett underlag för att bedöma skogens brandbenägenhet, men innehåller inte tillräckligt kalibrerad information för att uppskatta spridning. Om denna information hade funnits skulle detta ge möjlighet att både fördjupa det nuvarande förebyggande arbetet samt öka räddningstjänstens möjligheter att planera före det brinner och ge beslutsunderlag under en pågående brand. Att denna information saknas beror främst på att de brandspridningsmodeller som finns tillgängliga inte är anpassade för svenska bränslen.

Denna rapport sammanfattar resultaten av ett MSB-finansierat postdok-projekt, med syftet att förbättra brandbeteendemodellering under svenska förhållanden, dvs. för typiska skogsbestånd av tall, gran, asp, björk och ek. Ökad kunskap om svenska bränslen har skett genom bränsleinventering (Vermina Plathner et al., 2022, 2024) och fältexperiment (Vermina Plathner, 2024). Kalibrering av bränslemodeller bygger på dessa experiment, samt på väderlek och uppskattad brandspridning från ett fåtal svenska vildbränder.

# Metod

## Fire Behavior Prediction (FBP)

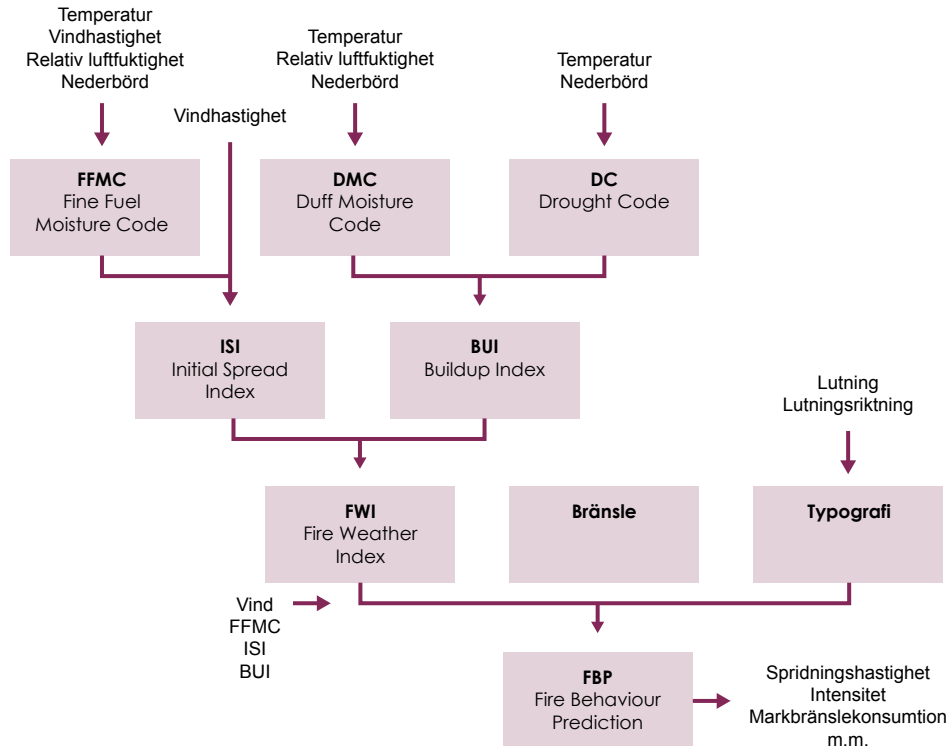
För att kunna hantera och förebygga stora skogsbränder i Kanada, utvecklades systemet Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) under sent 1900-tal. Två huvudkomponenter i CFFDRS är modellen för brandväderindex, Fire Weather Index (FWI), och modellen för brandbeteende, Fire Behavior Prediction (FBP) (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992; Van Wagner, 1987; Van Wagner & Pickett, 1985; Wotton et al., 2009).

Fire Behavior Prediction har fått stort genomslag hos räddningstjänst, naturvårdsbrännare och försäkringsbolag i det boreala Amerika, bland annat på grund av tillgången till digitala tjänster som bygger på systemet (se t.ex. [FireGrowthModel.ca](http://FireGrowthModel.ca)).

Fire Behavior Prediction har stor potential att kunna beskriva brandbeteende i Sverige, eftersom Sverige, precis som Kanada, ligger i det boreala bältet och därför har liknande typ av skogsbrandsbränsle. Dessutom är delar av det kanadensiska systemet redan implementerat i Sverige, vilket gör att räddningstjänst, skogsbruk och andra aktörer redan är bekanta med dess grunder.

Modellen är uppbyggd av väderindex, markens lutning och bränslemodeller, Figur 1.

**Figur 1.** Flödesschema över ingångsparametrar och beräknade index i den kanadensiska brandbeteendemodellen. Beräkning av Fire Weather Index (FWI) görs med hjälp av väderparametrar, medan Fire Behaviour Prediction (FBP) också innehåller marklutning och bränsledata.



## Brandväderindex (FWI)

I Sverige beräknas både dygnsvisa och timmesbaserade brandväderindex. Ingångsdata för att beräkna dessa index är temperatur, relativ luftfuktighet, vindhastighet på 10 m höjd över öppen yta och nederbörd. Tidpunkt för dygnsmodellens mätvärden är 12.00 UTC (alltså 14.00 svensk sommartid).

