

Fördjupningsstudie: Canadian Forest Fire Behavior Prediction System

Christian Jönsson

Johan Linåker

**Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety
Lund University, Sweden**

**Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet**

Report 5348, Lund 2010

**Fördjupningsstudie:
Canadian Forest Fire Behavior Prediction System**

**Christian Jönsson
Johan Linåker**

Lund 2010

Titel

Fördjupningsstudie: Canadian Forest Fire Behavior Prediction System

Title

Deep study: Canadian Forest Fire Behavior Prediction System

Författare

Christian Jönsson

Johan Linåker

Report 5348

ISSN: 1402-3504

ISRN: LUTVDG/TVBB--5348--SE

Number of pages: 90

Illustrations: Christian Jönsson and Johan Linåker where nothing else is stated.

Keywords

Fire behavior prediction (FBP), Fire weather index (FWI), Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS), Wildland fire, Advanced Wildland Fire Behavior.

Sökord

Fire behavior prediction (FBP), Fire weather index (FWI), Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS), Wildland fire, Advanced Wildland Fire Behavior, brandbeteendemodell, brandväderindex, brandriskprognos.

Abstract

This thesis comprises a review of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (FBP) with the aim to introduce its main structure, function, limitations and operational features to the Swedish wildland fire community. In short, FBP is a system with which simulations can be made to predict the behavior of wildland fires. FBP has many areas of application, among others as a decision support tool for operational use. To gain a better understanding for the FBP, the authors attended the Advanced Wildland Fire Behavior Course taught by the Canadian Interagency Forest Fire Centre at Maritime College of Forest Technology in Fredericton, NB, Canada during the period 23rd to 29th of September 2010. This course aims to teach the basics of wildland fires and the FBP to professionals from all over Canada. An investigation has also been conducted in order to find out what is needed in order to implement a Swedish version of the FBP. This involved a survey amongst a small segment of the Swedish fire departments. The results showed a positive attitude towards the system. A comparative study with New Zealand, who has implemented their own version of FBP, was made in order to map out factors critical to the initial stage of an implementation. An interview with Dr. Marty Alexander, at the Canadian Forest Service, provided further knowledge. The thesis concludes that the FBP is used with great success all across Canada and, without considering costs versus benefits, that the prospects for an implementation in Sweden look good.

Författarna ansvarar för innehållet i rapporten.

© Copyright: Brandteknik och Riskhantering, Lunds tekniska högskola, Lunds universitet, Lund 2010.

Brandteknik och Riskhantering
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 Lund

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se>

Telefon: 046 - 222 73 60
Telefax: 046 - 222 46 12

Department of Fire Safety Engineering
and Systems Safety
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden

brand@brand.lth.se
<http://www.brand.lth.se/english>

Telephone: +46 46 222 73 60
Fax: +46 46 222 46 12

Sammanfattning

I Kanada inträffar årligen ett stort antal omfattande skogsbränder. För att kunna förebygga och hantera dessa används ett system vid namn Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS). Två huvudkomponenter i detta system är brandväderindexet Fire Weather Index (FWI) och brandbeteendemodellen Fire Behavior Prediction (FBP). Under 90-talet infördes FWI-systemet i Sverige av SMHI och sedan år 2001 kan svenska räddningstjänster få prognoser genom det internetbaserade systemet Brandrisk skog och mark.

Huvudmålet med examensarbetet var att utföra en fördjupad studie av FBP samt att identifiera kritiska faktorer för en eventuell implementering av modellen i Sverige. Ett delmål var även att visa hur de svenska räddningstjänsterna ser på behovet av en brandbeteendemodell.

Författarna har, i syftet att skapa en bättre förståelse för CFFDRS och dess ingående komponenter, deltagit i en sex dagar lång kurs vid namn Advanced Wildland Fire Behavior. Kursen gavs vid Maritime College of Forest Technology i Fredericton, NB, Kanada, av organisationen Canadian Interagency Forest Fire Centre (CIFFC). Kursen gav även förståelse för hur FWI samt FBP kan användas, både förebyggande och operativt.

Kort beskrivet är FBP en empirisk brandbeteendemodell som bygger på statistik och dokumentation från testbränningar och naturliga bränder. Fysiska resonemang har endast förekommit i begränsad mängd vid formulerandet av de samband och korrelationer som utgör modellen. Detta medför att den endast är giltig i de situationer där förhållandena, exempelvis vegetation, klimat och latitud, kan liknas vid det statistiska underlaget. Höga krav ställs därför på att användaren känner till modellens bakgrund, förutsättningar, antaganden och begränsningar.

FBP sammanväger faktorer som väder, vegetation och topografi och ger användaren kvantitativa mått på exempelvis brandens spridningshastighet, intensitet och omfattning. Dessa kan sedan utgöra beslutsunderlag operativt. Då modellen har en empirisk grund ska den endast ses som ett komplement till personlig erfarenhet och på platsen upplevda förhållanden.

Genom en enkätundersökning har utvalda svenska räddningstjänster, efter att ha fått en kort beskrivning av FBP, bland annat svarat på frågan om det finns ett operativt behov för ett liknande system. Resultatet av undersökningen visar att en majoritet av de tillfrågade räddningstjänsterna är positivt inställda till ett system liknande FBP i Sverige.

Identifieringen av kritiska faktorer för en eventuell implementering i Sverige genomfördes i två steg. Först undersöktes implementeringsprocessen av FBP i Nya Zeeland. Landet har sedan år 1992 utvecklat en egen version av den kanadensiska modellen. Därefter gjordes en kompletterande intervju med dr Marty Alexander, verksam vid Canadian Forest Service och en av huvud-

personerna bakom FPB. Några av de mest kritiska faktorerna som framkom av identifieringsarbetet är:

- Skapandet av en central organisation som har huvudansvaret och koordinerar arbetet.
- Rekrytering av personer med lämplig bakgrund, exempelvis inom räddningstjänst, skogsbruk, fysik, meteorologi och matematik.
- Kartering av Sveriges vegetation och identifiering av de vanligast förekommande vegetationstyperna.
- Identifiering av vilka befintliga bränsletyper i FBP som har en lämplig motsvarighet inom den svenska vegetationen.
- Utveckling av nya bränsletyper baserat på utvalda vegetationstyper.
- Inhämtning av information från naturliga bränder.

I rapporten konstateras att FBP är väl beprövat och har, under två decennier, tillämpats med gott resultat inom hela Kanada. Modellen utvecklas och valideras kontinuerligt i takt med att klimatet förändras och nya upptäckter görs. Operativt utgör modellen ett utmärkt beslutsunderlag vid planering och beslutsfattande.

Arbetet kan sammanfattas med att det finns goda förutsättningar, både tekniskt och behovsmässigt, för att implementera en svensk version av FBP. Det ska dock nämnas att denna rapport inte har tagit hänsyn till någon avvägning mellan de kostnads- och nyttoeffekter som en implementering medför.

Summary

Every year, a large number of wildland fires occur in Canada. In order to prevent and manage these fires, a system called the Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) has been created. Two main components of this system are the Fire Weather Index (FWI) and the Fire Behavior Prediction model (FBP). In the 1990s, the FWI system was introduced in Sweden by SMHI (Swedish Metrological and Hydrological Institute) and in 2001, Swedish rescue services began to receive fire weather forecasts through the Internet-based system *Brandrisk skog och mark*.

The main objective of this thesis is to perform an in-depth study of the FBP and to identify factors critical to the implementation of the model in Sweden. A secondary objective is to present how the Swedish rescue services perceive the need for a fire behavior model.

In order to create a better understanding for the CFFDRS and its different elements, the authors participated in a six-day course called Advanced Wildland Fire Behavior. This course is arranged by the Canadian Interagency Forest Fire Centre (CIFFC), and was held at the Maritime College of Forest Technology in Fredericton, NB, Canada. Furthermore, it provided an understanding of how the FWI and the FBP can be used, both preventive and operational.

In short, the FBP is an empirical fire behavior model based on statistics and documentation of experiments and natural fires. Theoretical reasoning has only been used to a limited extent when formulating the relationships and correlations that constitute the model. This means that the model is only valid in situations where conditions such as vegetation, climate and latitude, can be compared to the statistical data. High demands are therefore imposed on the user to know the model's background, circumstances, assumptions and limitations.

By providing FBP with data such as weather, vegetation and topography, the user can obtain quantitative measures such as rate of spread, intensity and extent. This information can then be used to aid with operational decisions. Since the model has an empirical basis, it should be regarded only as an additional source of information; the user should also use his or her personal experience and actual impressions to paint a complete picture of how the fire might behave.

An inquiry was sent out to a selection of Swedish rescue services. After receiving a short briefing on the FBP, they were asked if they saw an operational need for a similar system in Sweden. The results of the survey show that a majority of respondents acknowledged this.

The identification of factors critical to a possible deployment in Sweden was conducted in two stages. First, the implementation process of the FBP in New Zealand was examined. Since 1992, the country has developed its own version of the Canadian model. In a secondary stage, an interview was conducted with Dr. Marty Alexander, who works at the Canadian Forest Service and is one of the key figures behind the FBP. Some factors that emerged from the identification process are:

- The creation of a central organization that has main responsibility and coordinates the work.
- Recruitment of people with appropriate backgrounds, e.g. emergency services, forestry, physics and mathematics.
- Mapping of the vegetation and identification of the most common vegetation types.
- Identification of existing “fuel types” in FBP that have appropriate counterparts in the Swedish vegetation.
- Creation of new “fuel types” based on selected types of the Swedish vegetation.
- Data collection from natural fires.

The report notes that FBP is well validated and has, for over two decades, successfully been applied throughout Canada. The model is developed and validated continuously as the climate changes and new discoveries are made. Operationally, the model provides excellent support with planning and decision making.

The report concludes that there is a demand for the FBP in Sweden, and that the technical prospects for such an implementation are good. The analysis of costs and benefits has not been taken into account.

Förord


Denna rapport är resultatet av det examensarbete som avslutar utbildningen för brandingenjörer vid Lunds Tekniska Högskola. Examensarbetet omfattar 22,5 högskolepoäng och har genomförts vid avdelningen för Brandteknik och Riskhantering.

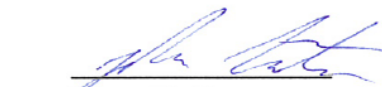
Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare; Rickard Hansen, Brandingenjör MSB, Annie Johansson, Jägmästare Kyllesjö Skog, och Robert Jönsson, Universitetslektor och avdelningschef för Brandteknik och Riskhantering, LTH.

Vid sidan om handledarnas insats har Johan Östberg, doktorand vid SLU i Alnarp och Lina Johansson, doktorand på avdelningen för Produktionsekonomi vid LTH bidragit med värdefulla synpunkter på rapporten.

Ett varmt tack riktas till Josefin Gullstrand, Brandingenjör på MSB, som har stöttat oss under arbetets gång. Vi vill även nämna Dr. Marty Alexander, Senior Fire Behavior Research Officer på The Canadian Forest Service, vars bidrag har varit av stor betydelse.

Lund, december 2010


Christian Jönsson


Johan Linåker

Innehållsförteckning

1.	Inledning.....	1
1.1.	Bakgrund.....	1
1.2.	Syfte	1
1.3.	Mål	1
1.4.	Problemställning	2
1.5.	Metod	2
1.5.1.	Allmän bakgrundsteori	2
1.5.2.	CFFDRS	2
1.5.3.	Implementeringsmöjligheter av FBP i Sverige.....	2
1.6.	Kursbeskrivning.....	3
1.6.1.	CIFFC	3
1.6.2.	Syfte och mål med kursen	4
1.6.3.	Kursupplägg	4
1.7.	Disposition	5
1.8.	Avgränsningar	6
2.	Vegetationen	7
2.1.	Skogsbrand och miljö.....	7
2.2.	Den boreala zonen	8
2.3.	Sveriges skog och mark.....	8
2.4.	Kanadas skog och mark.....	10
3.	Skogsbranden.....	12
3.1.	Meteorologi.....	12
3.1.1.	Luftfuktighet	12
3.1.2.	Temperatur.....	12
3.1.3.	Nederbörd	12
3.1.4.	Vind.....	12
3.1.5.	Stabilitetsklass	13
3.2.	Bränsle	14
3.2.1.	Storlek och karaktär	14
3.2.2.	Bränslets fukthalt.....	14
3.2.3.	Mängden bränsle	15

3.2.4.	Kontinuitet	15
3.2.5.	Typ av skog	15
3.3.	Topografi	15
3.4.	Brandförlopp	16
3.4.1.	Brandintensitet och spridningshastighet	16
3.4.2.	Typ av brandspridning	16
4.	Modeller för brandbeteende	17
4.1.	Bakgrund	17
4.2.	Fysiska modeller	17
4.3.	Semiempiriska modeller	18
4.4.	Empiriska modeller	18
5.	CFFDRS	19
5.1.	Canadian Forest Fire Danger Rating System	19
5.1.1.	Bakgrund	19
5.1.2.	Uppbyggnad	19
5.2.	Canadian Forest Fire Weather Index System	21
5.2.1.	Systemets struktur	21
5.2.2.	Systemets tillämpning	25
5.2.3.	FWI i Sverige	26
5.3.	Canadian Forest Fire Behavior Prediction System	28
5.3.1.	Systemets struktur	28
5.3.2.	FBP:s databas	29
5.3.3.	Arbetschema	29
5.3.4.	Indataparametrar	30
5.3.5.	Primär utdata	34
5.3.6.	Sekundär utdata	36
5.3.7.	Antaganden och begränsningar	37
5.3.8.	Applikationer av systemet	37
5.3.9.	Tillämpningsområden	39
6.	Implementeringsmöjligheter i Sverige	41
6.1.	Behovsundersökning	41
6.1.1.	Bakgrund	41

6.1.2.	Utvalda räddningstjänster.....	41
6.1.3.	Metod.....	41
6.1.4.	Frågeställning.....	41
6.1.5.	Resultat och diskussion.....	42
6.2.	Implementeringsprocessen i Nya Zeeland.....	45
6.3.	Kritiska faktorer i Sverige.....	46
7.	Diskussion.....	48
7.1.	Implementeringsmöjligheter i Sverige.....	49
7.1.1.	Behovsundersökning.....	49
7.1.2.	Implementeringsprocessen i Nya Zeeland.....	49
7.1.3.	Kritiska faktorer i Sverige.....	50
7.1.4.	Kostnad/nytta.....	51
8.	Slutsatser.....	52
9.	Litteraturförteckning.....	53
	Bakgrund.....	58
	Brandens start och förlopp.....	59
	Antaganden och begränsningar.....	59
	Beräkningsgång.....	60
	Diskussion och slutsatser.....	62

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Det finns alltid en risk för att större skogsbränder kan inträffa, exempelvis den i Bodträskfors år 2006 som omfattade 1900 hektar. Insatsen kom efteråt att ha kostat totalt 75 miljoner kronor (MSB, 2009). I Kanada förekommer skogsbränder mer frekvent än i Sverige och dessa täcker oftast betydligt större arealer. För att kunna förebygga och hantera dessa används ett system vid namn Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS). Två huvudkomponenter i detta system är brandväderindexet Fire Weather Index (FWI) och brandbeteendemodellen Fire Behavior Prediction (FBP). Under 90-talet infördes FWI-systemet i Sverige av SMHI och sedan år 2001 kan svenska räddningstjänster få prognoser genom det internetbaserade systemet Brandrisk skog och mark.

FBP är baserat på parametrarna från FWI samt kompletterande information om väder, vegetation och topografi (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992). Användningsområdet för brandbeteendemodeller som FBP är exempelvis operativt för räddningsledning vid skogsbrandsläckning (Stocks et al., 1989). Beslutsunderlag kan exempelvis ges för var det är lämpligast att sätta in insatser, om det finns behov av förstärkning och om det skulle visa sig nödvändigt med evakuering av närliggande bebyggelse. Sverige saknar idag någon form av brandbeteendemodell.

1.2. Syfte

Syftet med examensarbetet är att undersöka och inhämta information om ramverket för CFFDRS, och då främst brandbeteendemodellen FBP. En undersökning av implementeringsmöjligheter för FBP i Sverige kommer också att genomföras.

1.3. Mål

Examensarbetets mål är att:

- Genomföra en fördjupad studie av FBP och dess tillämpning i Kanada.
- Genomföra en identifiering av kritiska faktorer, nödvändiga att hantera initialt vid en eventuell implementering av FBP i Sverige.
- Avgöra hur den svenska räddningstjänsten ser på behovet av brandbeteendemodeller.

1.4. Problemställning

Följande problemställningar ska besvaras i arbetet:

- Hur är CFFDRS, och då främst FBP, uppbyggt och hur används det i Kanada?
- Vilka fördelar medför användandet av brandbeteendemodeller, då främst operativt vid skogsbrandssläckning?
- Vilka är de kritiska faktorerna, som är nödvändiga att hantera initialt, för att FBP ska kunna implementeras i Sverige?
- Vilken syn har den svenska räddningstjänsten på behovet, samt användningen, av brandbeteendemodeller?

1.5. Metod

Denna rapport kan delas in i tre delar; allmän bakgrundsteori, deskriptiv redogörelse av CFFDRS med undersystem, samt implementeringsmöjligheter av FBP i Sverige. Författarna har utgående från denna struktur använt fyra olika metoder för att uppnå de mål, och för att besvara de problemställningar, som stipulerats i denna rapport. Dessa metoder är: litteraturstudier, intervjuer, kursdeltagande och enkätundersökning.

1.5.1. Allmän bakgrundsteori

För att bygga upp en teoretisk grund gällande skogsbrandsteori, samt för att få en klar bild av vegetationens struktur och karaktär i Sverige och Kanada, har en litteraturstudie genomförts inom områdena. Litteraturen har till stor del hämtats från publikationer gjorda av MSB och Skogsstyrelsen, samt från elektroniskt material främst anskaffat med hjälp av databaserna Google Scholar och ELIN@Lund.

1.5.2. CFFDRS

De deskriptiva kapitel i denna rapport som berör CFFDRS och dess respektive undersystem, FWI och FBP, bygger på en litteraturstudie samt de kunskaper författarna inhämtat under en kurs som inom ämnet. En utförlig beskrivning ges i nästföljande kapitel. Deltagandet skedde på inrådan av dr Marty Alexander, Senior Fire Behavior Research Officer hos The Canadian Forest Service.