Initialt bedöms markfukt för tre markskikt djup, fältskikt undantaget. Dessa tre 'teoretiska' fuktkvoter benämns Fine Fuel Moisture Code (FFMC), Duff Moisture Code (DMC) och Drought Code (DC), Figur 1. Därefter beräknas en potentiell spridningshastighet, Initial Spread Index (ISI), baserat på vindhastighet och fuktinnehåll i översta marklagret (FFMC). Build-Up Index (BUI) är ett sammanräknat fuktindex för de två djupare marklagren (DMC och DC) och representerar hur djupt ner i marken bränslekonsumtion sker vid en brand. Slutligen beskriver Fire Weather Index (FWI) den potentiella brandens intensitet baserat på väderbaserad spridningshastighet (ISI) och markbränslekonsumtion (BUI).

## Brandbeteendemodellering (FBP)

I Fire Behavior Prediction korrigeras sedan den väderbaserade spridningshastigheten och markbränslekonsumtionen både efter vilken typ av skog som brinner och markens lutning, såsom framgår av Figur 1. För att kunna modellera markbrandsbeteende med den kanadensiska modellen behövs alltså ingångsparametrarna brandväderindex, vindhastighet och riktning, marklutning och bränsletyp.

Vad gäller bränsletypen – alltså vilken typ av skog som brinner – så har man till den kanadensiska modellen tagit fram sju bränslemodeller för barrskog, en bränslemodell för lövskog, fyra modeller för blandskog och tre modeller för avverkningsmaterial och stormfäld mark. Samtliga bränslemodeller beskriver marken under trädbestånd av annan art än de som är vanliga i Sverige.

Bränslet på marken varierar beroende på beståndstyp (typ och mängd av förnädfall, trädkronornas skuggningspotential mm.). Som exempel bryts ekens lövförna ner långsamt över flera år och markbränslet under ek utgörs således främst av relativt intakta eklöv. Dessa löv tenderar också att böjas vid torka, varpå en lucker bränslebädd skapas. Björklövens nedbrytningsprocess är däremot snabb, och löven är små och platta. Bränslebädden är därför grundare, samt varierar i struktur över året. Eftersom det är just markbränslets egenskaper som avgör hurvida en brand kan uppstå och sprida sig, finns det anledning att titta närmare på de ingående delarna i bränslemodellen.

### Markbränslekonsumtion (SFC)

Hur mycket bränsle som konsumeras vid en brand beror inte bara på hur mycket bränsle som finns, utan även på hur djupt ner i marken det är tillräckligt torrt för att brinna. I Fire Behavior Prediction -modellen representeras detta av ett empiriskt samband för hur stor torrmasa bränsle som konsumerats under olika värden för Build-up Index. För varje bränslemodell har kanadensiska experimentvärden anpassats av S-formade kurvor, beskrivna av bränslekonstanterna  $A$ ,  $B$  och  $C$ .

$$SFC = A(1 - e^{-B \times BUI})^C \quad \text{Ekvation (1)}$$

I ekvationen beskriver  $B$  och  $C$  hur snabbt bränslekonsumtionen närmar sig sitt maximala värde (allt tillgängligt markbränsle) då BUI ökar, medan  $A$  beskriver hur stort detta maximala värde är.

### Initial brandspridningshastighet (RSI)

För att undersöka hur markbranden beter sig då brandspridningen uppnått jämviktshastighet beräknar man den initiala spridningshastigheten (RSI). I FBP-modellen representeras även denna variabel av tre empiriskt sammanställda korrelationskoefficienter för hur ISI påverkar RSI, nämligen  $a$ ,  $b$  och  $c$ .

$$RSI = a(1 - e^{-b \times ISI})^c \quad \text{Ekvation (2)}$$

## Experiment

På 65 platser runtom i Sverige utfördes experimentbränningar i fält för att kunna kalibrera FBP-modellen med avseende på de ovan nämnda ekvationerna. I fältexperimenten uppmättes mängden konsumerat bränsle och spridningshastighet i olika bränsletyper, vid olika väderlek.

### Markbränslekonsumtion

Experimentellt anges mängden bränsle på en plats i vikt per ytenhet efter att ha ugnstorkats 12 timmar i 105 °C.

Precis som FBP-modellen indikerar finns det en viktig skillnad mellan mängden *tillgängligt* bränsle och mängden *konsumerat* bränsle. I bränslebädden finns nämligen en fuktgradient där det torraste bränslet (förutsatt att det inte har regnat) ligger högst upp och blir fuktigare ju längre ner man kommer. Vid ett visst djup är bränslebädden för fuktig för att brinna i den initiala branden, även om den mycket väl kan torka ut, både av att den blir blottlagd och av värmen från initialbranden för att sedan brinna.

Innan varje experimentbränning placerades stålpinningar med 90° vinkel ner i marken, med översta vinkeln vilandes på toppen av bränslebädden. Efter varje försök uppmättes avståndet mellan kvarvarande bränsle och pinnens topp, dvs avbrunnet djup, så som visas i Figur 2. Konsumerad bränslemängd beräknades sedan via bränslets (torr)densitet.

**Figur 2.** 90-graders vinklad stålpinne för uppskattning av avbränt djup. Till vänster: Stålpinnens position i obränd mark. Till höger: Stålpinnens position i bränd mark. Bränsledjupet uppmättes som avståndet från den brända marken till den ursprungliga höjden för mossans övre del.





## Brandspridningsexperiment

Vid fältexperimenten uppmättes också spridningshastighet och flamlängd i medvind. Före varje experiment placerades bambustavar ut parvis med ett mellanrum på 3 m, genom vilka flamfronten skulle löpa, Figur 3. Avståndet mellan varje stavpar sattes till 1-5 m, beroende på förväntad spridningshastighet. Platsens karaktär loggades, t.ex. markens lutning, koordinater, trädslag och trädens grundyta. Antändning av en 3-10 m linje utfördes med en droppkanna och vädret på plats uppmättes varannan sekund med en handhållen väderstation.

En omräkningsfaktor för vind behövs eftersom experimentellt uppmätt vindhastighet på cirka 2 m höjd inne i skogsbestånd skiljer sig från SMHI:s vind på 10 m höjd över öppen yta. Omräkningsfaktorn mot synoptiska väderobservationer har uppmätts till 0.27 i tall, 0.24 i gran (Sjöström & Granström, 2024). Vad gäller fältmätningar och vildbränder har interpolerade väderdata använts. Omräkningsfaktorn för tall och gran har då antagits vara samma som vid öppna väderstationer och omräkningsfaktorn för lövbestånd har antagits vara 0.25.

**Figur 3.** Avståndsmarkeringar i bambu för uppmätning av spridningshastighet, uppställda strax innan påbörjat experiment i tallskog.



## Modellering

Kalibrering av bränslekonstanter utfördes i Matlab, där en första gissning av parametervärden baserades på de kanadensiska bränslemodellerna. Skillnaden mellan modellerade och experimentella värden minimerades sedan genom att med en genetisk algoritm justera bränslekonstanternas värden.

Eftersom fältexperiment inte har kunnat utföras under så pass extrem torka eller stark vind att bränderna har spridits snabbt eller kunnat gå upp i krona, har skogsbrandsdata från ett fåtal platser i Sverige använts som komplement till de utförda fältexperimenten. De observerade spridningshastigheterna i Tabell 1 är approximativa och tillhörande brandväderindex bygger på griddade interpolerade väderdata (Muñoz-Sabater et al., 2021; SMHI, 2024). I tabellen har enbart spridningshastigheter tagits med där flamfronten fått sprida sig relativt ostört från påverkan av räddningstjänstens släckförsök.

**Tabell 1.** Spridningshastighet och brandväderindex för ett fåtal svenska vildbränder i barrskog. Spridningshastigheter för bränderna 2014 och 2018 är uppskattade av Granström (2020; MSB, 2015). Spridningshastighet och bedömning av bränsletyp i Finsjöbranden har approximerats med hjälp av räddningstjänstens hjälmkameror.

Brand	Datum	Spridningshastighet (m/min)	FFMC	BUI	ISI
Finsjö	2021-06-18	4.5	93	98	15
Trängslet	2018-07-17	13	92	73	8
Fågelsjö <sup>1</sup>	2018-07-17	15	91	73	9
Enskogen	2018-07-16	16	93	101	10
Nötberget	2018-07-18	5	92	120	12
Brattsjö <sup>2</sup>	2018-07-18	20	94	123	13
Västmanland <sup>3</sup>	2014-08-04	43	90	34	15
Västmanland	2014-08-04	80	93	34	26

1. Detta marktäckte är något avvikande, då skogen utgjordes av Contorta-tall.

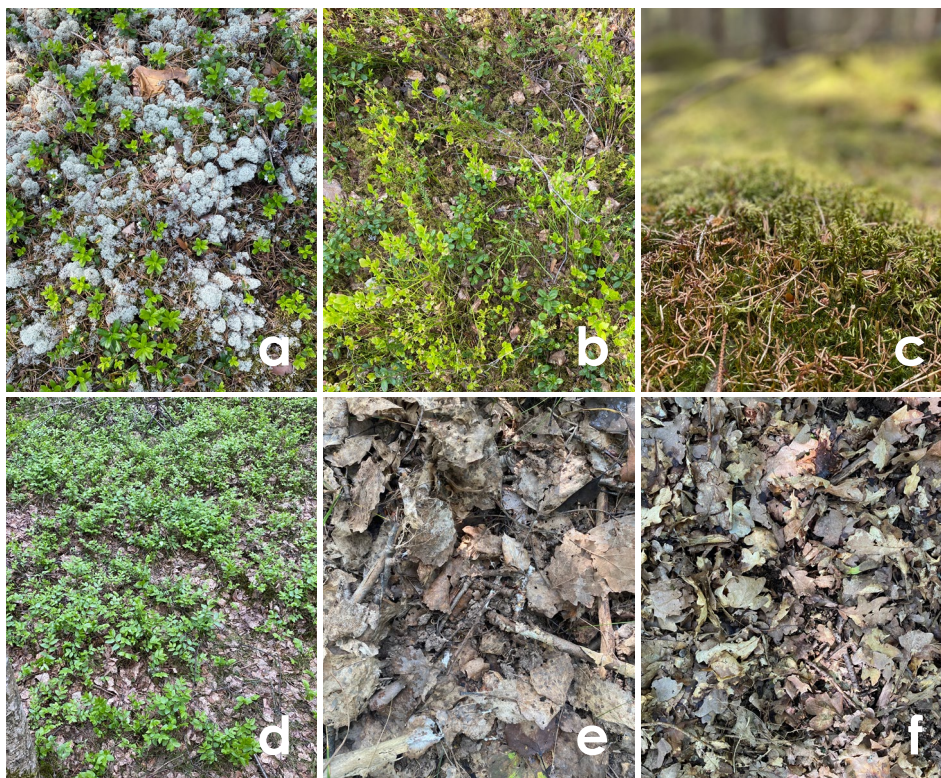
2. Detta marktäckte är något avvikande, då det är avverkad, men ej marktberedd mark, med hyggesrester på marken.