Litteraturstudien berör främst utvecklingslitteraturen till respektive system, samt kursmaterialet från den nyss nämnda kursen. Dr Alexander har till stor del bidragit i införskaffandet av utvecklingslitteratur, samt relevanta vetenskapliga artiklar och kunskaper i form av hans personliga erfarenheter.

1.5.3. Implementeringsmöjligheter av FBP i Sverige

Implementeringsmöjligheterna i Sverige har granskats utifrån tre frågeställningar;

- Hur är intresset hos eventuella slutanvändare?
- Finns det något liknande land som har implementerat FBP och, i sådana fall, hur gick processen till och vilka var de primära svårigheterna?

- Vilka är de kritiska faktorerna som behöver tas hänsyn till vid en eventuell implementering i Sverige?

Intresset hos slutanvändare har undersökts med hjälp av en elektronisk enkätundersökning. Avgränsning gällande slutanvändare har gjorts till räddningstjänster. Urvalet har sedan gjorts i samråd med flertalet personer inom MSB. Målet har varit att välja räddningstjänster med erfarenheter från större bränder, samt att uppnå en lämplig geografisk spridning.

Räddningscheferna, på respektive räddningstjänst, har varit målpersonerna för enkäten. I vissa fall har enkäten vidarebefordrats inom respektive organisation. Anledningen till att en enkätundersökning valdes som undersökningsmetod var möjligheten att få standardiserade svar, samt att underlätta för respektive intervjuobjekt vid besvarandet av frågorna. Google Form har använts vid skapande, utdelning och sammanställning av enkäten.

För att kunna ge en bild över hur en implementering av FBP i Sverige skulle kunna gå till har en översiktlig studie gjorts av implementeringsprocessen i Nya Zeeland. De inledde sin forskning och process med att implementera FBP år 1992 och var då i ungefär samma situation som Sverige befinner sig idag (Pearce, 2010). Dr H. Grant Pearce, Fire Science Researcher på New Zealand Forest Research Institute (Scion), har medverkat i denna process och bidragit med sina personliga erfarenheter i en intervju som genomförts via e-post med författarna. Dr Pearce har även försett författarna med den litteratur som använts under denna deskriptiva analys.

Besvarandet av den sista frågeställning, som berör identifiering av de kritiska faktorerna, har utgått från personlig kommunikation med dr Alexander, den intervju som genomförts med dr Pearce, samt de kunskaper författarna förvärvat under kursdeltagandet.

1.6. Kursbeskrivning

Som en del av metoden för denna rapport har författarna deltagit på en kurs vid namn Advanced Wildland Fire Behavior (AWFB). Denna gavs av Canadian Interagency Forest Fire Centre (CIFFC) vid the Maritime College of Forest Technology i Fredricton, New Brunswick, Kanada under perioden 23-29 september. Kursen behandlar grundläggande kunskaper inom skogsbrandsteori med fokus på FWI, FBP och hur dessa system kan användas i praktiken.

1.6.1. CIFFC

CIFFC bildades år 1982 och är en samarbetsorganisation mellan de 12 provinserna och den federala staten. Medlemmarna inom CIFFC förbinder sig till att samla och delge varandra information som berör skogsbränder, samt att vid behov aktivt utbyta materiel, personal och luftburna släckresurser. CIFFC saknar vinstsyfte och finansieras till en tredjedel av den federala staten och till övriga två tredjedelar av provinserna baserat på hur mycket produktiv skogsmark de har.

1.6.2. Syfte och mål med kursen

Kursens primära syfte är att utbilda personal, som är i kontakt med skogsbränder, i hur FWI och FBP fungerar och kan tillämpas i deras yrkesutövning.

Då utbyten av personal mellan de olika provinserna är vanligt förekommande förväntas det att alla ska ha samma grundläggande kompetens. En av CIFFC:s funktioner är därför att standardisera nationella utbildningar och erbjuda dessa till respektive provins. AWFB är en sådan kurs och erbjuds på nationell nivå till alla provinser där berörda organisationer får nominera lämpliga personer.

1.6.3. Kursupplägg

Studenterna får innan kursstart genomföra ett antal förberedande moment. Två interaktiva cd-rom-kurser; "Principles of Fire Behavior" (The National Wildfire Coordinating Group, 1993) och "Understanding the Canadian Forest Fire Weather Index" (CIFFC, 2002), ska genomföras med godkänt resultat. Här ges en generell genomgång av grundläggande skogsbrandsteori och FWI. Med hjälp av kunskaper från cd-rom-kurserna och utdelad litteratur ska sedan ett skriftligt prov avläggas. Slutligen ska studenten även identifiera och dokumentera tre lokala bränsletyper.

Under kursveckan genomförs samtliga dagar föreläsningar med inslag av övningar och hemarbeten. Momenten som kursen berör, i kronologisk ordning, är:

- Brandmännens säkerhet
- Meteorologi – vädrets och klimatets inverkan
- Brandregimer
- Beräkning FWI och dess subindex
- Bränslens fysiska karaktär
- Bränsletyper
- Topografins effekt på brandbeteende
- FWI:s struktur och tillämpning
- Grundläggande fysik bakom brandbeteende
- FBP:s struktur och tillämpning
- Rapporteringsmetodik

Fokus de sista dagarna är riktat mot de två sistnämnda punkterna. FBP berörs utifrån indata och utdatavärden, antaganden och tillämpningar. Studenterna får bekanta sig med en fälthandbok (Taylor et al., 1997) som sedan används för att praktiskt lösa ett antal fallstudier. Dessa tar hänsyn till olika parametrar för att åskådliggöra deras inverkan på brandbeteende, exempelvis skiften i vind, topografi och bränsletyp.

Kursen avslutas med ett skriftligt prov där studenten först får visa prov på teoretisk kunskap inom de moment som kursen har behandlat. Därefter löses en fallstudie praktiskt med hjälp av fälthandboken.

1.7. Disposition

Denna rapport är uppdelad i åtta huvudkapitel och tre bilagor.

I kapitel ett (Inledning) presenteras rapportens bakgrund, syfte, mål och problemställning, samt arbetsmetod, disposition och avgränsning.

I kapitel två (Vegetation) förklaras skogsbrandens koppling till miljön och naturens kretslopp. Därefter beskrivs först den boreala klimatzonen översiktligt. Sedan redogörs för vegetationen i Sverige och Kanada, främst avseende dess struktur och karaktär.

I kapitel tre (Skogsbranden) förklaras allmän grundläggande teori som berör ämnet skogsbrand. Först förklaras de tre viktigaste faktorerna meteorologi, bränsle och topografi och vilken inverkan de har på en skogsbrand. Avslutningsvis redogörs för ett brandförlopps olika stadier och tillstånd.

I kapitel fyra (Modeller för brandbeteende) klarläggs för läsaren vad brandbeteendemodeller är samt hur dessa kan indelas i fysiska, semiempiriska och empiriska modeller.

I kapitel fem (CFFDRS) beskrivs först upplägget av den kurs författarna deltagit i som en del av deras metod. Därefter presenteras struktur och funktion för CFFDRS, FWI och FBP.

I kapitel sex (Implementeringsmöjligheter i Sverige) undersöks hur förutsättningar för en eventuell implementering i Sverige ser ut. Först utgående från potentiellt behov, därefter genom en jämförande studie mot Nya Zeeland och avslutningsvis med en identifiering av kritiska faktorer nödvändiga att hantera i ett initialt stadium.

I kapitel sju (Diskussion) diskuterar författarna de resultat som har presenterats i rapporten samt tillvägagångssätt och arbetsprocess.

I kapitel åtta (Slutsatser) sammanställs de slutsatser som går att dra av rapportens resultat- och diskussionsdel.

I bilaga A (Branden i Stormyran) beskrivs, med hjälp av uppgifter från en verklig brand, den arbetsgång som följs när FBP tillämpas som ett operativt beslutstöd.

I bilaga B (Behovsundersökning) presenteras de svar, i oredigerad form, som inkom från sju räddningstjänster.

I bilaga C (Intervju med H.G. Pearce) presenteras den intervju som genomfördes via e-post med dr H.G. Pearce den 11:e november 2010.

1.8. Avgränsningar

På grund av tidsskäl görs följande avgränsningar i syfte att underlätta arbetet med att uppnå denna rapportens mål samt besvara dess stipulerade problemställningar:

- En geografisk avgränsning där brandrisk- och brandbeteendemodeller endast undersöks för Kanada och Sverige.
- Endast en övergripande analys av CFFDRS och FWI kommer att utföras.
- Den fördjupande studien, som är ett av huvudmålen med arbetet, kommer att koncentreras till brandspridningssystemet FBP.
- Behovsundersökning kommer att endast omfatta ett begränsat antal räddningstjänster.
- Identifieringen av kritiska faktorer, nödvändiga att hantera i ett initialt skede, vid en eventuell implementering av FBP i Sverige kommer endast att utföras översiktligt.
- Ingen hänsyn tas till kostnaden för en implementeringsprocess, eller de befintliga kostnaderna för skogsbrandsbekämpning.
- Rapporten ämnar inte jämföra FBP mot andra brandbeteendemodeller.
- Ingen värdering görs av de empiriska, semi-empiriska och fysiska brandbeteendemodellernas olika fördelar.

2. Vegetationen

Vegetationen i Kanada och Sverige är till viss del av liknande karaktär. Här redogörs för de likheter och skillnader, samt den teori, som är nödvändig för att läsaren ska få en förståelse för den brandbeteendemodell som senare beskrivs i denna rapport. Kapitlet inleds med en generell koppling mellan skogsbranden och dess inverkan och betydelse för miljön. Därefter presenteras den övergripande karaktären för de båda geografiska områdena, Sverige respektive Kanada. Syftet är att ge en fördjupad bild över de olika vegetationstyper som förekommer i de båda länderna.

2.1. Skogsbrand och miljö

Bränder i skog och mark är ett naturligt fenomen som förekommit genom alla tider. Växt- och djurliv har anpassat sig efter dessa förutsättningar för att bättre klara av påverkan från bränderna (Hamrin, 2010). Vissa arter har till och med blivit beroende av bränder och dess effekter på omgivningen för att kunna överleva (Skogsstyrelsen, 2002).

Efter att en brand har ägt rum och kal mark har börjat träd fram sker en naturlig succession av nya träd. De första trädarterna att etablera sig är de så kallade pionjärträden, dessa är oftast lövträd av arterna björk, asp eller ek. Dessa områden benämns lövbrännor. I ett inledande stadium förekommer även att tall etablerar sig (Skogsstyrelsen, 2002). Pionjärträdens etablering sker med hjälp av närliggande träd som fröar av sig. Denna självföryngring används ibland även vid anläggning av ny skog då markägaren lämnar ett antal träd efter en avverkning för att låta dem fröa av sig till sin omgivning. En mer vanligt förekommande metod är dock ny-plantering där markägaren planterar plantor av det önskade trädslaget. (Hamrin, 2010)

Död ved och brända ytor är en förutsättning för att insekter som exempelvis den sotsvarta praktbaggen (*Melanophila acuminata*) ska kunna föröka sig. Denna art är en av 30 stycken i Sverige som är känd för att vara beroende av brandskadade träd och marker. Brandnäva (*Geranium lanuginosum*) och svedjenäva (*Geranium bobemicum*) är i sin tur exempel på växter som är beroende av bränder, detta för att deras frön måste hettas upp för att kunna börja gro. Det frigjorda kvävet och förhöjda pH-värdet, som uppkommer i en naturlig följd, gynnar i sin tur tillökningen av örter som hallon och mjölke. (Skogsstyrelsen, 2002)

I samband med en skogsbrand bildas också olika sorters gaser som har en negativ effekt på miljön. Det nitrat som exempelvis bildas kan tillsammans med askan spridas vidare för att sedan via nederbörd sätta sig i marken och försura känsliga områden. (Skogsstyrelsen, 2002)

Då naturliga bränder förekommer i en förhållandevis låg frekvens samt ofta släcks snabbt och effektivt kan det vara behövt att bistå naturen med anlagda bränder under kontrollerade förhållanden. Dessa kallas naturvårdsbränder och används för att bidra till den naturliga cykel som ibland måste få förekomma. (Skogsstyrelsen, 2002)

Tidigare användes bränningar för att bereda mark åt nyplanteringar samt för förnygring av befintliga bestånd. Denna metod heter hyggesbränning och kan liknas vid den äldre jordbruksformen svedjebruk. Hyggesbränningar används numera i mycket liten skala. (Skogsstyrelsen, 2002)

2.2. Den boreala zonen

Det norra halvklotet kan delas in i fem klimatzoner; den arktiska, boreala, tempererade, subtropiska och tropiska (Brandt, 2009). Zonen anger vad det är för sorts vegetation som växer inom den. Den gemensamma vegetationen medför goda möjligheter att jämföra områden inom samma zon.

Den boreala zonen täcker in stora delar av de båda kontinenterna Nordamerika och Eurasia. Zonen innefattar Alaska, Kanada, Skandinavien, Ryssland samt de nordliga delarna av Kina, Mongoliet och Kazakstan (Brandt, 2009). Mer generellt innefattas allt mellan den 50:e och 70:e breddgraden (Hagner, 1999). Detta utgör cirka 15 % av Jordens totala landmassa (Jögiste et al., 2009).

Indelning av olika subzoner förekommer, men varierar mellan olika områden i världen (Jögiste et al., 2009). Nordamerikas boreala zon kan delas i tre subzoner; den subarktiska - bestående av blandad vegetation med barrskog och tundra, den boreala – bestående av sammanhängande barrskog, och den boreonemorala - där övergång sker till en mer tempererad skogstyp (Brandt, 2009).

Sverige ligger, enligt Svensk Nationalatlas (2000) definition, till största delen inom i de boreala samt boreonemorala subzonerna men med inslag av den alpina i norr och nemorala i söder. Den boreala består främst av barrskog med viss förekomst av asp och björk, medan den boreonemorala innehåller blandskog (Åbo Akademi, 2007).

2.3. Sveriges skog och mark

Sverige har en landareal på 40,8 miljoner hektar varav 22,7 miljoner hektar består av produktiv skogsmark (Skogsstyrelsen, 2009). Med produktiv menas att produktionskapaciteten överstiger en kubikmeter per hektar och år (SCA, 2009). Enligt Skogsstyrelsen (2009) har mängden produktiv mark sedan 1920-talet vuxit med 68 %. I snitt sker det en tillväxt av 100 miljoner m³ skog varje år samtidigt som det sker en generell avverkning av 85 miljoner m³ skog (Skogsstyrelsen, 2009).

Gränsen mellan de boreala och boreonemorala zonen markeras av en skiljelinje som heter limes norrlandicus. Denna sammanfaller med den naturliga gränsen där eken slutar sin utbredning norrut (Sveriges Nationalatlas, 2000). I den boreala subzonen finns den norra barrskogsregionen beläget med en överhängande majoritet av tall (*Pinus sylvestris*) och gran (*Picea abies*). Söderut minskar dominansen av barrträd. Blandskog med inslag av ask (*Populus tremula*), björk (*Betula pendula*, *Betula pubescens*), lind (*Tilia cordata*) och ek (*Quercus robur*) blir allt vanligare (Brandt, 2009).

Sveriges totala artfördelning består av främst gran, tall och björk, men även andra trädslag förekommer i mindre andel, se tabell 1.

Tabell 1: Fördelning av trädarter inom Sverige (Skogsstyrelsen, 2009)

Art	Andel
Gran	41 %
Tall	39 %
Björk	12 %
Bok	1 %
Ek	1 %
Torra träd	3 %
Övriga träd	3 %
Totalt	100 %

Enligt Anderberg (1999) finns det flera olika arter av tall och den överlägset mest förekommande i Sverige är *Pinus sylvestris*. Tallen har möjlighet att växa på ett flertal olika marktyper. Anledningen till detta är dels barrens förmåga att hålla en hög fukthalt samt dess flexibla rotsystem som kan växa både på djupet, och längs ytan, beroende på jordens fukt och näringshalt (Hytteborn et al., 2006). Hytteborn m.fl. beskriver även hur tallen storleksmässigt kan bli 48 meter hög och få en omkrets på över en meter i diameter. Tallen kan nå en ålder på 700 år.

Anderberg (1999) skriver att det sedan mitten av 80-talet gjorts nyplanteringar av contorttallen (*Pinus contorta*) i norra Sverige. Denna art är vanligt förekommande i USA:s nordliga västkust, Kanada och Alaska (Brandt, 2009). Motivet till introduktionen i Sverige var främst dess goda avkastning sett till virkesproduktion jämfört med den vanliga tallen (Anderberg, 1999).

Liksom för tall finns det även en gran som är överlägset dominant inom gransläktet; *Picea abies* (Hytteborn et al., 2006). Denna gran trivs bäst i fuktiga och näringsrika marker, men då den har ett ytligt rotsystem är den extra känslig för exempelvis starka vindar (Anderberg, 1999). Granen trivs i skugga, vilket har lett till att den kan ses som undervegetation till tallen. Detta gäller dock endast till dess att granen har utvecklats till en fullvuxen individ (Granström, 2006). Storleksmässigt kan granen bli upp till 45 meter hög och en meter i diameter, samt åldersmässigt upp till 500 år gammal (Hytteborn et al., 2006). Förutom gransläktet *Picea* finns även *Abies* som innefattar ädelgranarna, dessa är dock inte vanligt förekommande i vilt tillstånd i Sverige utan används främst som prydnadsträd i parker och villaområden samt som julgranar.

Sett till lövträd är björk den främst förekommande arten, något som framgår ur tabell 1. Det två vanligast förekommande björkarna är vårtbjörk (*Betula pendula*) och glasbjörk (*Betula pubescens*) (Anderberg, 1999). Båda kan bli uppåt 20 meter höga och trivs i fuktig mark, dock föredrar vårtbjörken något torrare jordar (Öxell, 2008).

På marknivåns ytskikt återfinns vanligen någon form av mossa eller lav, hus- och väggmossa är vanligast förekommande (Granström, 2006). Ovanpå, och till viss del inom, återfinns döda växt- delar (förna) i form av exempelvis barr och löv (Skogsstyrelsen, 1999). Här finns exempelvis även gräs, ris, örter och ormbunkar av olika slag. De vanligaste arterna av ris är blåbär och lingon men även ljung och kråkris förekommer, dock inte i lika stor utsträckning (Anderberg, 1999). Under ytskiktet finns humuslagret som består av organiskt material i olika stadier av nedbrytning (Skogsstyrelsen, 1999).

2.4. Kanadas skog och mark

Kanada har en landareal på 979,1 miljoner hektar varav 402,1 miljoner hektar är skog (Canadian Forest Service, 2005). I förhållande till övriga världen utgör detta 10 % av all skog samt 30 % av den boreala skogen (Natural Resources Canada, 2009).

Inom FBP finns 16 bränsletyper som tagits fram för att beskriva de vanligaste vegetationstyperna inom Kanada, dessa nämns under senare kapitel. På grund av den stora arean, och olika klimat- och vegetationszoner, är det problematiskt att i detalj redogöra för de regionala variationer som förekommer. Här redogörs därför kort och översiktligt för Kanada generellt.

Skogen kan, likt i Sverige, delas in i tre kategorier; barrskog (softwood), lövskog (hardwood) och blandskog (mixedwood). Dessa utgör vardera 66-, 12- och 22 % av skogsbeståndet (Canadian Forest Service, 2005). Fördelning av trädarter sett över landet som helhet presenteras i tabell 2.

Den boreala skog som finns inom den boreala subzonen i Kanada består mestadels av barrskog med olika sorters granar så som balsamgran (*Abies balsamea*), vitgran (*Picea glauca*) och svartgran (*Picea mariana*). Det finns även tall i forma av; banksianatall (*Pinus banksiana*), contortatall (*Pinus contorta*) samt kanadalärk (*Larix laricina*) (Brandt, 2009). Undantag av belövade, köldtåliga arter finns dock som amerikansk asp (*Populus tremuloides*), balsampoppel (*Populus balsamifera*), kanadalärk (*Larix laricina*) och pappersbjörk (*Betula papyrifera*) (Natural Resources Canada, 2009).

Tabell 2: Trädartfördelning över Kanada som helhet (Power & Gills, 2006).

Art	Andel
Gran	27 %
Tall	13 %
Poppel	10 %
Ädelgran	6 %
Björk	4 %
Lönn	3 %
Hemlock	2 %
Douglasgran	2 %
Övrig barrskog	29 %
Totalt	100 %

Övergången mellan den boreala och den boreonemorala subzonen sker längs en gräns som i Kanada benämns *limes labradoricus*, denna kan liknas vid den svenska motsvarigheten *limes norrlandicus* (Pinborg, 2004). Enligt Brandt (2009) sammanfaller gränsen med lönnens (*Acer saccharum*) utbredning, motsvarande ekens (*Quercus robur*) i Sverige. Här går den norra barrskogsregionen, även kallad taiga, över till en mer blandad skog med inslag av icke köldtåliga träarter. Sockerlön (*Acer saccharum*), gulbjörk (*Betula alleghaniensis*), svartlind (*Tilia americana*), amerikanalm (*Ulmus americana*) och amerikanbokträd (*Fagus grandifolia*) är exempel på lövträdsarter som här bebländar sig med olika arter av barrträd (Scott, 1995). Tidigare nämnda arter inom den boreala subzonen fortsätter ner men i minskande koncentrationer (Brandt, 2009).

3. Skogsbranden

Det finns stora skillnader mellan en brand i det fria och en brand i någon form av inneslutning. Två av dessa skillnader är att branden i det fria inte begränsas av tillgången på syre och att den också teoretiskt kan ha en väldigt god tillgång på bränsle. Styrande faktorer är istället bränslebäddens struktur och fukthalt samt topografi och aktuella väderförhållanden. (Granström, 2006)

Det finns i Sverige flera olika orsaker till att skogsbränder inträffar. De vanligaste orsakerna är, enligt Hansen (2003), blixtnedslag och någon form av mänsklig aktivitet men det finns också ett stort mörkertal i form av okända eller inte dokumenterade orsaker. I begreppet skogsbrand ingår brand i mossa, gräs, risväxter och träd.

3.1. Meteorologi

De meteorologiska faktorerna påverkar både förutsättningarna för att en skogsbrand ska uppstå och förutsättningarna för hur en aktuell brand kommer att utvecklas. De viktigaste faktorerna är: luftfuktighet, temperatur, nederbörd, vind och stabilitetsklass.

3.1.1. Luftfuktighet

Luftfuktigheten mäts, till skillnad från vegetationens fukthalt, oftast i relativa mått. Värdet anger hur stor mängd fukt som finns i luften i förhållande till hur stor mängd fukt luften maximalt kan bära vid den aktuella temperaturen. Den relativa luftfuktigheten påverkar den aktuella fukthalten i dött material samt i mossa och lavar. Fukthalten har stor påverkan på brandbeteendet, både med avseende på antändnings- och spridningsrisk.

3.1.2. Temperatur

Temperaturen påverkar förutsättningarna för att en brand ska uppstå på två sätt. Dels kan varm luft bära en större mängd fukt, vilket leder till en lägre relativ luftfuktighet, och dels ökar avdunstningen från bränslet när materialet antar en högre temperatur. Dessa egenskaper leder båda till sänkt fukthalt hos bränslet.

3.1.3. Nederbörd

Mängden nederbörd mäts i millimeter och avser höjden på en vattenpelare på en horisontell yta. 1 mm nederbörd motsvarar 1 liter per kvadratmeter och mängden mäts under 6, 12 eller 24 timmar. (SMHIc, 2009)

3.1.4. Vind

SMHI mäter, enligt en internationell överenskommelse från 1976, vindstyrkan på tio meters höjd över öppen mark. Mätningen görs över tidsperioder på tio minuter och värdet är därför ett medelvärde. (SMHIb, 2008)

I ett uttorkningskedje, innan en skogsbrand har brutit ut, påverkar vinden avdunstningshastigheten från bränslet. Detta sker genom att fuktigt luft med hjälp av vinden förs bort från gränsskiktet mellan bränslet och dess omgivning. Denna luft ersätts av torrare luft vilket

medför en snabbare avdunstning. Vinden påverkar i stor utsträckning också eldens spridningshastighet vid en skogsbrand. Förhållandevis små vinddrag ökar genast spridningshastigheten i vindens riktning, något som anses bero på att vinden böjer flammorna i riktning mot bränslet. Med en mer effektiv angreppsvinkel blir strålningens intensitet från flammorna intensivare vilket leder till en snabbare förvärmning av nytt bränsle. Om elden sprider sig mot vindriktningen finns det däremot ingen tydlig koppling mellan spridningshastighet och vindstyrka. Så kallad motvindseld har istället en relativt konstant spridningshastighet kring en halv meter per minut. På grund av låg intensitet och eftersom gnistor inte sprids i riktning mot nytt bränsle stannar ofta en motvindseld om den horisontella kontinuiteten i bränslet avtar. (Granström, 2006)

3.1.5. Stabilitetsklass

Om en viss luftmängd är varmare, eller kallare, än den omgivande luften skapas en kraft som ger luften en accelererande rörelse. Rörelsen sker uppåt om luftmängden är varmare än den omgivande luften och nedåt om den är kallare. (CBRN, 2008)

Det är generellt stabila förhållanden i de lägre luftlagren om temperaturen ökar med höjden. Förhållandet kallas för inversion och resultatet blir att vertikala luftrörelser motverkas och den horisontella vinden blir stadig och jämn. Om temperaturen istället avtar med höjden blir förhållanden i de lägre luftlagren instabila vilket medför byiga vindar samt turbulens i form av vertikala och horisontella luftrörelser. Huruvida temperaturen ökar eller minskar med ökad höjd beror bland annat på markens temperatur. Vanligen är markens temperatur låg tidigt på dagen vilket medför stabila förhållanden tills dess att marken har värmts upp av infallande solstrålning.

Luftens stabilitet kan anges i form av stabilitetsklasser som betecknas med bokstäverna A – F. Stabilitetsklass A representerar extremt instabila förhållanden medan klass F representera måttliga till extremt stabila förhållanden. (CBRN, 2008)

Luftmassornas stabilitet är av stor betydelse vid skogsbrandsbekämpning bland annat eftersom den turbulens som uppstår vid instabila luftförhållanden kan bidra till att förvärra brandförloppet. Vid stabila förhållanden, med små vertikala rörelser, kan brandens aktivitet dämpas. (Hansen, 2003)

3.2. Bränsle

3.2.1. Storlek och karaktär

Bränslet kan delas upp i två kategorier, finfördelat eller kompakt, beroende på sin fysiska karaktär. Finfördelat bränsle återfinns i och på markens övre skikt och består av gräs, mossa, löv, barr och buskar. Kompakt bränsle består av grenar och stammar samt markens undre skikt. Det finfördelade bränslet har lättare för att antändas och medför ett snabbare brandförlopp än det kompakta bränslet. (Hansen, 2003)

3.2.2. Bränslets fukthalt

Fukthalten i bränslet är den faktor som ensamt har störst påverkan på brandbeteendet. Lägre fukthalt medför en för branden ökad spridningshastighet och intensitet. Det finns dock en stor skillnad i fukthaltens betydelse beroende på om bränslet är finfördelat eller kompakt. Störst betydelse för brandbeteendet har fukthalten i det finfördelade bränslet. Är denna låg finns en större risk för både antändning och snabb brandspridning. Hur torrt det kompakta bränslet är har inte lika stor betydelse. Det finns exempel på explosiva skogsbränder där endast delar av finbränslet har haft en tillräckligt låg fukthalt. Ett annat exempel är när det efter långvarig torka råder en låg fukthalt i det kompakta bränslet. Det behövs då endast en dag med hög relativ fuktighet alternativt nederbörd för att fukthalten i det fina bränslet snabbt ska stiga och brandpotentialen avta. (Granström, 2006)

Bränslets fukthalt anges i procent och beskriver materialets vatteninnehåll i förhållande till materialets torrsvikt (Hansen, 2003). Det finns en stor skillnad i fukthalt mellan levande och dött bränsle. Fukthalten i dött bränsle är direkt kopplat till förändringar i den omgivande luftens relativa luftfuktighet medan fukthalten i levande material hålls relativt konstant. Fukthalten varierar också stort mellan olika växter. Generellt har gräs, örter och lövträd så pass hög fukthalt att de, istället för att fungera som bränsle, bromsar eldens utveckling. Bärriis och barrträd har däremot betydligt lägre fukthalt och kan därför bidra till energiutvecklingen i elden. (Granström, 2006)

Fukthalten i mossa och lav varierar på samma sätt som i dött bränsle. Anledningen till detta är att mossa saknar rötter, och därmed förmågan att reglera vattenupptaget, samt att mossan saknar ett tätt ytskikt som kan hämma avdunstningen vid uttorkning. Mossor, lavar och dött material tar generellt upp fukt vid nederbörd samt direkt från luftens vattenånga. Fukt avges också till luften i ångfas. Efter kraftig eller långvarig nederbörd, när mossan är mättad, börjar vattnet istället sjunka ner och fylla upp humuslagret under mossan. Eftersom uttorkning sker genom avdunstning från ytan måste vatten sedan transporteras upp genom intern vattendiffusionen, något som på grund av mossans luckra struktur sker långsamt. Efter en period med torka kan det därför vara stora skillnader mellan fukthalten i olika skikt. Hur snabbt vatten avdunstar från en yta är proportionellt mot skillnaden mellan det mättade ångtrycket och det aktuella ångtrycket i gränsskiktet

mellan vattnet och luften. Vädervariabler som relativ luftfuktighet, vind och temperatur påverkar. (Granström, 2006) Variablerna beskrivs närmare under rubriken meteorologi.

Tabell 3: Antändningsrisk beroende av bränslet och luftens fukthalt (NWCG, 1992).

Relativ luftfuktighet [%]	Bränslets fukthalt [%]	Förväntad antändningsrisk
>60	>20	Svårantändligt
45-60	14-20	Liten risk för antändning
30-45	10-14	Medelstor risk för antändning
26-40	8-10	Hög antändningsrisk
15-30	5-7	Snabb antändning
<15	<5	Mycket lättantändligt

3.2.3. Mängden bränsle

Generellt innebär en stor mängd bränsle inom ett givet område en hög brandbelastning och en liten mängd bränsle en lägre brandbelastning. Dock beror också den potentiella brandbelastningen på andra faktorer än den absoluta mängden bränsle. Några sådana faktorer är enligt (Hansen, 2003) :

- Bränslets placering
- Bränslets densitet
- Förhållandet mellan bränslets ytmässiga utbredning och volym
- Aktuell fukthalt och proportioner mellan finfördelat och kompakt bränsle

3.2.4. Kontinuitet

Med begreppet kontinuitet avses hur bränslet är fördelat inom ett område. Skillnad görs mellan vertikal och horisontell kontinuitet. Vertikal kontinuitet är den koppling som finns från förnan av barr och döda kvistar till barrträdens toppar genom exempelvis risväxter, lågt växande granar och barrträdsgränar. Horisontell kontinuitet finns om bränslet bildar ett heltäckande mönster som kan föra branden vidare på markytan.

3.2.5. Typ av skog

Ur en brandsynpunkt är tall tåligare än gran på grund av sin kraftiga bark. (Hamrin, 2010) Lövträden är inte alls lika känsliga, dessa trivs bäst i fuktig mark och har höga fukthalter vilket gör att dem svårantändliga. Vid lågintensiva bränder kan de även fungera som naturliga barriärer. Fallna löv kan stjälpas fortsatt brandspridning genom att kväva mossa och övrig förna. Även barr kan, vid större mängd, bidra med liknande effekt (Granström, 2006). Humusen deltar sällan aktivt i flamspridningen bland annat på grund av dess höga fukthalt, även efter en längre tids torka. Emellertid kan humusen hålla kvar en glödbland som sakta kan sprida sig och vid de rätta förhållandena flamma upp och övergå till en torv- eller löpbrand.

3.3. Topografi

Topografin, dvs. terrängens fysiska form, påverkar skogsbrandens spridningsmöjligheter. När branden sprider sig uppför en sluttning får flammorna en angreppsvinkel som är mer gynnsam. Processen liknar det som inträffar när vinden böjer flammorna i riktning mot nytt bränsle. På

samma sätt blir angreppsvinkeln mindre gynnsam nedför en sluttning och spridningshastigheten avtar. (Granström, 2006)

Speciella landformationer i form av raviner och dalgångar utgör topografiska specialfall som på grund av en potentiell skorstenseffekt kan medföra en mycket hög spridningshastighet. Det finns också naturliga brandbarriärer i form av floder, sjöar och lövskogspartier. (Hansen, 2003)

3.4. Brandförlopp

3.4.1. Brandintensitet och spridningshastighet

Två variabler som kraftigt påverkar brandens potentiella förlopp är brandens intensitet och spridningshastighet. Till skillnad från en situation med en rumsbrand är den totala effektutvecklingen inte intressant för en brand i det fria. För att uppskatta brandens effekt används istället begreppet brandintensitet. Brandintensiteten definieras som effektutveckling per längdenhet av eldbandet vilket med SI-enheter anges i kW/m. De faktorer som i sin tur styr effektutvecklingen per längdenhet är tillgången på bränsle och eldbandets förflyttningshastighet. (Granström, 2006)

3.4.2. Typ av brandspridning

Det finns olika huvudtyper av skogsbränder och dessa delas in efter skillnad i brandspridning. Enligt Hansen (2003) görs en indelning mellan; torvbrand, låg löpbrand, hög löpbrand och toppbrand. I engelsk litteratur används istället indelningen; glödbrand (ground fire), ytbrand (surface fire) och kronbrand (crown fire). Författarna har i huvudsak använt sig av kanadensisk litteratur varför den senare indelningen används i rapporten.

3.4.2.1. Glödbrand

Glödbranden sker i den syrefattiga atmosfären under marknivån. En glödbrand uppstår efter att en ytbrand har passerat. Vid vissa förhållanden kan glödbranden återgå till en ytbrand. Branden kan sprida sig djupt ner i marken samt pågå under väldigt lång tid. (CIFFC, 2010)

3.4.2.2. Ytbrand

Detta är den vanligaste formen av skogsbrand. De flesta skogsbränderna börjar också i form av en ytbrand för att sedan utvecklas till någon av de andra brandtyperna. Vid ytbrand brinner levande och död markvegetation samt låga buskar. Spridningshastigheten kan normalt variera mellan 0 – 10 meter per minut. (CIFFC, 2010)

3.4.2.3. Kronbrand

Kronbranden sprider sig, som namnet antyder, mellan trädtopparna. Det krävs att ett flertal förutsättningar är uppfyllda för att en kronbrand ska uppstå. Två grundläggande förutsättningar är att avståndet mellan trädtopparna inte är för stort samt att vinden är kraftig. Kronbranden kan bitvis sprida sig utan återkoppling till lägre bränslelager. (CIFFC, 2010)

4. Modeller för brandbeteende

I kapitlet redogörs för vad brandbeteendemodeller är samt hur dessa kan indelas i fysiska, semiempiriska och empiriska modeller. Syftet är att visa vilken typ av modell FBP är, vilka begränsningar detta medför, samt hur modellen förhåller sig till andra brandbeteendemodeller.

4.1. Bakgrund

Brandbeteende i skog och mark har länge varit föremål för aktiv forskning. Arbetet med att modellera brandbeteendet har pågått sedan 1920-talet men utvecklingshastigheten tilltog under 1950-talet på grund av stigande intresse från flera försvarsmakter. Intresset kom av viljan att utforska effekterna av explosiva massförstörelsevapen. Utvecklandet av nationella brandrisk-system påbörjades i samma skede av respektive ansvarig myndighet i USA, Kanada och Australien där modellering av brandbeteendet var, och fortfarande är, en central del. (Sullivan(a), 2009)

Forskning har idag lett fram till flertalet olika modeller för brandbeteende. Utgående från hur dessa är framtagna, samt de respektive modellernas antaganden och förutsättningar, kan de delas in i olika grupper. Pastor et al. (2003) föreslår en uppdelning mellan empiriska, semiempiriska och fysiska modeller. Förslag på en mer detaljerad uppdelning finns också (Sullivan(a), 2009), dock är principen densamma.