3. Två datapunkter för samma eftermiddag i Västmanlandsbranden finns, eftersom värden för ISI och RSI skiljer sig så markant åt.

# Svenska bränslemodeller

Denna studie fokuserade på bränslebädden hos ett fåtal typiska bränslen under slutna trädbestånd, vilka ses i Figur 4.

**Figur 4.** Marktäcke under (a) Tall med ett fältskikt av lingon, (b) tall med ett fältskikt av blåbär, (c) gran, (d) björk, (e) asp, och (f) ek. Det primära bränslet i barrskog utgörs av mossa, medan det i lövbestånd främst består av lövförna.



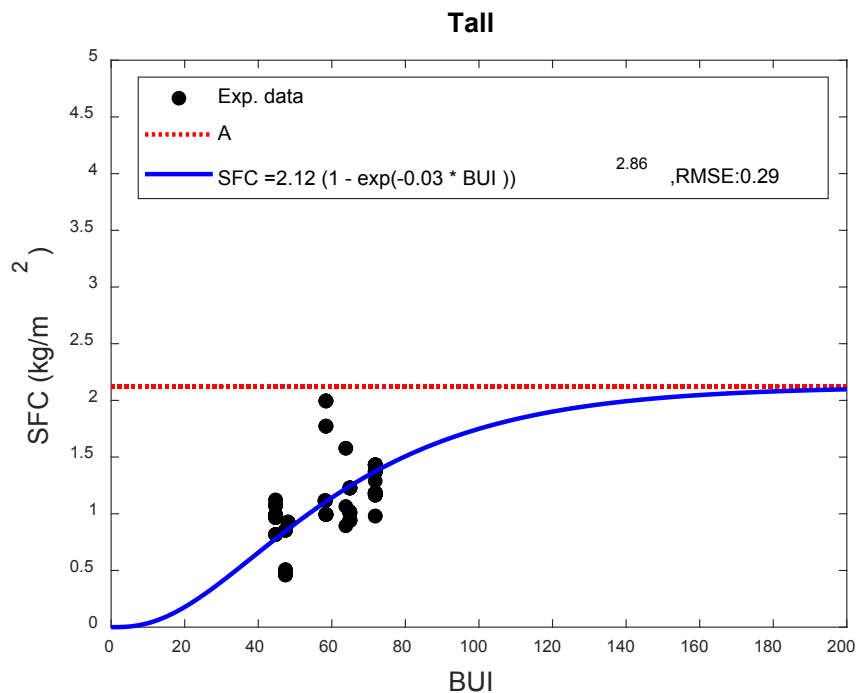


## Bränslekonsumtion

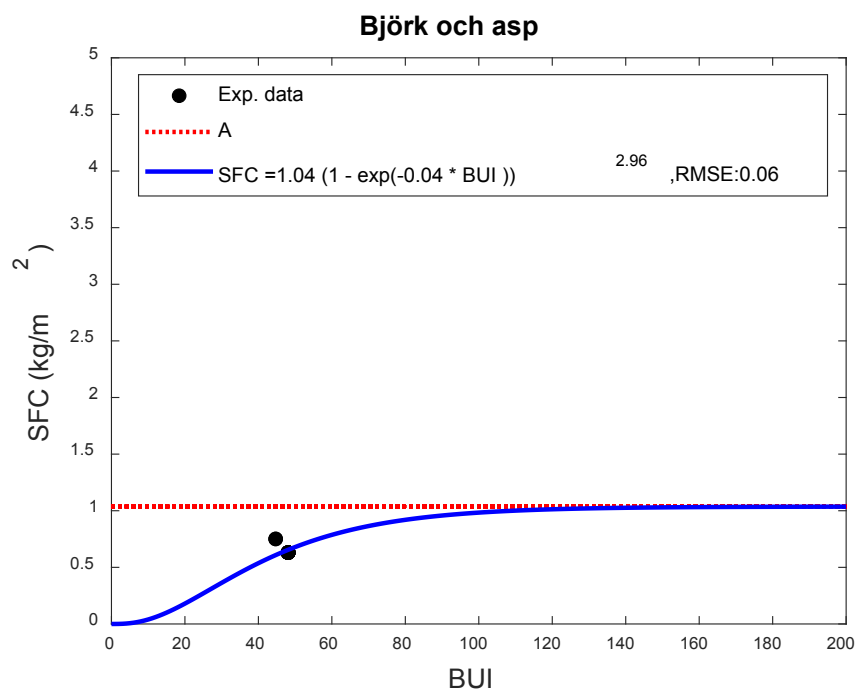
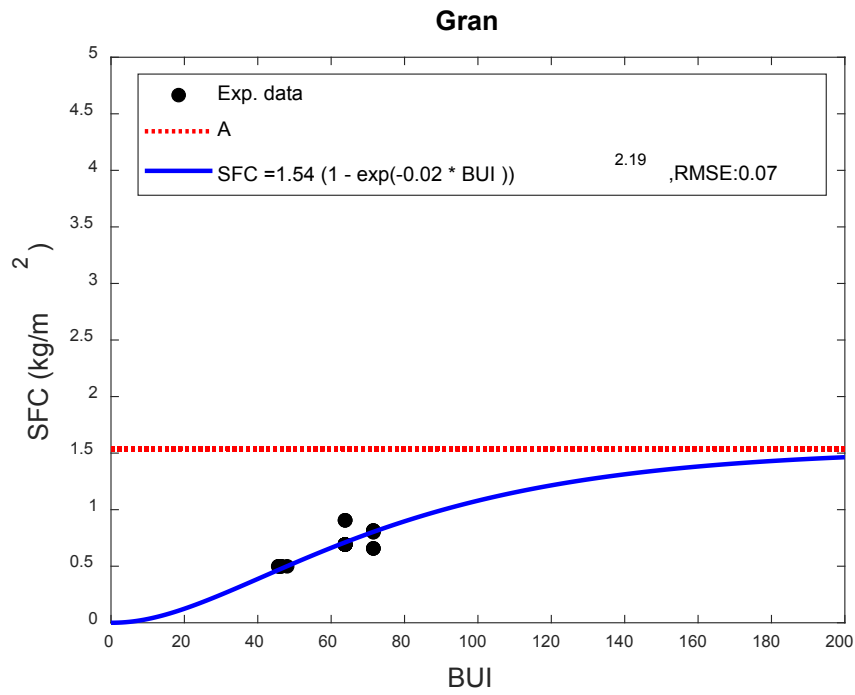
Överlag förbrukas inte lika mycket markbränsle i svenska bränder som de kanadensiska bränslemodellerna antyder (dvs. upp till 5 