Därutöver kan sedan en ytterligare indelning göras efter vilken del av skogsbranden som modelleras. De olika delarna är ytbrand (surface fire), kronbrand (crown fire) och glödbbrand (ground fire). Modeller finns även för att simulera antändning av flygbränder (spot fires). (Pastor et al., 2003)

För att kunna tillämpa modellerna, inom exempelvis skogsbruk och som operativt beslutsstöd, finns fälthandböcker med tabulaturer, direkta numeriska ekvationer och datoriserade grafiska gränssnitt, ofta kopplade till GIS. Dessa inkluderar oftast modeller för de olika delarna av en skogsbrand. (Pastor et al., 2003)

4.2. Fysiska modeller

Denna grupp av modeller syftar till att modellera skogsbränder i enighet med fysikens lagar gällande exempelvis termodynamik, förbränning och värmeöverföring (ledning, konvektion och strålning). Interaktionen mellan flamma och bränsle, samt flamma och atmosfär är två viktiga områden som måste tas hänsyn till (Mell et al., 2005). Detta görs utifrån ekvationer som beskriver bevarandet av massa, moment och energi och resulterar i en beskrivande bild över hur branden beter sig, samt värden på dess olika spridningsvariabler som resultat. (Pastor et al., 2003). Eftersom fysikens lagar är desamma överallt framgår de klara fördelarna med att de fysiska modellerna kan tillämpas oavsett miljö och omfattning. På grund av den höga komplexiteten kräver dessa modeller dock omfattande validering, främst i form av experiment (Pastor et al., 2003).

Då det krävs stora mängder tid och datorkraft för att genomföra en simulering lämpar sig inte fysiska modeller, med dagens teknik, till att användas som exempelvis operativt beslutsstöd. Bättre riktad är då användningen till forskningen rörande brandbeteendet och dess olika bakomliggande faktorer (Sullivan(a), 2009). Två framstående exempel på fysiska modeller är WFDS och FIRETEC (Mell et al., 2005).

4.3. Semiempiriska modeller

De semiempiriska modellerna bygger, liksom de fysiska, också på fysikens lagar men i en mer begränsad omfattning och med fler approximationer (Pastor et al., 2003). En vanlig begränsning är den att de olika typerna av värmeöverföringen inte skiljs åt (Mell et al., 2005). Ytterligare en begränsning är att de kemiska reaktioner som äger rum vid förbränningen av bränslet måste approximeras med hjälp av antaganden och empiriska samband (Sullivan(a), 2009).

På grund av begränsningarna måste därför dessa modeller kompletteras med empirisk data från fält och laboratorieexperiment i olika omfattningar för att kunna ge nödvändiga korrelationer och samband. Dessa modeller kräver, liksom de fysiska, ett omfattande valideringsarbete. (Pastor et al., 2003)

Rothermels modell, som utvecklats av Rothermel (1972), är idag en av de mest spridda modellerna. Denna ligger exempelvis till grund för det amerikanska brandrisksystemet National Fire Danger Rating System (NFDRS) samt brandsimuleringsprogrammen Behave och Farsite (Sullivan(b), 2009).

4.4. Empiriska modeller

Empiriska modeller är helt baserade på data och statistik taget från fält- och laboratorieexperiment. Dessa grundar sig inte på fysikens lagar som de fysiska och semiempiriska modellerna. På grund av detta är de empiriska modellerna väldigt bundna till den miljö och de förutsättningar som legat till grund för deras utveckling. (Sullivan(b), 2009)

FBP, som denna rapport ämnar studera, tillhör denna grupp och kommer därmed att undersökas utförligt i kapitel 5.3. En annan välkänd grupp av modeller är de som används i Australien och som är utvecklade av Andrew McArthur. CSIRO Grassland Fire Spread Meter har dock kommit att ersätta den del som berör gräsbränder (Sullivan(b), 2009).

5. CFFDRS

I detta kapitel redogörs för hur CFFDRS, FWI och FBP är strukturerade och tillämpas. Den information som redovisas under kommande underkapitel refereras till den kunskap som författarna inhämtat under kursen AWFB. Informationen finns även skriftligt dokumenterat i den kurslitteratur som författarna tilldelades (CIFFC, 2010). I de fall kompletteringar gjorts från utvecklingslitteraturen står detta angivet.

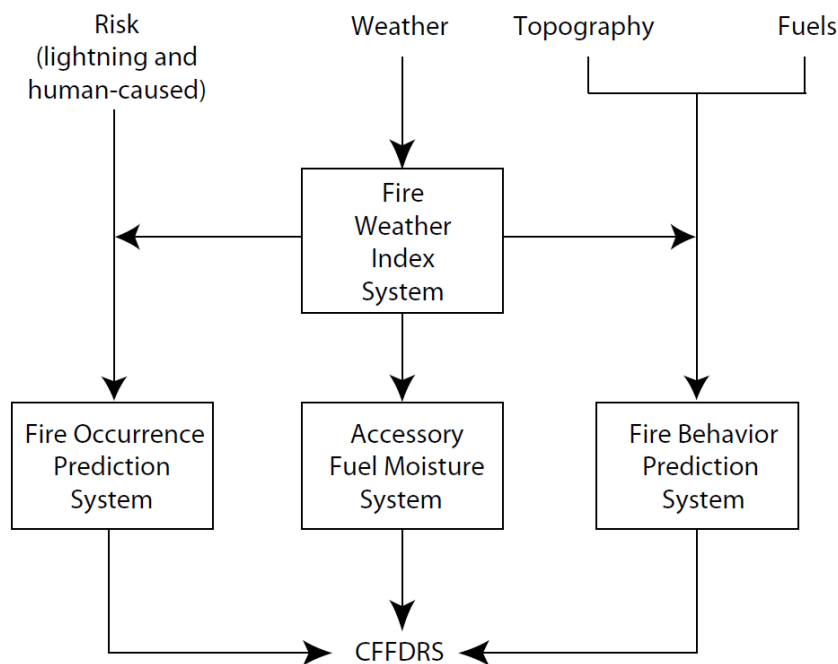
5.1. Canadian Forest Fire Danger Rating System

5.1.1. Bakgrund

Kanadas brandrisksystem Canadian Forest Fire Danger Rating System (CFFDRS) är resultatet av en lång tids forskning och utveckling. James G. Wright och Herbert W. Beall började redan på 1920-talet med att undersöka sambandet mellan väderfaktorer, fukthalter och brandbeteende (Van Wagner, 1987). Därefter följde utvecklingen av fyra olika brandrisksystem som alla byggde på varandra. En strävan efter enkelhet fanns hela tiden med i arbetet (Stocks et al., 1989). Principen bakom samtliga system var att de uteslutande byggde på fältexperiment och observationer från naturliga skogsbränder som analyserades med empirisk matematik (Van Wagner, 1987).

5.1.2. Uppbyggnad

CFFDRS, som är den femte generationens brandrisksystem i Kanada, fick sin form bestämd år 1968. Då fastslogs att ett modulärt system skulle tas fram där varje modul kunde utvecklas var för sig (Muraro, 1969), se figur 1.



Figur 1: Uppbyggnad av CFFDRS med generella indataparametrar (Taylor & Alexander, 2006). (publicerat med tillstånd av dr Marty Alexander, Canadian Forest Service, 2010-11-10)

Den första modulen som introducerades var Canadian Forest Fire Weather Index System (FWI) som implementerades på nationell nivå år 1970 (Stocks et al., 1989). Dess syfte är att ge en bild av brandbeteendet i relativa mått samt visa på hur stor risken är för att en brand kan uppstå (Van Wagner, 1987).

För att kunna översätta de relativa måtten från FWI till kvantitativa mått utvecklades den andra modulen, Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (FBP). Denna introducerades i en enklare form år 1984 för att kunna utvärderas operativt. Åtta år senare, år 1992, släpptes systemet för officiellt bruk (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992). En uppdatering har nyligen gjorts av modellen med de justeringar och tillägg som kommit till sedan år 1992. Värt att nämna är exempelvis en uppdatering av dygnsykelkurvan som används för att justera FFMC efter tid på dygnet (Wotton et al., 2009).

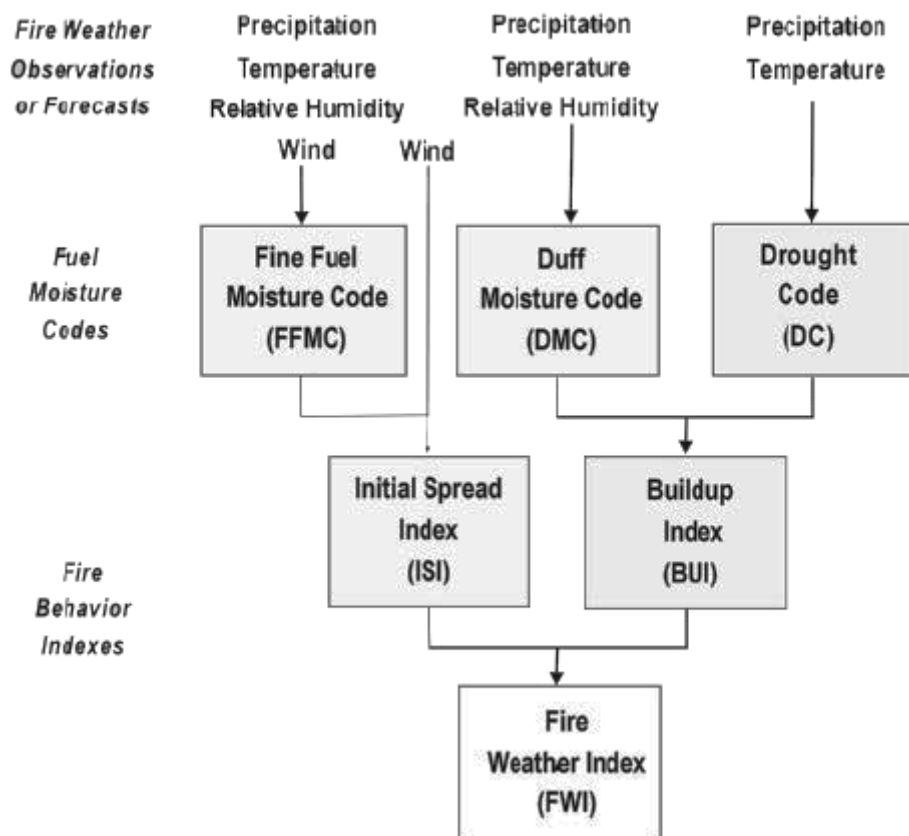
Ytterligare två moduler, Accessory Fuel Moisture System (AFMS) och Fire Occurrence Prediction System (FOP), finns framtagna men är ännu inte implementerade på nationell nivå i Kanada då viss utveckling återstår (Taylor & Alexander, 2006). FOP ska kunna visa på risken för att en brand kan uppstå till följd av blixtnedslag eller mänsklig inblandning. AFMS ska komplettera de övriga modulerna genom justering av fukthalter efter olika parametrar som latitud, säsong och tid på dygnet (Van Nest & Alexander, 1999).

5.2. Canadian Forest Fire Weather Index System

FWI-systemet började användas i Kanada redan på 1970-talet. Som tidigare nämnts är FWI ett brandväderindex vars primära syfte är att ge ett mått på risken för att en brand kan uppstå. Indexvärdet ger också ett relativt mått på vilket brandbeteende som kan förväntas. Att måttet är relativt innebär att det inte kan omvandlas till kvantitativa mått på exempelvis spridningshastighet och brandintensitet. Ett högt värde på FWI innebär dock att det finns förutsättningar för både en hög spridningshastighet och en hög brandintensitet.

5.2.1. Systemets struktur

FWI-systemet är uppbyggt av sex separata block, se figur 2. De tre översta blocken hanterar fukthaltens dagliga variation i olika bränslelager. Det som skiljer bränslelagren åt är främst deras torrsvikt och uttorkningshastighet. De två efterföljande blocken bygger på utdata från de översta blocken och beskriver spridningshastighet samt tillgänglig mängd bränsle. Det sista blocket beskriver slutligen ett viktat värde bestående av både spridningshastighet och tillgänglig mängd bränsle; indexvärdet kallas FWI.



Figur 2: Struktur hos FWI (Taylor & Alexander, 2006).
(publicerat med tillstånd av dr Marty Alexander, Canadian Forest Service, 2010-11-10)

5.2.1.1. Fine Fuel Moisture Code – FFMC

Värdet på FFMC representerar fukthalten i det finfördelade bränslet som återfinns i markens översta lager. Vanligen utgörs detta bränsle av gräs, mossor, löv och barr med en torrsviktsdensitet på cirka $0,25 \text{ kg/m}^2$. Den parameter som har störst effekt på bränslets fukthalt är aktuell nederbörd, men även relativ fuktighet, vindhastighet och temperatur påverkar. För att neder-

börden ska få effekt krävs, bland annat på grund av eventuella trädkronors avskärmande förmåga, en dygnsmedelnederbörd av minst 0,6 mm.

Fuktkvoten (kilogram vatten per kilogram torrsvikt) i det finfördelade bränslet kan variera från 0 – 250 % vilket medför en förändring av värdet på FFMC från 101 – 0. För att beskriva med vilken hastighet värdet på FFMC minskar vid uttorkning används begreppet fördröjningskonstant. Fördröjningskonstanten mäts i antal dygn och beskriver den tid det tar för bränslet att förlora 2/3 av sin aktuella fuktkvot överstigande jämviktsfuktkvoten. Fördröjningskonstanten för FFMC är 2/3 dygn.

Ett högt värde på FFMC indikerar att det finfördelade bränslet är lättantändligt samt att en snabb brandspridning är möjlig. När FWI-systemet driftsätts inför brandsäsongen är startvärdet för FFMC 85. I tabell 4 finns olika värden på FFMC samt det förväntade brandbeteende som respektive värde medför.

Tabell 4: Förväntat brandbeteende vid olika värden på FFMC.

FFMC	Förväntat brandbeteende
<75	Ingen ytbrand
75 – 80	Möjlig ytbrand
80 – 90	Kontinuerlig ytbrand
>90	Hög sannolikhet för flygbränder

5.2.1.2. Duff Moisture Code – DMC

Värdet på DMC representerar fukthalten i det humuslager som återfinns precis under markens ytskikt. Bränslet är löst kompakterat och består huvudsakligen av dött växtmaterial med en torrsviktsdensitet på 5 kg/m².

De parametrar som påverkar värdet på DMC är nederbörd, relativ luftfuktighet och temperatur. Anledningen till att vindfaktorn inte är en parameter är att denna anses ha liten eller ingen påverkan på avdunstningen från de djupare markskikten. För att nederbörd ska påverka värdet på DMC krävs en dygnsmedelnederbörd av minst 1,6 mm.

Fuktkvoten i bränslet kan variera mellan 20 – 300 % vilket medför en förändring av värdet på DMC från 0 – 150+. Värdet på DMC saknar egentligen en övre gräns, men bränslets fuktkvot ändras i princip inte när värdet passerar 150. Fördröjningskonstanten för DMC är 15 dygn, vilket innebär att det krävs relativt långa perioder av torra innan värdet på DMC minskar nämnvärt.

Vid värden på DMC som överstiger 20 finns risken att ett blixtnedslag kan vara en tillräcklig antändningskälla för att starta en brand. Är värdet över 40 och om den huvudsakliga bränsletypen utgörs av barrträd finns möjligheten att branden utvecklas till en kronbrand. Startvärdet för DMC är 6 och mätningarna startar på våren, tre dagar efter att den sista snön har smält bort i skogen.

5.2.1.3. Drought Code – DC

Värdet på DC representerar fukthalten i det djupare och mer kompakta humuslagret. Bränslets torrviktsdensitet är här 25 kg/m^2 . De parametrar som påverkar värdet på DC är endast temperatur och nederbörd. Anledningen till att den relativa luftfuktigheten utesluts är att diffusionshastigheten, som till stor del avgör avdunstningshastigheten från djupa marklager, endast beror på aktuell temperatur (Granström, 2006). För att nederbörden ska påverka värdet på DC krävs en dygnsmedelnederbörd av minst 2,9 mm.

Fuktkvoten i bränslet kan variera mellan 0 – 800 % vilket medför en förändring av värdet på DC från 0 – 1200+. Värdet på DC saknar egentligen, precis som värdet på DMC, en övre gräns och 1200 passeras sällan. Fördröjningskonstanten för DC är 53 dygn vilket innebär att värdet ändras långsamt och med ett tidsperspektiv som sträcker sig över flera månader.

Ett DC-värde på 300 indikerar att det kan finnas glödbränder i det kompakta humuslagret som fortsätter även efter det att branden har slocknat på ytan. Är värdet över 500 finns förutsättningar för en kontinuerlig glödbland vilket i extremfallet innebär att glödbland överlever, under vinterperioden, till nästa brandsäsong. Startvärdet för DC är 15 och mätningarna startar, precis som för DMC, tre dagar efter att den sista snön har smält bort i skogen. Ett startvärde på 15 indikerar att det djupa humuslagret har en hög fukthalt vilket i normalfallet stämmer väl efter en vinter med mycket nederbörd. Om vintermånaderna däremot har varit ovanligt fria från nederbörd behöver startvärdet på DC justeras för att bättre representera den verkliga fukthalten.

I tabell 5 presenteras en sammanställning av viktiga värden och intervall för FFMC, DMC och DC.

Tabell 5: Sammanställning för FFMC, DMC och DC.