kg/m<sup>2</sup>). Efter att flamfronten har passerat kan givetvis efterförbränning ske ner på djupet i humusen men det har en obetydlig inverkan på hur snabbt och intensivt branden sprids. Skillnaden i uppmätt bränslemängd kan till viss del tillskrivas bristen på ungträd i fullvuxen svensk produktionsskog.

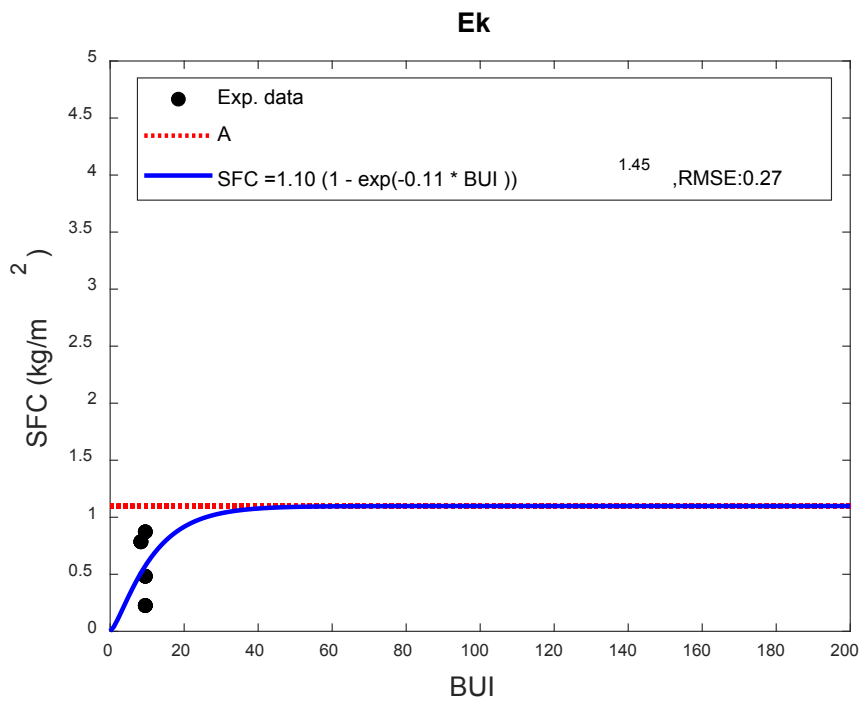
Inför kalibrering sattes ett övre gränsvärde för markbränslekonsumtion till den experimentellt högst uppmätta mängden tillgängligt bränsle, undantagen humus. Detta maxvärde utgörs av , ritad som en röd asymptot i Figur 5. Svarta prickar i Figur 5 visar fördelning av konsumerat markbränsle (SFC). För att få fler punkter i kalibreringen grupperades björkbestånd med asp. Den heldragna blå linjen är anpassad både utifrån experimentdata och det övre gränsvärdet.