	FFMC	DMC	DC
Marklager	Övre lager, finbränslen	Mellanlager, humus	Djupt lager, humus
Ingående parametrar	Temp, Nederbörd, RF, Vind	Temp, Nederbörd, RF	Temp, Nederbörd
Lagertjocklek	1,2 cm	7 cm	18 cm
Torrviktsdensitet	0,25 kg/m ²	5 kg/m ²	25 kg/m ²
Minsta nederbörd	0,6 mm	1,6 mm	2,9 mm
Maximalt vattenlager	0,62 mm	15 mm	100 mm
Fördröjningskonstant	2/3 dygn	15 dygn	53 dygn
Starttid	Vid brandsäsongens start	3 dagar efter snösmältning	3 dagar efter snösmältning
Startvärde	FFMC = 85	DMC = 6	DC = 15
Möjligt intervall	FFMC: 0 – 101	DMC: 0 – 150+	DC: 0 – 1200+
Representerad fuktkvot	0 – 250 %	20 – 300 %	0 – 800 %
Brännbarhetsgräns	FFMC = 75	DMC = 20	DC = 300

5.2.1.4. Initial Spread Index – ISI

Värdet på ISI beskriver den relativa brandspridningshastigheten, vilket innebär att ett högt värde representerar lättantändligt bränsle och en snabb brandspridning. Indata till ISI är dels värdet på FFMC men också den aktuella vindhastigheten. Värdet på ISI kan i operativa sammanhang uppdateras löpande under dagen efterhand som vindhastigheten ändras. Värdet på ISI kan variera från 0 – 50, men indexet saknar en egentlig övre gräns.

ISI har tre primära användningsområden:

- Med relativa mått beskriva potentiell brandspridningshastighet
- Fungera som en av två indataparametrar till FWI
- Utgöra en av de primära indataparametrarna till FBP

5.2.1.5. Buildup Index – BUI

Värdet på BUI beskriver med relativa mått vilken total mängd bränsle som finns tillgänglig för förbränning. Värdet är en kombination av DMC och DC, där DMC står för två tredjedelar och DC för en tredjedel. Även BUI är ett öppet index, vilket innebär att dess intervall 0 – 150+, saknar en övre gräns.

5.2.1.6. Fire Weather index – FWI

FWI sammanfattar avslutningsvis, baserat på värden från ISI och BUI, den aktuella brandrisken och det förväntade brandbeteendet. Även då värdet på FWI är relativt kan slutsatser dras kring

vilken typ av brandbeteende som kan väntas. I tabell 6 finns en kort beskrivning av brandbeteende kopplat till brandintensitetsklasser inom FWI.

Tabell 6: Exempel på brandintensitetsklasser och dess betydelse i kvantitativa mått.

Brandintensitetsklass	FWI	Frontintensitet [kW/m]	Flamlängd [m]	Flamhöjd [m]	
1	0 – 3	<10	<0,2	<0,1	Flygbränder självslocknar, glödbränder kan förekomma
2	4 – 13	10 – 500	0,2 – 1,4	0,1 – 1,0	Glödbrand alternativ måttlig ytbrand
3	14 – 23	500 – 2000	1,4 – 2,6	1,0 – 1,9	Kraftig ytbrand
4	24 – 28	2000 – 4000	2,6 – 3,5	1,9 – 2,5	Extremt intensiv ytbrand
5	29+	>4000	>3,5	>2,5	Trolig kronbrand

5.2.2. Systemets tillämpning

5.2.2.1. Bakgrund och grundläggande antaganden

De ekvationer som ligger till grund för FWI-systemet bygger på insamlad empirisk data från både verkliga bränder och testbränningar. Ekvationerna är baserade på en standardiserad bränsletyp bestående av banksianatall (*Pinus banksiana*) och contortatall (*Pinus contorta*). FWI-systemet tar endast hänsyn till väderparametrar vilket innebär att förändringar av topografi och bränsletyp bortses ifrån. All mätning av väderdata görs i Kanada klockan 12.00, alternativt 13.00 beroende på typ av tidssystem ("local standard time" alternativt "local daylight time"). De värden som FWI-systemet genererar är giltiga för den tid på dygnet då brandbeteendet är som mest intensivt. Denna tidpunkt inträffar kring klockan 16.00 respektive 17.00.

5.2.2.2. Beräkningsmetoder

Värden till samtliga subindex i FWI-systemet kommer från ekvationer som enklast beräknas med lämpligt datorprogram. I Kanada sker dessa beräkningar oftast centralt utgående från data uppmätt av lokala väderstationer. Systemets värden kan också beräknas manuellt med hjälp av en uppsättning tabeller. Värden som har beräknats med dessa tabeller anses stämma väl, men inte exakt, överrens med motsvarande datorberäkningar. Eftersom FWI endast är baserat på väderdata kan framtida brandriskprognoser också beräknas utifrån aktuella väderprognoser. (Van Wagner, 1987)

5.2.2.3. Tolkning av indexvärden

Samma värde på FWI kan fås med hjälp av en mängd olika kombinationer av FFMC, DMC, DC och vindhastighet. Detta medför att det är svårt att exakt beskriva förväntad brandrisk och förväntat brandbeteende endast med hjälp av värdet på FWI. Allmänt kan själva värdet på FWI anses vara lämpat för kommunikation med lekmän. Personer som arbetar med brandprognoser bör även utnyttja den information som går att utläsa från ISI och BUI. För speciella ändamål och syften, kan också värdefull information hämtas från FFMC, DMC och DC. (Van Wagner, 1987)

5.2.2.4. Riskklasser

För att på ett enkelt sätt beskriva den aktuella brandrisken används begreppet riskklasser. En indelning med riskklasser utgörs av intervall med olika värden på FWI. Eftersom förutsättningarna för skogsbränder varierar stort mellan olika geografiska platser varierar också gränserna för de olika intervallen (Van Wagner, 1987). I tabell 7 finns ett exempel som visar hur provinsen Ontario i Kanada använder riskklasser.

Tabell 7: Riskklasser kopplat till respektive FWI-intervall i Ontario, Kanada.

Riskklass – Ontario, Kanada	FWI
Low	0 – 3
Moderate	4 – 10
High	11 – 22
Extreme	23+

5.2.2.5. Latitud och årstid

Aktuell årstid påverkar FWI-systemet genom att antalet soltimmar per dag förändras. Ekvationerna bakom både DMC och DC har därför en inbyggd faktor som korrigerar för vilken månad mätningarna utförs. Även aktuell latitud påverkar antalet soltimmar, men här finns i dagsläget inte någon validerad korrektionsfaktor. Experiment har dock visat att en möjlig förbättring vore att, vid stigande latitud, progressivt senarelägga tiden för inhämtning av väderdata till FFMC. (Van Wagner, 1987)

5.2.3. FWI i Sverige

5.2.3.1. Bakgrund

Sedan länge har en såkallad hydrologisk avrinningsmodell, vid namn HBV, använts i Sverige. Modellen är utvecklad vid SMHI och används fortfarande parallellt med FWI-systemet för att skapa brandriskprognoser. Baserat på dygnsvärden för nederbörd och lufttemperatur producerar modellen ett markfuktighetsindex (1 – 5e).

År 1997 presenterade dåvarande Räddningsverket en rapport om brandriskprognoser. Rapporten, med namnet ”Brandriskprognoser med hjälp av en kanadensisk skogsbrandmodell”, är utarbetad av Marie Gardelin vid SMHI och behandlar statistik över verkligt antal bränder och hur väl data från FWI och HBV korrelerar med denna. I rapporten konstaterar Gardelin att FWI, under undersökningen, med gott resultat har kunnat användas för svenska förhållanden. FWI-systemet hade före undersökningen inte justerats specifikt för svenska förhållanden. (Gardelin, 1997)

Sedan 2001 presenteras under brandsäsongen värden på FWI genom systemet ”Brandrisk skog och mark”. Systemet, som är internetbaserat, har utvecklats av SMHI på uppdrag av MSB. Brandrisk skog och mark är tänkt att fungera som ett beslutsstöd för kommunal räddningstjänst och länsstyrelser i deras bedömning av brandbeteenden och brandrisk inför beslut om insatser,

eldningsförbud. Systemet används även som underlag för information om brandrisker i vegetation. (MSB, 2010)

5.2.3.2. Skillnader i systemanvändning mellan Kanada och Sverige

Sedan FWI-systemet började användas vid SMHI har inga förändringar av själva beräkningsmodellen genomförts. Det finns dock en del mer praktiska skillnader i hur systemet tillämpas. En sådan skillnad är indelningen i olika riskklasser, som i Sverige görs med hjälp av sex klasser: 1 – 5e. Indelningen har en historisk bakgrund och kommer av den indelning i riskklasser som sedan tidigare använts för brandprognosmodeller i Sverige. I tabell 8 finns svenska riskklasser, med tillhörande FWI-intervall.

Tabell 8: Sveriges riskklasser kopplat till respektive FWI-intervall (MSB, 2010).

Riskklass – Sverige	FWI
1	<1
2	1 – 6
3	7 – 16
4	17 – 21
5	22 – 27
5e	28+

Några andra skillnader mellan Sverige och Kanada är:

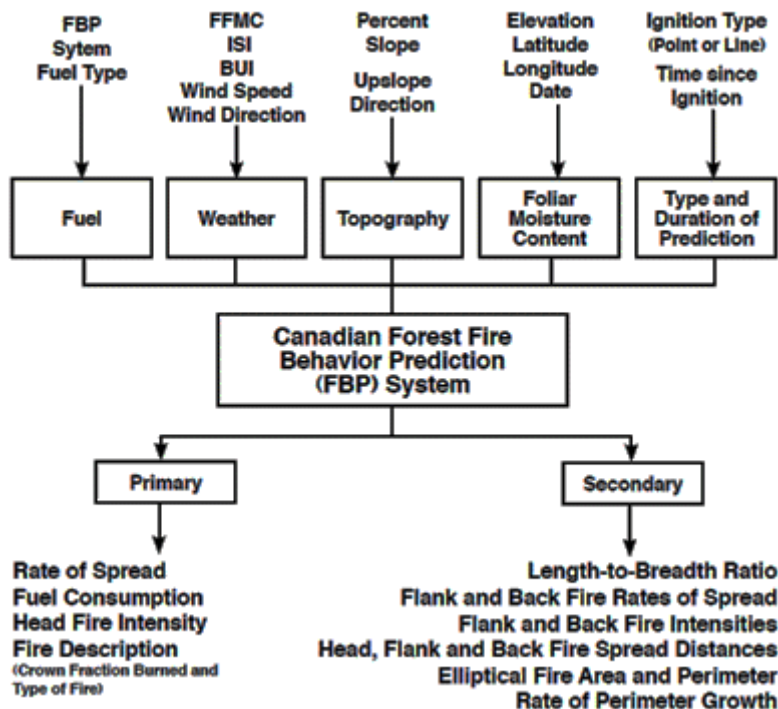
- Systemet startas varje år den 15:e februari. Detta sker oavsett när den sista snön smälter i skogen. I Kanada är tre dagar efter den sista snösmältningen den normala startpunkten.
- Startvärdet på DC är oberoende av mängden nederbörd under vinterperioden, vilket innebär att värdet på DC aldrig ”övervintras”, det vill säga värdet förs inte över till nästkommande säsong.
- Vid nederbörd i form av nysnö i samband med systemets uppstartande görs särskilda korrigeringar i syfte att ta hänsyn till de ändrade fuktförhållandena.
- Väderdata beräknas, vid svensk sommartid, klockan 14.00.

5.3. Canadian Forest Fire Behavior Prediction System

Via FWI-systemet fås en uppfattning om hur stor brandfaran i skog och mark är, givet uppmätta väderförhållanden. Relativa mått av en eventuell brands spridningshastighet och intensitet kan också utläsas. Canadian Forest Fire Behavior Prediction System (FBP) bygger vidare på dessa och korregerar dem med hjälp av ytterligare information. Resultatet blir kvantitativa mått som kan användas praktiskt för att prognostisera en brands beteende och spridning. Målgrupp är exempelvis räddningstjänster, skogsbolag, försäkringsbolag och forskare.

5.3.1. Systemets struktur

FBP kan ses hierarkiskt uppbyggt enligt figur 3. Som figuren visar, kan indataparametrarna delas in i fem generella grupper; vegetation, väder, topografi, fukthalt i barr, samt brandtyp och förloppen tid (Hirsch, 1996). Dessa behandlas sedan i de empiriska ekvationer, samband och modeller som utgör FBP.



Figur 3: Struktur hos FBP (Taylor & Alexander, 2006).
(publicerat med tillstånd av dr Marty Alexander, Canadian Forest Service, 2010-11-10).

Resultatet kan sedan delas in i primär och sekundär utdata. De primära utdatavärdena syftar till att visa frontens egenskaper gällande spridningshastighet, bränslekonsumtion och intensitet. Även en beskrivning av branden sett till vilket stadium den befinner sig i redovisas (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992). De sekundära utdatavärdena beskriver branden i dess övriga riktningar; brandryggen, samt höger och vänster flank. Dessa värden bygger på en elliptisk spridningsmodell, varför det även framgår vilken area och omkrets branden kan förväntas ha efter att ha spridits en given distans. Även brandspridningens längd- till breddförhållande ingår i de sekundära utdatavärdena (Hirsch, 1996).

De olika stegen gällande både in- och utdata beskrivs mer noggrant nedan under respektive rubrik. Principen för arbetsprocessen är kortfattat i punktform:

1. Identifiera lämplig bränsletyp.
2. Notera uppmätt FFMC och utför en eventuell dygnsjustering.
3. Ta fram fiktiv vindhastighet efter en eventuell topografisk inverkan.
4. Notera aktuell vindhastighet och addera eventuell fiktiv vindhastighet.
5. Justera ISI med FFMC och vindhastighet.
6. Notera uppmätt BUI.
7. Bestäm de primära utdatavärdena med hjälp av bränsletyp, BUI och justerat ISI.
8. Bestäm de sekundära utdatavärdena.

Då FBP är en empirisk modell som tillämpas med hjälp av tabulaturer och digitala hjälpmedel kommer användaren i en normal situation inte i kontakt med de matematiska samband och statistiska data som utgör grunden i systemet. Författarna anser det därför överflödigt att redogöra för dessa samband och hänvisar den intresserade läsaren till utvecklingslitteraturen; Forestry Canada Fire Danger Group (1992), Wotton, Alexander, & Taylor (2009).

5.3.4. Indataparametrar

Det finns ett flertal indataparametrar till FBP och dessa kan generellt delas in i grupperna: vegetation, väder, topografi, fukthalt i barr, samt brandtyp och förloppen tid. Nedan ges korta beskrivningar av respektive parameter samt eventuella beräkningsprocedurer.

5.3.4.1. Vegetation

En primär skillnad mot FWI, är den att FBP beaktar vilken vegetation som konsumeras av branden. Genom en generalisering och indelning av vegetationen i olika bränsletyper tas hänsyn till en rad faktorer som påverkar hur en brand sprider sig. Kompakthet, mängd och fördelning av bränsle är exempel på sådana faktorer. Definitionsmässigt ska en bränsletyp beskriva en vegetation som har en sådan enhetlig sammansättning att en brands spridningshastighet, förutsatt kontinuerlig och tillräcklig bränslearea, uppnår ett jämviktsläge (Hirsch, 1996). Syftet med bränsletyper är att användaren snabbt ska kunna identifiera förhållandena i sin omgivning och på ett enkelt sätt kunna beräkna brandbeteendet.

Kopplat till FBP finns idag 16 stycken olika bränsletyper som till stor del representerar de olika vegetationstyper som finns i Kanada. Bränsletyperna är indelade i fem undergrupper; barrskog (Coniferous), lövskog (Deciduous), blandskog (Mixedwood), hygge (Slash) och gräsäng (Open). FWI är baserat på bränsletypen ”Mature jack or lodgepole pine”, tillhörande gruppen barrskog med beteckningen C-3, som består av tätt stående tallar av arterna banksianatall (*Pinus banksiana*) och contortatall (*Pinus contorta*). I tabell 9 redovisas samtliga bränsletyper inom FBP i Kanada med svensk översättning. Vidare kommer respektive bränsletyps beteckning att användas vid referering.

Tabell 9: Befintliga bränsletyper inom FBP.

Grupp	Beteckning	Namn	Svensk översättning
Barrskog	C-1	Spruce-Lichen Woodland	Gran och renlav
	C-2	Boreal Spruce	Boreal gran
	C-3	Mature Jack or Lodgepole Pine	Mogen banksiana- (<i>Pinus banksiana</i>) och contortatall (<i>Pinus contorta</i>)
	C-4	Immature Jack och Lodgepole Pine	Ung banksiana- (<i>Pinus banksiana</i>) och contortatall (<i>Pinus contorta</i>)
	C-5	Red and White Pine	Röd- (<i>Pinus resinosa</i>) och weymouthtall (<i>Pinus strobus</i>)
	C-6	Conifer Plantation	Barrskogsplantering
	C-7	Panderosa Pine/Douglas-fir	Gultall (<i>Pinus ponderosa</i>) och douglasgran (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)
Lövskog	D-1	Leafless Apen	Lövlös asp (<i>Populus tremula</i>)
Blandskog	M-1	Boreal Mixedwood – Leafless	Boreal blandskog – lövlöst
	M-2	Boreal Mixedwood – Green	Boreal blandskog – lövbeklätt
	M-3	Dead Balsam Fir/Mixedwood – Leafless	Död balsamgran (<i>Abies balsamea</i>)/blandskog – lövlöst
	M-4	Dead Balsam Fir/Mixedwood – Green	Död balsamgran (<i>Abies balsamea</i>)/blandskog – lövbeklätt
Hygge	S-1	Jack or Lodgepole Pine Slash	Hygge av banksiana- (<i>Pinus banksiana</i>) och contortatall (<i>Pinus contorta</i>)
	S-2	White Spruce/Balsam Slash	Hygge av vit- (<i>Picea glauca</i>) och balsamgran (<i>Abies balsamea</i>)
	S-3	Coastal Cedar/Hemlock/Douglas-fir Slash	Hygge av kustnära ceder (<i>Cedrus</i>)/hemlocksgran (<i>Tsuga</i>)/douglasgran (<i>Pseudotsuga menziesii</i>)
Gräsäng	O-1a	Matted grass	Kompakterat gräs
	O-1b	Standing grass	Stående gräs

Mer specifikt kan bränsletyperna beskrivas utifrån flertalet nivåer och aspekter, exempelvis:

- Organiskt bränsle – Humusens djup och kompakthet.
- Finbränsle – Finbränslet närmast ytan. Arter, andel levande/dött, kompakthet och utbredning.
- Ytbränsle – Övre lagret av finbränslet. Arter, andel levande/dött, kompakthet och utbredning.
- Stegbränsle – Från busknivå upp till trädkronornas botten. Utbredning, arter, densitet, höjd till trädkronorna, skyddad andel av finbränslet.
- Struktur och komposition – Krondensitet, beståndets ålder, andel levande kronbränsle, horisontell och vertikal kontinuitet.
- Platsspecifika förhållanden – Djup till grundvattennivå, generell fukthalt, utbredningsområden.

För att ytterligare förtydliga hur en bränsletyp kan beskrivas enligt dessa punkter ges här ett exempel, hämtat från Forestry Canada Fire Danger Group (1992, s.12) där C-3 beskrivs, översatt till svenska.

”Bränsletyp C-3 (banksiana- och contortatall):

Organiskt- och finbränsle: Kontinuerligt lager av väggmossa, medeldjupt och kompakt organiskt lager.

Yt- och stegbränsle: Gles undervegetation av barrträd, gles utbredning av fallna träd och döda växter, trädkronorna är separerade från marken.

Ståndets struktur och komposition: Tättbevuxta banksiana- och contortatallar, mogen ålder.”

De framtagna bränsletyperna är inte heltäckande för Kanada, och stämmer sällan exakt, vilket medför att vissa antaganden måste göras på plats. Vid val av bränsletyp är inte överensstämmandegraden mellan de faktiska och de i bränsletypen beskrivna arterna den mest primära faktorn. Av lika stor vikt är exempelvis att grendensitet, kronhöjd samt kompaktet och tjocklek hos markbränslet liknar det hos den sökta bränsletypen. I de fall som är svårbedömda, eller då det inte finns en passande bränsletyp sett till artkompositionen, görs en generell bedömning av bränslets struktur och karaktär.

5.3.4.2. Väder

Väderparametrarna ges av FWI med vissa korrigeringar och tillägg. Vinden är den mest varierande parametern. Till skillnad från FWI behöver FBP även vindens riktning för att se åt vilket håll branden kommer att sprida sig, samt för att eventuellt korrigera vindhastighet och riktning då topografiska höjdskillnader förekommer. Detta diskuteras mer ingående under nästkommande rubrik.

FFMC ges klockan 13.00 men gäller för när brandrisken är som högst vid klockan 17.00. Under dygnet varierar dock temperatur, vind och relativ fuktighet, dessutom kan nederbörd tillfalla efter mätillfället. För att få en mer rättvisande bild av fukthalten i finbränslet eftersträvas därför, till skillnad från FWI, att justera FFMC efter tid på dygnet. FFMC kan tas fram på tre olika sätt:

- Använda dagens givna FFMC som ges vid klockan 13.00, likt FWI.
- Använda dagens givna FFMC men justera den efter en dygnsnyckelkurva som antar att en standardvariation av väderparametrarna råder under dygnet.
- Använda ett externt beräkningsprogram med väderdata för aktuell timme.

Om branden rör sig över platt terräng saknar topografin inverkan på ISI varför detta värde nu kan bestämmas utgående från den uppmätta vindhastigheten och ett, eventuellt korrigerat, FFMC.

Den relativa bränslemängden, BUI, är densamma som beräknats av FWI-systemet utifrån de djupare markskiktens fukthalter, DMC och DC.

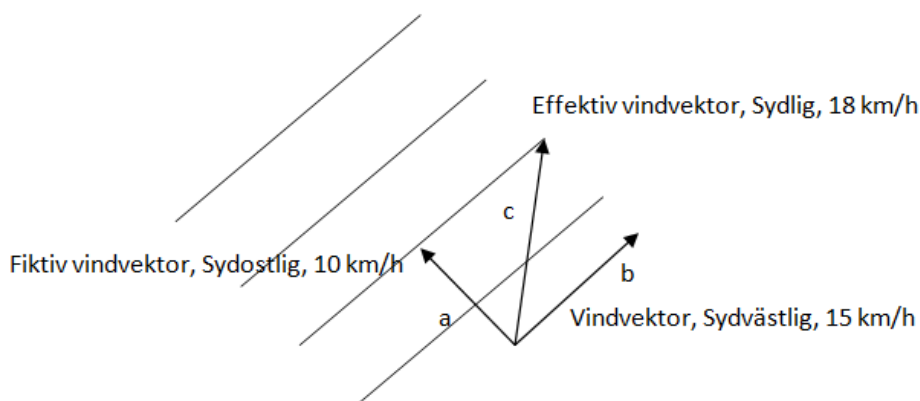
5.3.4.3. Topografi

Landskapets topografiska profil spelar en avgörande roll gällande spridningshastighet och riktning hos branden. För att ta hänsyn till detta korrigeras ISI utgående från en ny vindhastighet. Effekten från markens lutning ersätts med en fiktiv vindhastighet som beror av markens lutning i procent (formel 1) samt i vilken riktning backen lutar. Beräkningen av den fiktiva vindhastigheten påverkas också av den aktuella bränsletypen.

Formel 1: Beräkning av procentuell lutning.

$$\text{Lutning i procent} = \frac{\text{Vertikal stigning}}{\text{Horisontell sträcka}}$$

Genom vektorsumivering av den fiktiva vindhastigheten och den verkliga vindhastigheten fås en effektiv vindhastighet som sedan kan utnyttjas för att bestämma ISI. Vektorsumivering resulterar även i vilken riktning branden kommer att sprida sig. Nedan ges ett räkneexempel illustrerat i figur 5.



Figur 5: Räkneexempel för summering av vindvektorer.

Vinden är uppmätt till 15 km/h och har en sydvästlig riktning. Branden kommer att passera en sydostlig sluttning med lutningen 40 % i bränsletypen C-6 vilket enligt fältmanualen (Taylor et al., 1997) ger en fiktiv vindhastighet av 10 km/h. Vektorsumivering kan nu utföras med exempelvis Pythagoras sats (formel 2).

Formel 2: Pythagoras sats.

$$c^2 = a^2 + b^2 \Leftrightarrow c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{10^2 + 15^2} = 18 \text{ km/h}$$

Den effektiva vindhastigheten blir alltså 18 km/h med en sydlig riktning.

5.3.4.4. Fukthalt i barr

Fukthalten i barr (Foliar Moisture Content, FMC) avser barr, ett år eller äldre, som fortfarande utgör en del av kronbränslet. FMC bestäms utifrån longitud, latitud, höjd över havet och datum. Den varierar mellan 80 och 120 % under säsongen, dock antas oftast ett värde på 97 % (Taylor et al., 1997) varför användaren inte behöver visa särskild hänsyn till denna faktor. FMC har en

avgörande roll i barrskog gällande huruvida en ytbrand kommer att övergå till en kronbrand. Betydelse finns även vid bestämmande av en eventuell kronbrands spridningshastighet. Denna effekt försummas dock av alla bränsletyper, förutom C-6, då det statistiska underlaget bakom FMC är begränsat (Forestry Canada Fire Danger Group, 1992).

Noterbart är att det dock saknas en vetenskapligt bevisad teoretisk koppling mellan FMC och brandbeteende (CIFFC, 2010).

5.3.4.5. Brandtyp och förlupen tid

Brandtyp avser hur branden startade och FBP skiljer här på punktkälla och linjekälla. En brand som antänts genom exempelvis blixtnedslag beräknas utgå från en punktkälla. Branden antas då vara i en accelererande fas till dess att den har uppnått sin jämviktshastighet. En brand antas ha en linjekälla om den startas med hjälp av en linjeantändning eller om en flank förvandlas till en front på grund av ett skifte i vindriktning. Branden antas då omedelbart ha uppnått sitt jämviktssläge.

Tiden är av betydelse för att dels kunna avgöra hur stor accelerationen är till dess att ett jämviktssläge har uppnåtts, samt för att avgöra hur långt branden har hunnit sprida sig efter antändning. Tumregeln ger att efter 20 minuter har branden nått 90 % av sin slutgiltiga spridningshastighet. Regeln förutsätter dock en låg krondensitet. Vid en högre krondensitet kan tiden variera mellan 20 till 75 minuter. Upp till dessa tidsgränser avtar accelerationen exponentiellt. (Hirsch, 1996)

För att kunna bestämma de primära utdatavärdena krävs det dock att branden har uppnått sin jämviktshastighet. Vid inledningsskedet av en brand med en punktkälla får användaren därför bruka särskilda accelerationskurvor där procentandel av jämviktshastighet är en funktion av tiden sedan antändning.

5.3.5. Primär utdata

FBP har fyra primära utdatavärden; frontens spridningshastighet, bränslekonsumtion och intensitet, samt beskrivning av branden. Beskrivningen avser huruvida det är en ytbrand, en intermittent kronbrand eller en kontinuerlig kronbrand. Indataparametrarna är justerade enligt tidigare beskrivning.

5.3.5.1. Frontens spridningshastighet, bränslekonsumtion och intensitet

De tre förstnämnda bygger, i teorin, till stor del på en ekvation (formel 3) som beskriver intensiteten I [kW/m] hos en brand som en funktion av bränslets förbränningsvärme H [kJ/kg], mängd bränsle w [kg/m²] och brandspridningshastighet r [m/sek] (Byram, 1959). Inom FBP antas ett generellt förbränningsvärme på 18 000 kJ/kg (Hirsch, 1996).

Formel 3: Byrams intensitetsekvation (Byram, 1959).

$$I = H \cdot w \cdot r$$

Frontens spridningshastighet bestäms separat för respektive bränsletyp utgående från BUI, där hänsyn tas till ökad mängd tillgängligt bränsle, samt ett korrigerat ISI.

Bränslekonsumtion presenteras inte i ett givet värde men kan fås via diagram där denna egenskap är en funktion av BUI och är unik för respektive bränsletyp. FBP beräknar bränslekonsumtionen, dels av markbränslet exklusivt, men även den totala konsumtionen inklusive kronbränslet. Markens bränslekonsumtion används för att bestämma huruvida det kan bli en övergång till kronbrand eller inte.

Frontens intensitet ges i samband med spridningshastigheten och är indelad i sex intensitetsklasser (tabell 10).

Tabell 10: Intensitetsklasser i FBP (Taylor et al., 1997).

Klass	Intensitetsintervall
1.	< 10 kW/m
2.	10-500 kW/m
3.	500-2 000 kW/m
4.	2 000-4 000 kW/m
5.	4 000-10 000 kW/m
6.	> 10 000 kW/m

5.3.5.2. Typ av brand

För att bestämma huruvida en brand kommer att utvecklas till en kronbrand eller ej, görs beräkningar med hjälp av Van Wagners crown fire theory (Van Wagner, 1977). Kronbrand antas endast kunna utvecklas i barr- och blandskog. Van Wagner (1977) nämner tre typer av kronbränder; passiv kronbrand (passive crown fire), aktiv kronbrand (active crown fire) och oberoende kronbrand (independent crown fire).

- Passiv kronbrand – Enstaka träd antänds (touching) och påverkar intensiteten något men skiljer sig dock inte avsevärt från en normal ytbrand.
- Aktiv kronbrand – Kronbränslet är antänt med sammanhängande flamspridning. Branden sprider sig hos yt- och kronbränslet och är beroende av varandra.
- Oberoende kronbrand – Flamspridning i kronbränslet kan ske oberoende av ett eventuellt antänt ytbränsle.

Faktorer som påverkar är bränslekonsumtion hos ytbränslet (vilken resulterar i en intensitet enligt Byrams (1959) intensitetsekvation), fukthalten i barr samt höjden till kronbränslet och dess densitet.

Enligt Van Wagners crown fire theory (1977) kan den intensitet I [kW/m] som krävs för att en ytbrand ska övergå till en kronbrand beräknas enligt en ekvation som beror av höjden mellan

marken och det levande kronbränslet Z [m] och nödvändig antändningsenergi h [kJ/kg] (formel 5). Antändningsenergin h beror i sin tur av ytbränslets fukthalt m [%] (formel 4).

Formel 4: Antändningsenergi (Van Wagner, 1977).

$$h = 460 + 26 \cdot m$$

Formel 5: Intensitet (Van Wagner, 1977).

$$I = (0,01 \cdot Z \cdot h)^{1,5}$$

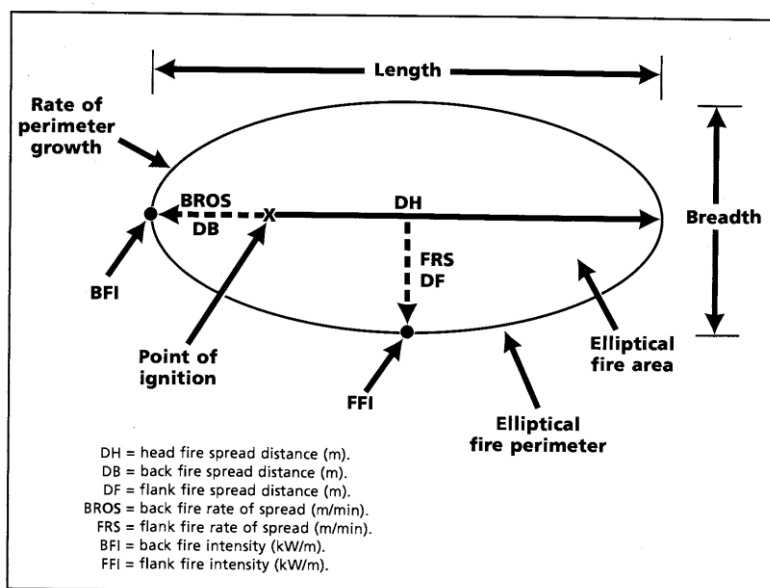
Om den, enligt Van Wagners crown fire theory, beräknade intensiteten för ytbränslet överstiger den verkliga kan kronbränslet antas bli involverat i brandförloppet. Detta speglas sedan i hur stor andel av kronbränslet som är antänt (Crown fraction burned). I FBP:s fälthandbok (Taylor et al., 1997) ges sedan brandtyp enligt följande; ytbrand vid mindre än 10 %, intermittent kronbrand vid 10 – 89 %, och kontinuerlig kronbrand vid lika med eller mer än 90 % (Hirsch, 1996). Denna parameter fås samtidigt som spridningshastighet och intensitetsintervall vid användning av fältmanualen (Taylor et al., 1997).

Då intervallet mellan en intermittent kronbrand och en kontinuerlig kronbrand är relativt stort bör detta värde användas i kombination med övriga utdata, så som intensitet och bränslekonsumtion.

5.3.6. Sekundär utdata

En brand som antänds från en punktkälla utgår alltid från en cirkelspridning, men antar oftast en oval form givet att vindriktningen är konstant. Detta är bakgrunden till den elliptiska modell som FBP använder sig av, se figur 6. Antaganden som görs är att bränslet är homogent och har en kontinuerlig utbredning, att topografin är homogen och enkel, samt att vindhastigheten och dess riktning är konstant. Med den elliptiska modellen fås följande sekundära utdata:

- Brandens acceleration
- Frontens spridningsdistans
- Ryggens spridningshastighet och spridningsdistans
- Längd- och breddförhållande
- Flankernas spridningshastighet och spridningsdistans
- Elliptisk area
- Elliptisk omkrets
- Omkretsens tillväxthastighet
- Flankernas och ryggens intensitet



Figur 6: Elliptisk modell som används vid beräkning av sekundära utdatavärden (Hirsch, 1996).
(publicerat med tillstånd av Marty Alexander, Canadian Forest Service, 2010-11-10)

5.3.7. Antaganden och begränsningar

FBP är en empirisk modell och bygger därav på statistik och insamlad data som har bearbetats och analyserats för att finna korrelationer och samband. Begränsningen som detta medför är att FBP är avgränsat till att endast gälla de bränsletyper som finns framtagna. Övriga antaganden och begränsningar är:

- Bränslemängden för respektive bränsletyp, förutom gräsäng (O-1a, O-1b), är fördefinierade.
- Vid kronbrand bidrar endast blad och barr till frontens intensitet.
- Förhållandet mellan ISI och spridningshastighet för blandskog (M-1, M-2, M-3, M-4) bygger på C-2 och D-1.
- Fulthalten i blad och barr påverkar endast spridningshastigheten hos C-6 på grund av begränsad data.
- Data gällande fukthalten i barr, samt bränslekonsumtion är begränsad.
- Hänsyn till terrängens lutning kan endast göras upp till 60 %.
- Gräs är inte brännbart om mindre än hälften är uttorkat.
- Effekten från BUI är inte statistiskt säkerställd.
- Ryggens spridningshastighet är inte statistiskt säkerställd.

5.3.8. Applikationer av systemet

5.3.8.1. The red book

Operativt tillämpas FBP främst genom en fälthandbok (Taylor et al., 1997) som i vardagligt tal benämns ”The red book” på grund av sitt utseende. Fälthandboken är logiskt uppbyggd och följer arbetsschemat som beskrivs översiktligt i Kapitel 5.3.3. Via tabulatur behandlas indata-parametrarna en i taget och korrigeras enligt tidigare beskrivning. I slutet av arbets-processen erhålls utdata som sedan kan användas för vidare analys av brandspridningen spatialt och i tiden.

För att förtydliga för läsaren hur en hel simulering genomförs finns ett exempel redovisat i Bilaga A som anknyter mer konkret till det tidigare beskrivna arbetsschemat.

Vid större bränder används operativt i Kanada oftast dedikerade brandbeteendeanalytiker som är koncentrerade på att försöka beräkna brandens beteende och spridning. Efter att en simulering har utförts görs då oftast en rapport i som sedan utgör ett beslutsunderlag för insatsledaren.

Denna rapport specificerar vanligtvis:

- Alla väderparametrar och index från FWI.
- Brandväderprognos – Specifika väderförhållanden som kan komma att påverka brandens utveckling eller släckinsatsen. Exempelvis passerandet av en kallfront, instabila luftmassor och annalkande åskväder.
- Brandbeteendeprognois – Hur branden kommer att påverkas utifrån vad som beskrivits i brandväderprognosen och simuleringen i FBP. Exempelvis skapandet av en rökpelare, ändring av spridningsriktning, spridningshastighet, intensitet och typ av brand som kan förväntas.
- Säkerhetsaspekter – Hur branden ska angripas och vilka åtgärder som ska vidtas för att värna om säkerheten för släckpersonalen. Exempelvis kan intensiteten visa sig vara för stark vilket medför att direkt angrepp bör undvikas.