**Figur 5.** Flamfrontens bränslekonsumtion per ytenhet (SFC), angivet i kg/m<sup>2</sup>, vid olika grader av uttorkning (BUI). Experimentella data visas som svarta punkter och anpassad funktion är blå. Bränslekonsumtionen ökar med ett ökande BUI. I tall uppnås högre bränslekonsumtion än i andra bestånd vid höga BUI-värden.







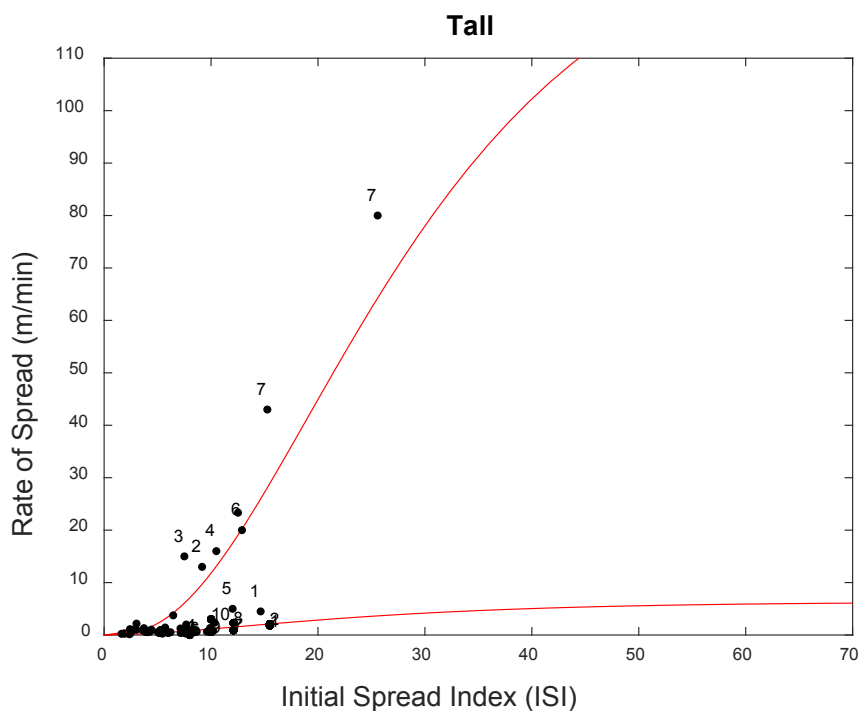


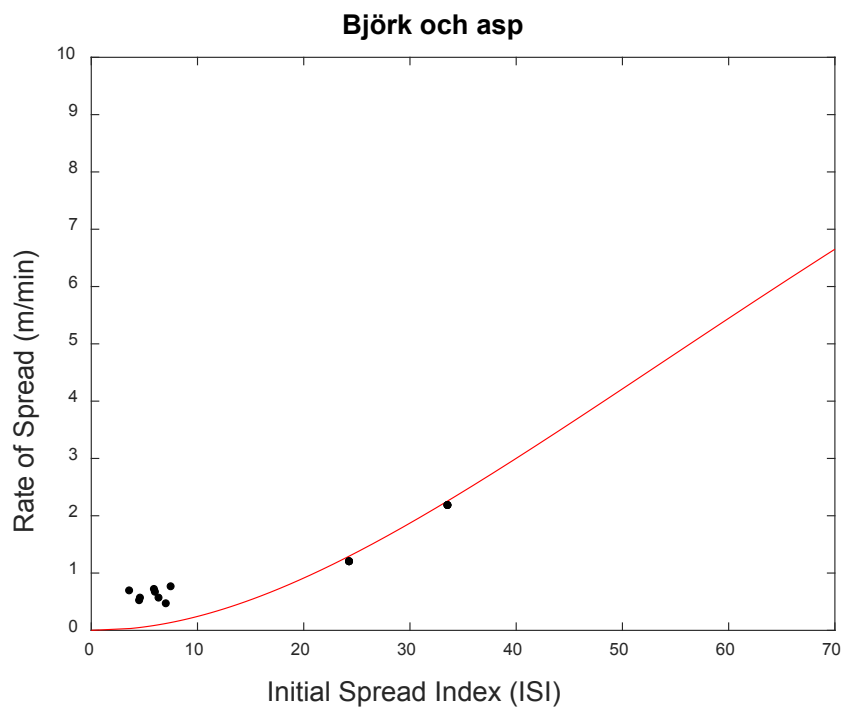
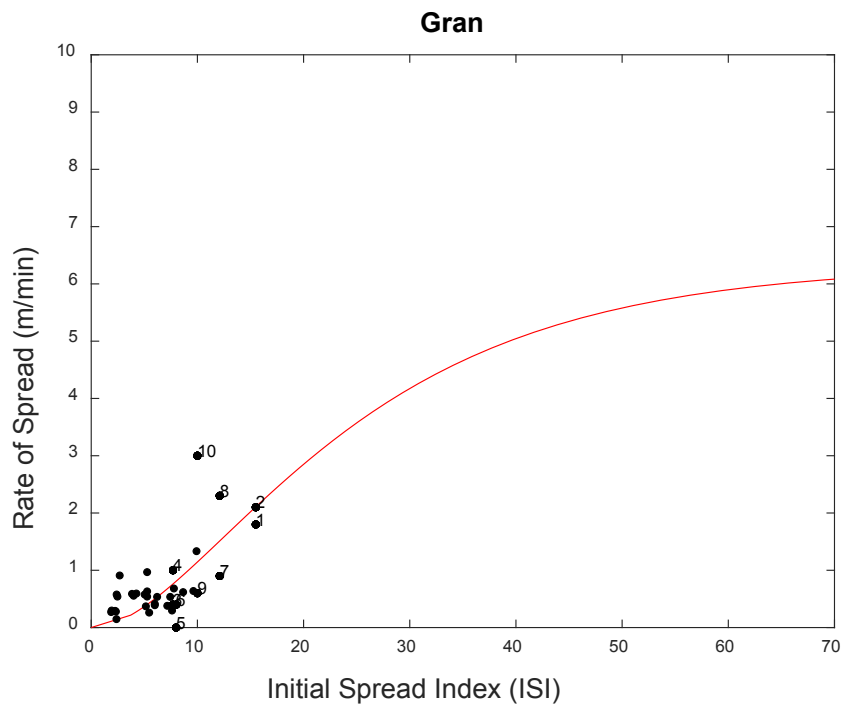
## Brandspridningshastighet

I Figur 6 ses kalibrerade kurvor för brandspridningshastighet. Skogsbranddata från Tabell 1 har använts för tallbestånd, där den prickade kalibreringslinjen illustrerar kalibreringsresultatet om data från Västmanlandsbranden tas med. Två trender för tall skulle möjligtvis kunna framträda med mer data, där den ena utgörs av snabb brandspridning enligt skogsbrandspunkterna 2-4 och 6-7 och den andra av en något lägre brandspridning (punkt 1 och 5).

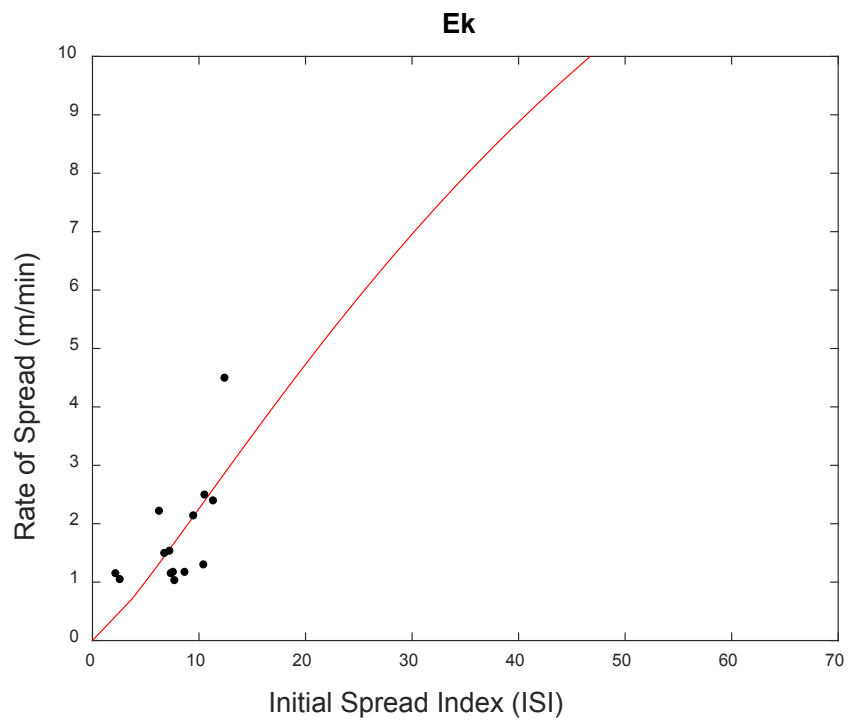
Skogsbranddata för snabb spridning i granbestånd saknas. I Figur 6 indikeras låga spridningshastigheter i granbestånd även vid höga ISI-värden. Gran är dock inte en brandhämmande art, vilket är tydligt i fältobservationer, där en frekvent förekomst är toppbrand i kjolgran inuti tallbestånd.

**Figur 6.** Flamfrontens spridningshastighet (RSI) under olika vind- och uttorkningsförhållanden (ISI). Experiment och branddata visas som svarta punkter och anpassningarna visas som heldragna röda linjer. Siffrorna för kalibrering av tall anger vilken skogsbrand det rör sig om: (1) Finsjö år 2021, (2) Trängslet, (3) Fågelsjö, (4) Enskogen, (5) Nötberget och (6) Brattsjö år 2018 och (7) Västmanland år 2014. Numrerade punkter för gran anger värden från Granstöm och Schimmel (1998). Spridningshastigheten ökar inledningsvis exponentiellt med ökande ISI. Vid höga ISI-värden sker ökningen långsammare.









# Slutsats

Värden för initialt kalibrerade svenska bränslemodeller ses i Tabell 2. Bränslemodellerna är kalibrerade efter både fältexperiment och vildbränder.

**Tabell 2.** Anpassningsparametrar till svenska bränslemodeller i FBP-systemet

Bränslemodell	Vindfaktor	Bränslekonsumtion (SFC)			Spridningshastighet (RSI)		
		A	B	C	a	b	c
Tall	0.27	2.1	.032	3.7	140 119 <sup>a</sup>	.058 .020 <sup>a</sup>	3.0 1.61 <sup>a</sup>
Gran	0.24	1.5	.019	2.2	6.3	.06	2.0
Björk/asp	0.25	1.0	.040	3.0	18	.014	2.11
Ek	0.25	1.1	.16	2.8	18	.021	1.25

a) Kalibreringsvärden för tall utan att Västmanlandsbranden är medräknad.