Förutom redan nämnda antaganden gällande FBP i stort tillkommer en del i fältmanualen. Dessa är viktiga att känna till för att in- eller utdata inte ska misstolkas och ge en felaktig bild av brandspridningen. Nedan följer de generella antaganden som finns angivna i fälthandboken (Taylor et al., 1997):

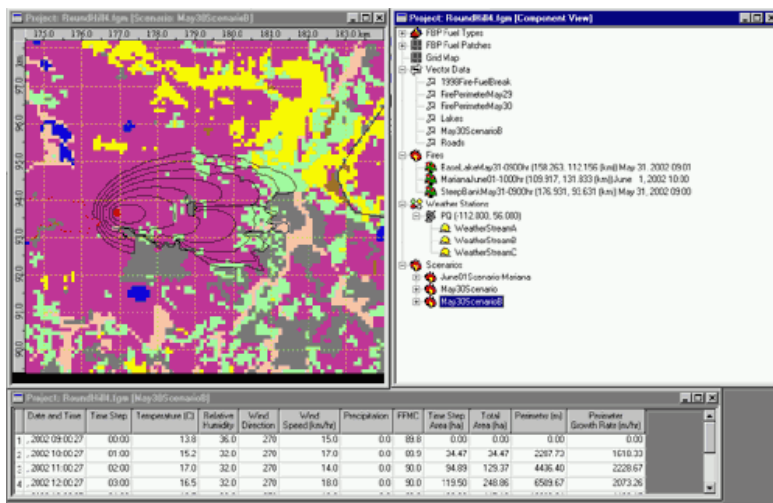
- Bränsleförhållandena liknar någon av de fördefinierade bränsletyperna.
- Fuktkoderna (FFMC, DMC och DC) är aktuella och representativa för brandplatsen.
- Bränslet är homogent och har en kontinuerlig utbredning.
- Topografin är homogen och av enkel form.
- Vindens hastighet är kontinuerlig, saknar riktning och är uppmätt vid 10 m höjd på en öppen yta.
- Branden är vinddriven (med hänsyn tagen till topografin) och påverkas inte av rökpelaren.
- Branden brinner fritt utan påverkan från släckoperationer.
- Hänsyn är tagen för flygbränder.

Vid ett korrekt val av indataparametrar ska utdatavärdena kunna resultera i en exakthet av ± 20 % för spridningshastigheter över 3 m/min. Vid spridningshastigheter under 3 m/min samt vid BUI mindre än 20 är exaktheten mindre.

Det finns även en digital form av fälthandboken vid namn ”Behave Plus by Remsoft” med hög användarvänlighet. Programmet används vid större bränder då snabba svar krävs och indataparametrarna snabbt kan skifta. Programmet ska icke förväxlas med den amerikanska motsvarigheten till FBP vid namn ”Behave Plus”.

5.3.8.2. Prometheus

Prometheus, se figur 7, erbjuder ett grafiskt gränssnitt baserat på FBP som kopplar samman Geografiska Informationssystem (GIS) med topografisk data, väderstationer och karterade bränsletyper. Programmet renderar en grafisk representation av brandspridningen, med de olika utdatavärdena, på en karta över det aktuella området vilket underlättar för användaren att få en spatial uppfattning av branden. En möjlighet finns att i programmet konstruera brandgator för att se vilken bredd och vilket avstånd från brandfronten som dessa bör ha.



Figur 7: Skärmdump av Prometheus (Tymstra, 2010).

Detta verktyg är fortfarande under utveckling men arbetet är långt framskridet och implementeringar i operativ verksamhet har börjat göras i liten skala, då främst i valideringssyfte.

5.3.9. Tillämpningsområden

Nyttan i att kunna förutse hur en brand kommer att sprida sig finns inom ett flertal områden. Räddningstjänster kan finna fördelar med FBP främst som operativt beslutsstöd.

- Genom att veta vart och när fronten kommer passera kan motåtgärder som brandgator dimensioneras och förberedas i tid.
- Brandmännens säkerhet kan uppmärksammas och förbättras.
- Evakuering av samhällen kan annonseras och utföras på ett effektivt sätt.
- Beslutsunderlag kan tas fram vid bedömning av huruvida branden är värd att släcka i förhållande till de värden som kan komma att beröras, det vill säga en kostnad/nyttoanalys.

Planering och placering av släckresurser, val av angreppsmetoder, varningar till, och eventuell evakuering av, allmänheten är alltså några av de operativa användningsområden där FBP kan tillämpas.

Bortsett från de operativa finns flera tillämpningsmöjligheter inom de rent förebyggande och förberedande områdena.

- Utformande av insatsplaner för att förenkla framtida släckningsarbeten.
- Val av förebyggande åtgärder, exempelvis undanröjning av dött bränsle och införskaffande av rätt materiel.
- Underlag för eldningsförbud.
- Insatsledare vet förväntat brandbeteende redan på morgonen om det uppstår brand under aktuell dag. Säkerhetsåtgärder kan som följd vidtas i god tid.
- Skapande av fallstudier för utredningar och utbildning.
- Kontroll, granskning och utformning av säkerhetsrutiner.

Skogsägare kan identifiera sig med många av de fördelar som räddningstjänsten ser med FBP.

- Natur- och hyggesbränningar kan utföras på ett effektivare sätt, samt uppnå uppsatta ekologiska mål.
- Naturvårdsplaner kan utformas utifrån simulering av historiska bränder inom en brandregim.

Inom forskningen kan systemet vara till gagn för områden som klimatförändringar, analys av brandregimer, klassificering av brandfara, matematisk modellering av brandbeteende och definiering av bränsletyper.

6. Implementeringsmöjligheter i Sverige

Om Sverige ska kunna implementera FBP krävs mycket arbete inom flera områden. Här redogörs för vilka förutsättningarna är, vilka problem som måste lösas samt vart arbetet bör inriktas. För att skildra en liknande situation beskrivs den utvecklingsprocess Nya Zeeland har genomgått vid sin implementering av just FBP.

6.1. Behovsundersökning

6.1.1. Bakgrund

Ett syfte med behovsundersökningen var att få information om hur de svenska räddningstjänsterna, med hjälp av brandprognosverktyg, arbetar förebyggande och operativt med skogsbränder. Ett annat syfte var att undersöka vilket upplevt behov som finns för ett system liknande FBP. Undersökning riktade sig till 15 räddningstjänster som valts ut i samråd med MSB och de externa handledarna. Målet har varit att välja räddningstjänster som både regelbundet bekämpar skogsbränder och som kan anses vara representativa för landets olika typer av räddningstjänster. Tyvärr har svarsfrekvensen varit låg vilket medför att samtliga slutsatser är baserade på ett begränsat underlag.

6.1.2. Utvalda räddningstjänster

I tabell 11 redovisas de räddningstjänster som blev kontaktade, och som lämnade svar inom tidsramen för examensarbetets genomförande.

Tabell 11: De räddningstjänster som har redovisat svar i undersökningen.

Område	Räddningstjänst
Jönköping	Vaggeryd/RäddSamF
Kungälv och Ale	Räddningstjänsten i Kungälv och Ale
Årjäng	Årjängs räddningstjänst
Kalmar	Kalmar brandkår
Lycksele	Räddningstjänsten Lycksele
Gotland	Gotlands räddningstjänst
Orsa	Räddningstjänsten i Orsa
Strömstad	Räddningstjänsten Strömstad

6.1.3. Metod

Samtliga räddningstjänster kontaktades via e-post där det framgick varför undersökningen genomfördes, se Bilaga B. Bifogat fanns också en kort beskrivning av FBP och dess användningsområde. Frågornas ställdes, och svaren lämnades, med hjälp av ett elektroniskt frågeformulär.

6.1.4. Frågeställning

I tabell 12 återfinns de frågor som fanns med i det elektroniska frågeformuläret. På samtliga frågor, undantaget fråga 5, 7, 9, 12 och 14, fanns möjlighet att lämna ett fritt skrivet svar. På fråga

fem fanns fyra olika svarsalternativ med ett intervall från ”aldrig” till ”varje dag under brandsäsongen”.

Tabell 12: Sammanställning av frågor.

1	Vilken räddningstjänst representerar Ni?
2	I genomsnitt, hur många skogsbränder rycker Er räddningstjänst ut på varje år?
3	Uppskattningsvis hur många hektar brinner totalt varje år?
4	Vilket/vilka beslutstöd använder Ni vid bedömning av införande/upphävande av eldningsförbud?
5	Till vilken omfattning utnyttjar Er räddningstjänst systemet ”Brandrisk Skog & Mark”?
6	För vilka syften används systemet?
7	Känner Ni till FWI sedan tidigare?
8	Om ja, i vilka sammanhang använder Ni FWI som beslutstöd?
9	Känner Ni till HBV sedan tidigare?
10	Om ja, i vilka sammanhang använder Ni HBV som beslutstöd?
11	Operativt, hur uppskattar Ni förväntad brandspridning vid en pågående skogsbrand?
12	Känner Ni till FBP sedan tidigare?
13	Om ja, från var har Ni fått information om FBP?
14	Anser Ni att det finns ett operativt behov för ett system liknande FBP?
15	Motivera gärna svaret på föregående fråga!
16	Vad anser Ni att Er räddningstjänst saknar för att bättre kunna hantera skogsbränder i framtiden?

6.1.5. Resultat och diskussion

Fråga 2 - Antal skogsbränder per år

Spridningen bland de tillfrågade räddningstjänsterna är relativt stor vilket troligen kan beror både på olika lokala förhållanden samt på hur gränsen för vad som klassas som en skogsbrand definieras. Antalet skogsbränder per år varierar från 0 – 100.

Fråga 3 - Antal hektar per år

Av samma anledning som för föregående fråga är spridningen relativt stor. Det rör sig om små arealer, mellan 1 – 20 ha, vilket också känns naturligt då det i modern tid endast finns ett tretio-tal kända bränder med en avbrunnen areal på över 100 ha (Lundblad, 2006).

Fråga 4 - Beslutsstöd vid införande/upphävande av eldningsförbud

Ett flertal räddningstjänster besvarar frågan med att de använder sig av många olika beslutstöd i samband med införande och upphävande av eldningsförbud. Mest vanligt är att beslutet grundas på information från någon vädertjänst samt på information från systemet Brandrisk skog och mark. I vissa län fattar länsstyrelsen beslut kring eldningsförbud.

Tabell 13: Vilken typ av beslutsstöd som räddningstjänsterna använder sig av (samma räddningstjänst kan använda sig av ett flertal olika beslutsstöd).

Typ av beslutsstöd	Antal räddningstjänster
Länsstyrelsen	1
Brandrisk skog och mark	5
SMHI och andra vädertjänster	4

Fråga 5 – Till vilken omfattning utnyttjas Brandrisk skog och mark

De räddningstjänster som använder systemet i syfte att fatta beslut kring eldningsförbud och skogsbrandflyg utnyttjar inte oväntat systemet regelbundet under brandsäsongen. Att endast en av de tillfrågade räddningstjänsterna svarar att de aldrig använder systemet tyder på en stor utbredning.

Tabell 14: Användning av Brandrisk i Skog och mark.

Svarsalternativ	Antal svar
Varje dag under brandsäsongen	3
Till och från under brandsäsongen	2
Någon enstaka gång	2
Aldrig	1

Fråga 6 – För vilka syften används systemet

Systemet används med många olika syften. I extremfallet utnyttjas FWI, med tillhörande subindex, i syfte att löpande följa hur aktuell nederbörd påverkar brandrisken.

”För att följa läget och kunna se trender och hur stora eller små regn påverkar brandrisken. Utnyttjar underliggande värden mycket och inte bara FWI-värdet” - Vaggeryd/RäddSamF

Ett mer vanligt förekommande användningsområde är informationsinhämtning kring eldningsförbud och för att skapa interna lägesrapporter.

Fråga 7 – Kännedom om FWI

Samtliga räddningstjänster svarar att de känner till FWI sedan tidigare. Resultatet visar att det finns en god kännedom om FWI. Detta är troligen en följd av systemet Brandrisk Skog och Marks utbredning bland räddningstjänsterna.

Fråga 8 – I vilka sammanhang används FWI som beslutsstöd

Det verkar tyvärr som om frågan har missuppfattats då många svar behandlar hur ofta FWI används istället för hur det används. En räddningstjänst svarar dock att FWI och dess subindex utgör underlag för både taktiska omgrupperingar och utökad beredskap vid extrema brandförhållanden. En annan räddningstjänst använder FWI som underlag till eldningsförbud. Några räddningstjänster använder inte informationen från FWI alls.

Fråga 9 – Kännedom om HBV

Sju av åtta räddningstjänster svarar att de känner till HBV sedan tidigare. Resultatet liknar det för fråga 7 och även här är Brandrisk Skog och Marks stora utbredning en trolig förklaring.

Fråga 10 – I vilka sammanhang används HBV som beslutsstöd

Svaren är desamma som för fråga 8. En förklaring kan vara att de räddningstjänster som använder FWI också utnyttjar HBV och vice versa.

Fråga 11 – Operativ uppskattning av spridningshastighet

Svaren varierar stort till följd av frågans frissvarskaraktär. En slutsats är dock att de allra flesta räddningstjänsterna endast använder sig av manuella och intuitiva uppskattningar av spridningshastigheten. Vanligt är att uppskattningen baseras på väderprognoser och i några fall också på information från FWI och HBV.

Fråga 12 – Kännedom om FBP

Endast en räddningstjänst svarar att de känner till FBP sedan tidigare. Med tanke på den relativt höga kunskapen om FWI kan detta tyckas vara något märkligt. Det finns dock väldigt begränsat med information om FBP i Sverige och det förekommer en viss begreppsförvirring kring systemets funktion.

Fråga 13 – Från var kommer eventuell kännedom om FBP

Den räddningstjänst som sedan tidigare känner till FBP redogör inte för var informationen kommer ifrån.

Fråga 14 – Finns det ett operativt behov för ett system liknande FBP

Det är intressant att så många som fem av åtta räddningstjänster anser att det kan finnas ett operativt behov för ett system liknanden FBP. Detta trots att endast en räddningstjänst sedan tidigare känner till systemet.

Fråga 15 – Motivering av föregående svar

Motiveringarna både för och mot ett liknande system varierar. De positiva motiveringarna behandlar att all hjälp är av godo, att insatsernas omfattning bättre kan regleras och att FBP kan utgöra ytterligare ett verktyg i ledningens verktygslåda. En räddningstjänst belyser också det faktum att bristen på operativ erfarenhet från skogsbränder kan medföra att brandbeteendet kan vara svårt att uppskatta manuellt. De negativa motiveringarna innehåller kritik mot nuvarande väderprognosystem (SMHI mfl) samt det utbildningsbehov som ett nytt system medför.

Fråga 16 – Vad saknas för bättre hantering av skogsbränder

Frågan är medvetet bred och några svar är både omfattande och detaljerade. Exempelvis finns önskemål om bättre utbildning, bättre kunskap om alternativa angreppssätt och möjlighet till anläggande av moteld. Även olika former av beslutsstöd, anpassade för de olika ledningsnivåerna, anses viktiga. Fem av åtta räddningstjänster anser att en säker tillgång till helikoptrar är viktig, tillgången anses ha försämrats under de senaste åren.

6.2. Implementeringsprocessen i Nya Zeeland

Nya Zeeland ersatte sitt gamla brandriskvärderingssystem med FWI år 1980, dock rädde ett lågt intresse från flera håll gällande det nya systemet (Alexander, 2010). Utbildningen inom FWI var bristande vilket medförde att exempelvis ansvariga inom skogskötsel och räddningstjänst fick lära sig tolka värdena på egen hand utifrån sina omgivningar (Fogarty et al., 1998). En annan brist var avsaknaden av anpassning till de Nya Zeeländska förhållandena och bränsletyperna.

15 år senare, år 1992, återstartades dock forskningen inom området (Fogarty et al., 1998). Året efter bjöds dr Marty Alexander, en av personerna bakom FBP, in för att bistå i forskningen och anpassningen av FWI (Pearce, 2010). Alexander (2008) föreslog ett flertal förbättringar; införandet av en utökad fem-gradig skala vid bedömning av brandfara, att hänsyn skulle tas till bränsletyp (skog eller gräsäng), att även ISI och BUI skulle användas utöver FWI för att bedöma brandfara, samt att ISI används i kombination med uttorkad andel vid bedömning av brandfara i gräsäng.

Forskningen fortsatte med målet att vidareutveckla det Nya Zeeländska brandrisksystemet, New Zealand Fire Danger Rating System (NZFDRS), i enighet med CFFDRS struktur (Fogarty et al., 1998).

H.G. Pearce, Fire Science Researcher på New Zealand Forest Research Institute (Scion), har varit med i implementeringen och utvecklingen av FBP i Nya Zeeland sedan starten år 1992. Han redogör i en intervju, för författarna till denna rapport, hur utvecklingen startades och har fortlöpt fram tills idag. Nedan redovisas denna i sammanfattat format, fullständig version finns presenterad under Bilaga C.

Första steget i arbetet har enligt Pearce varit att validera vilka av de befintliga kanadensiska bränsletyperna som är tillämpbara på den nya zeeländska vegetationen, samt att identifiera de viktigaste bränsletyperna som saknar motsvarighet. C-6, S-1, O-1a och O1b har antagits i respektives helhet. Modifierade versioner har även utarbetats av flertalet bränsletyper, exempelvis M-2 som representerar deras tempererade regnskogar. Busklandskapet, som utgör en betydande och viktig del av Nya Zeelands vegetation, är exempel på bränsletyp som har utvecklats från grunden.

Pearce berättar vidare hur utvecklingsarbetet därefter fortsatt utifrån övriga påverkande faktorer inom FBP. Effekt från topografi på olika bränsletyper, samband mellan fukthalterna från FWI (som är baserat på C-3) och övriga bränsletyper, samt fukthalt i barr är några exempel på sådana.