# Framtida forskning

Förslag på hur kalibrering kan förbättras i framtiden:

- Fler mätningar på hur stark vindinbromsningen är beroende på beståndstyp och slutenhet.
- Kalibrering mot både SMHI:s väderstationsdata och interpolerade data. Interpolerad vind kommer inte upp i samma styrkor som observerad vind.
- Fler bränningar med en initialt bred flamfront (~20 m). Jämviktshastigheter uppnås tillsynes med en smal antändningslinje (~3 m) i svårbrända bestånd och i tallbestånd när vindstyrkan är låg. Vid en högre vindhastighet verkar dock brandens intensitet och spridningshastighet att vara mer beroende av antändningslinjens bredd. Merparten av denna studies experiment kan användas som (1) relativa jämförelser mellan brandbeteende i skogsbestånd under mild brandrisk, (2) för kalibrering av bränslemodeller tillsammans med skogsbranddata, och (3) bränslekonsumtionsförhållanden.
- Fler bränningar i lövträdsbestånd (och blandbestånd) vid hög ISI. Mark under ekbestånd kan brinna både snabbt och intensivt till skillnad från björk och asp. Naturvårdsbränningar sker dock framför allt i tallbestånd, där inslag av gran och björk kan förekomma. I bland annat Kalmar län har naturvårdsbränning skett i björk, asp- och ekbestånd. Det vore mycket värdefullt för framtida kalibreringar och förebyggandearbete att samarbeta mer med Länsstyrelsen kring dessa bestånd.
- Fältobservationer indikerar att tallbestånd av lingonkaraktär brinner mer intensivt än tall med mark av blåbärskaraktär. Fler experiment behövs dock för att kunna särskilja dessa på ett statistiskt signifikant vis. Ytterligare en typ av tallbestånd är av intresse, dvs tall med ett fältskikt av ljunng. Denna beståndstyp brinner på ett sätt liknande ljunghedsbrand, men med en vindinbromsningseffekt av ett vanligt tallbestånd.
- Experiment eller skogsbrandsdata i unga barrbestånd. Detta är inte något som bränns i naturvårdsbränningar, men data till brandspridningsmodeller saknas.
- Mer data från ”ostörda” skogsbrandsflamfronter skulle ge en bättre anpassning av den övre delen av spridningskurvan.

# Referenser

Forestry Canada Fire Danger Group. (1992). *Development and structure of the canadian forest fire behavior prediction system* (Information Report ST-X-3). S. a. S. D. Directorate.

Granström, A. (2020). *Brandsommaren 2018—Vad hände, och varför?* (MSB1496). S. C. C. Agency. <https://rib.msb.se/filer/pdf/29059.pdf>

Granström, A., & Schimmel, J. (1998). *Utvärdering av det kanadensiska brandrisksystemet: testbränningar och uttorkningsanalyser*. Räddningsverket.

MSB. (2015). *Observatörsrapport. Skogsbranden i Västmanland 2014*. [The Forest Fire in Västmanland 2014. Observer Report] (MSB798).

MSB. (2023). *Brandbränsleklassificering* [Map]. <https://www.msb.se/sv/verktyg--tjanster/brandbransleklassificering/>

Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C., & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth Syst. Sci. Data*, 13(9), 4349-4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>

Sjöström, J., & Granström, A. (2024). Skogsbeståndens inbromsande effekt på öppen vindhastighet (opublicerad).

SMHI. (2023). *Brandrisk skog och mark* [Data Set]. <https://www.smhi.se/brandrisk>

SMHI. (2024). *SMHI Open Data API Docs - Fire risk analysis* [Data Set]. <https://opendata.smhi.se/apidocs/fireriskanalysis/>

Van Wagner, C. (1987). *Development and structure of the Canadian forest fire weather index system* (Vol. 35).

Van Wagner, C., & Pickett, T. (1985). *Equations and FORTRAN program for the Canadian forest fire weather index system* (Vol. 33).

Vermina Plathner, F. (2024). Fire behaviour of the European boreal. *Manuscript in writing*.

Vermina Plathner, F., Sjöström, J., & Granström, A. (2022). Influence of tree species on surface fuel structure in Swedish forests. In D. X. Viegas & L. M. Ribeiro (Eds.), *Advances in Forest Fire Research 2022* (pp. 1157-1166). University of Coimbra Press. <https://doi.org/10.14195/978-989-26-2298-9> 176



Vermina Plathner, F., Sjöström, J., & Granström, A. (2024, 2024-04-15 – 2024-04-19). *The effect on surface fuels by broadleaf inclusion in boreal European coniferous forest* Accepted for: 7th Fire Behaviour & Fuels conference, Boise, Idaho.

Wotton, B. M., Alexander, M. E., & Taylor, S. W. (2009). *Updates and revisions to the 1992 Canadian forest fire behavior prediction system*. Great Lakes Forestry Centre Sault Ste. Marie, ON, Canada.



Myndigheten för  
samhällsskydd  
och beredskap