Idag finns ett fungerande system som tar hänsyn till en majoritet av Nya Zeelands olika bränsletyper, fortsätter Pearce. Behovet av fortsatt utveckling finns dock ständigt närvarande, exempelvis gällande sambanden mellan fukthalterna. Studier på senare tid indikerar att bättre resultat kan fås genom att inhämta väderdata direkt istället för att låta dessa tolkas och inhämtas från FWI. Pearce påpekar dock att detta ska betraktas med stor försiktighet då det kan medföra komplikationer till ett redan komplicerat system.

Pearce avslutar med att beskriva de problem och motgångar som han har upplevt sedan starten år 1992. Här följer ett urval, kort beskrivet, i punktform.

- Identifiering av bränsletyper och vilka som bör prioriteras.
- Arbetet kring det omfattande antalet nödvändiga testbränningar.
- Dokumentering av naturliga bränder.
- Tillämpning av befintliga samband inom FWI på ej beskogad vegetation, exempelvis busklandskap.
- Samförstånd mellan forskare och tilltänkta användare gällande utvecklingstid. De sistnämnda vill ofta stressa fram en produkt som, enligt forskarna, inte kan anses redo för operativt bruk.

År 2008 gavs en fälthandbok, motsvarande ”The red book”, ut för den nya zeeländska versionen av FBP (Pearce & Anderson, 2008). Modellen blev därmed tillgänglig för operativt bruk efter sexton års utveckling. Den nya zeeländska fälthandboken följer en liknande arbetsprocess som den kanadensiska varianten med tabulatur. Det existerar även ett program, motsvarande ”Behave Plus by Remsoft”, vid namn ”NZ Fire Behavior Toolkit” (Anderson et al., 2008). Utredning beträffande val av simuleringsverktyg som gjordes år 2009 gav rekommendationen att välja Prometheus framför exempelvis den australiensiska motsvarigheten ”Phoenix” (Pearce, 2009). Enligt Pearce (2010) används Prometheus inom flertalet områden, exempelvis vid efteranalys och insatsplanering trots att programmet fortfarande befinner sig i ett valideringsstadium.

6.3. Kritiska faktorer i Sverige

Då Sverige redan idag använder sig av FWI till brandriskvärdering, tillämpat via Brandrisk i skog och mark, är ett stort arbete redan genomfört varför situationen i mycket kan liknas vid den Nya Zeeland befann sig i under början av 90-talet.

Första steget, likt Nya Zeeland, är att identifiera vilka, om ens någon, av de befintliga kanadensiska bränsletyperna som är tillämpbara på svensk vegetation. Arbetet som här krävs är väldigt omfattande, dels vid själva identifieringen, samt det stora antal testbränningar och dokumentationer som krävs för att uppfylla och anpassa de förhållanden och samband som ger utdatavärdena i FBP (Alexander, 2010).

För att effektivt kunna identifiera och välja ut bränsletyper är en kartering av Sveriges vegetation nödvändig (Greer, 2010). Det närmsta som kan liknas vid en heltäckande inventering är Riksskogstaxeringen som utförs av institutionen för skoglig resurshushållning och geomatik vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) i Umeå (Nyman, 2010). Undersökningen utgörs av stickprov, på slumpmässigt utvalda platser, som sedan sätts samman och analyseras med hjälp av satellitbilder för att ge en representativ bild av större områden (Kempe, n.d.). Inventeringen beskriver faktorer som är nödvändiga att känna till vid identifiering av bränsletyper; exempelvis trädslag och fördelning, virkesvolym och beståndsålder, struktur och sammansättning, samt vegetationstyp och typ av förna (Kempe, n.d.).

Hos skogsstyrelsen finns en äldre databas benämnd Översiktlig Skogsinventering (ÖSI) som skulle kunna utgöra ett komplement till Riksskogstaxeringen. ÖSI användes av alla privata skogsägare fram till slutet av 80-talet (Nyman, 2010). Problemet är bristen av uppdaterad information för de senaste 20 åren. Då de största förändringarna berör huruvida skog har blivit avverkad eller ej, vore en möjlighet att samköra ÖIS med avverkningsregistret som också förvaltas av Skogsstyrelsen (Johansson, 2010).

En viss kartering har även utförts av Lantmäteriet som via analys av flygbilder kartlagt vegetationen för delar av landet (Nyman, 2010). Detta är, liksom ÖSI, att se som ett komplement.

Utöver nyss nämnda faktorer påpekar dr Martin Alexander, Senior Fire Behavior Research Officer hos Canadian Forest Service, i en intervju med författarna till denna rapport, att följande punkter även är av yttersta vikt:

- Utse en central organisation som har huvudansvaret och koordinerar arbetet.
- Rekrytera personer med lämpliga bakgrunder, exempelvis inom räddningstjänst, skogsbruk, fysik och matematik.
- Ta hjälp från lämpliga personer i Kanada för skapa en kunskapsgrund inom organisationen och med att identifiera syfte, mål och metod.
- Skapa stabilitet och kontinuitet i respektive organisationer och forskningsgrupper genom att utbilda berörd personal inom exempelvis skogsbruk och räddningstjänst.
- Göra fallstudier på lämpliga bränder och visa på hur FBP kan användas till ett lyckat resultat för att skapa en positiv opinion och väcka intresse.
- Inte bara koncentrera dokumenteringen till testbränningar utan även inhämta information från naturliga bränder. Kräver utförliga insatsrapporter.

7. Diskussion

FBP är en empirisk modell som bygger på statistik från testbränningar och naturliga bränder som har dokumenterats. Fysiska resonemang har endast förekommit i begränsad mängd vid formulandet av de samband och korrelationer som utgör modellen. Detta medför att den endast är giltig i de situationer där förhållandena, exempelvis vegetation, klimat och latitud, kan liknas vid det statistiska underlaget. Modellen ställer därför höga krav på att användaren känner till modellens bakgrund, förutsättningar, antaganden och begränsningar. Behovet av en lämplig utbildning inom ämnet är därför ett måste.

Närheten till väderstationer är av betydelse för att få en bra representation av de lokala förhållandena. Vid långa avstånd kan flertalet parametrar mätas på plats av användaren som sedan kan rapporteras in till en meteorolog för justering av FWI-värdena. Det sistnämnda är dock en svaghet som bör förebyggas i möjligaste mån med en utbyggnad av antalet väderstationer. Viktigt är att förhållandena vid väderstationerna är de rätta. De ska exempelvis befinna sig på en öppen yta och mäta vinden på en höjd av 10 meter. Detta faktum utesluter genast en del väderstationer som kanske annars hade räknats in. I Sverige har vägverket ett stort antal väderstationer som av denna anledning är direkt olämpliga för beräkning av FWI.

Även om alla indataparametrar väljs med yttersta noggrannhet gäller det att inte förlita sig blint till de resultat som modellen presenterar. Användaren bör se FBP som ett av många verktyg som är användbart vid insamling av beslutsunderlag vid exempelvis en släckinsats. Det är viktigt för en eventuell användare att kontinuerligt ifrågasätta resultatet av sin brandsimulering då personen annars riskerar utsätta sig själv och sin omgivning för fara.

Korrekt tillämpat är FBP ett värdefullt redskap. Genom att känna ungefärlig spridningshastighet, intensitetsklass och typ av brand kan snabbare, säkrare och mer genomtänkta beslut fattas. Att enbart använda erfarenhet och personliga intryck ska dock inte negligeras, då det länge nyttjats till/med lyckat resultat. En stor nackdel är dock den stora variationen av just erfarenhet och kunskap inom området. Standardiserade utbildningar och erfarenhetsbaserade seminarier är två möjligheter för att jämnat ut kunskapsnivåerna. Genom att exempelvis veta med säkerhet vilka baskunskaper personal från en annan räddningstjänst besitter, kan samarbeten underlättas. I Kanada, där denna form av utbyte är vanligt förekommande, arbetar CFFC mycket med standardisering av utbildningar och kvalitetssäkring.

En central fråga är hur väl resultaten från FBP stämmer överrens med verkligheten och hur väl modellen är validerad. Författarna kan utifrån de fallstudier och diskussioner som förts med berörda personer, verksamma över hela Kanada, konstatera att modellen fungerar tillfredsställande. Generellt kan nämnas att modellen har använts framgångsrikt under två decennier i Kanada. Modellen är ett etablerat verktyg och utgör en standard inom hela Kanada, både inom skogsbruk och räddningstjänst. Valideringen av modellen kan anses vara väl dokumenterad då ett stort antal fallstudier har genomförts.

7.1. Implementeringsmöjligheter i Sverige

7.1.1. Behovsundersökning

Behovsundersökningen genomfördes efter hemkomsten från kursen i Kanada. På grund av tidsbrist kontaktades de utvalda räddningstjänsterna per e-post. Valet att använda ett frågeformulär framför personliga intervjuer har en del nackdelar i form av en begränsad diskussionsmöjlighet samt risk för uteblivna svar. Svarsfrekvensen var låg då endast 7 av de 15 utvalda räddningstjänsterna återkom med svar. Den låga svarsfrekvensen medför att de generella slutsatserna kring de aktuella frågorna måste behandlas med viss försiktighet.

Nedan följer en diskussion kring svaren på de frågor som främst återkopplar till examensarbetets syfte. Samtliga svar diskuteras under respektive fråga i kapitel 6.1.5. Generellt är spridningen på svaren väldigt stor och det är uppenbart att skillnaderna är stora mellan de tillfrågade räddningstjänsterna.

Kännedom om FWI och utnyttjandegrad av Brandrisk skog och mark

Ett intressant resultat var att samtliga sju räddningstjänster sedan tidigare kände till FWI. Då den främsta källan till information om FWI är systemet Brandrisk skog och mark blir slutsatsen att kännedom om systemet finns hos ett flertal svenska räddningstjänster. Även svaren på den direkta frågan om hur mycket Brandrisk skog och mark utnyttjas visar på en hög utnyttjandegrad. Ur ett implementeringsperspektiv är detta särskilt intressant då det krävs en plattform genom vilken information från FBP, tillsammans med FWI, kan förmedlas.

Kännedom om FBP och upplevt behov för ett likande system

Kännedomen om FBP före undersökningens genomförande var, som väntat, väldigt låg. Vad som är viktigt ur ett implementeringsperspektiv är däremot att fem av sju räddningstjänster anser att de kan finnas ett operativt behov av ett system liknande FBP. Med bakgrund av den låga kännedomen om systemet är detta särskilt intressant. De positiva motiveringarna behandlar att all hjälp är av godo, att insatsernas omfattning bättre kan regleras och att FBP kan utgöra ytterligare ett verktyg i ledningens verktygslåda. Den positiva inställningen till FBP kan även bero på en generell önskan om bättre och bredare utbildning inom området skogsbrandsbekämpning.

7.1.2. Implementeringsprocessen i Nya Zeeland

Den situation som Nya Zeeland befann sig i under början på 90-talet kan mycket väl liknas vid den Sverige befinner sig i idag. Sverige kan därför utnyttja den kunskap som Nya Zeeland har byggt upp under de senaste åren.

Utvecklingsprocessen kan sammanfattas med att störst fokus har varit, och är än idag, riktat mot utvecklandet av bränsletyper. Som tidigare nämnts, är detta en kontinuerlig process som kräver omfattande arbete. Stora delar av det Pearce (2010) nämner angående Nya Zeelands implementeringsprocess (kapitel 6.2) känns igen i de punkter Alexander (2010) beskriver som kritiska i ett

inledningsskede (kapitel 6.3) . Intressant är dock den stora efterfrågan som förekommit från slutanvändarna, det vill säga från botten av implementeringskedjan. Att slutanvändarna visar ett stort intresse för en färdig modell går emot det som upplevdes i Kanada, där det krävdes en lång övergångsprocess innan FBP fick allmän acceptans.

7.1.3. Kritiska faktorer i Sverige

I ett inledningsskede av en implementeringsprocess är det av största vikt att identifiera vilka av de redan befintliga bränsletyperna som helt, eller delvis, överrensstämmer med den svenska vegetationen. En korrekt identifiering sparar både tid och pengar då det krävs ett omfattande arbete, med exempelvis testbränningar och dokumentation, för att utveckla en ny bränsletyp. Identifieringsarbetet bör föregås av en heltäckande kartering över Sverige, för att på ett korrekt sätt kunna bestämma vilka de vanligast förekommande vegetationstyperna är. Denna kartering är även nödvändig för att exempelvis senare kunna tillämpa FBP med simuleringsprogram likt Prometheus. Inom detta område finns redan en del arbete gjort som eventuellt skulle kunna utgöra ett underlag. Riksskogstaxeringen som utarbetas vid SLU i Umeå samt Lantmäteriets flygbildsanalyser är exempel på befintligt material.

Av de redan existerande bränsletyperna anser författarna spontant att följande bör undersökas närmare och jämföras med svensk vegetation.

- C-3 – Äldre tallskog
- C-6 – Barrskogsplantage
- D-1 – Avlövad asp
- S-1 – Tallhygge
- M-1 – Belövad blandskog
- M-2 – Avlövad blandskog
- O-1 – Gräsäng

För att implementeringsprocessen ska kunna bedrivas effektivt krävs att en central organisation utses som innehar huvudansvaret för utvecklingen. Organisationen måste inneha legitimitet för att både kunna skapa ekonomiska förutsättningar och attrahera kompetent personal, samt för att möjliggöra kompetensutbyte med exempelvis utländska organisationer. Ännu en fördel är om det inom organisationen finns representerat slutanvändare för modellen. Detta underlättar valet av riktning för arbetet och vad som bör prioriteras utifrån användarsynpunkt. Med de två nyss nämnda förutsättningarna medföljer automatiskt kravet att organisationen innehar någon form av central och relevant kompetens inom området. MSB är, utifrån dessa kriterier, bäst lämpat för att leda arbetet då den största gruppen slutanvändare finns inom svensk räddningstjänst. Skogsstyrelsen eller det svenska skogsbrukets forskningsinstitut – Skogforsk – är två andra möjliga förslag.

En viktig förutsättning för en lyckad implementering är att det finns en lämplig sammansättning av berörda kompetensområden. Exempelvis måste personer med kompetens inom skogsbruk finnas med i arbetet gällande identifiering av bränsletyper. Meteorologer, lämpligtvis från SMHI,

behövs för att korrekt återkoppla till FWI samt för att kunna se samband mellan väderfenomen och brandbeteende. Det krävs också fysiker för att kunna förstå de samband och korrelationer som baseras på det statistiska underlaget.

För att undvika fallgropar och dubbelarbete är det lämpligt med kompetensinhämtning från Kanada och Nya Zeeland. Här finns en befintlig och bred kompetens som borde utnyttjas. Författarnas personliga erfarenhet är att organisationer och personal inom området är väldigt behjälpliga och innehar en positiv inställning till att dela med sig av information och resultat. Forskare och slutanvändare bör därför kontaktas för att hjälpa till i startfasen med exempelvis utbildning samt utformning av syfte, mål och metod för arbetet.

Den del av den organisation som väljs ut till att ansvara för implementeringen kommer förmodligen att vara liten sett till antalet involverade personer. Detta medför att spetskompetens tilldelas ett fåtal personer vilket kan vara en svaghet om en nyckelperson försvinner ur organisationen. För att minimera detta problem bör kontinuitet och stabilitet eftersträvas genom att även personer i närliggande organisationer utbildas och involveras i arbetet.

Ett stort problem vid etableringen av FBP i Kanada var att få slutanvändarna att tro på modellen (Alexander, 2010). Ny teknik ses oftast med viss skepsis till dess att nyttan har visats. Ett sätt att kringgå denna problematik kan vara att kontinuerligt göra fallstudier där FBP tillämpas på gamla och medialt uppmärksammande bränder.

För att FBP ska utvecklas och förbättras krävs information inte bara från testbränningar, som sällan påverkas av slump och väderfenomen, utan också från naturliga bränder. Detta i sin tur kräver att det finns utförliga insatsrapporter som i detalj beskriver både brandförlopp, typ av vegetation och väderförhållanden.

7.1.4. Kostnad/nytta

Bortsett från både den genomförda behovsundersökningen och de tekniska förutsättningarna är den ekonomiska lönsamheten en viktig fråga. I denna rapport har dock ingen hänsyn tagits till kostnader för vare sig skogsbrandsbekämpning eller implementering av FBP. En omfattande implementeringsprocess, som förväntas pågå under ett flertal år, kommer vara ekonomiskt kostsam. Denna kostnad måste vägas mot de fördelar som bör finnas i form av minskade insatskostnader och möjligheten att större värden kan räddas vid framtida skogsbränder. En analys av kostnad och nytta kan förslagsvis inledas med en studie över de kostnader som skogsbränder medför i Sverige idag. Analysen bör även försöka ta hänsyn till förväntade klimatförändringar och deras påverkan på framtida skogsbränder. Det kan också vara av intresse att studera kostnaderna för skogsbrandsbekämpning i Nya Zeeland före och efter genomförd implementering av FBP.

8. Slutsatser

FBP är väl beprövat och tillämpas med gott resultat inom hela Kanada. Modellen ger slutanvändaren ett bättre beslutsunderlag och en möjlighet till att fatta snabbare och säkrare beslut. Operativt utgör FBP ett utmärkt komplement vid planering och beslutsfattande. Fördelar finns exempelvis vid:

- Översikt av släckpersonalens säkerhet.
- Utarbetande av insatsplaner.
- Delegering av släckresurser.
- Planering av passiva släckmetoder och evakuering.
- Analys av kostnad och nytta som berör huruvida branden ska släckas eller begränsas.
- Utbildning, utredning och juridisk prövning.

Svensk räddningstjänst visar ett intresse för en brandbeteendemodell liknande FBP. De ser gärna också att det skapas en nationell helikopterresurs samt att utbildningen inom ämnet skogsbrand utökas och förbättras.

Kritiska faktorer vid en eventuell implementering av FBP i Sverige är:

- En central organisation som har huvudansvaret och koordinerar arbetet.
- Rekrytering av personer med lämpliga bakgrunder, exempelvis inom räddningstjänst, skogsbruk, meteorologi, fysik och matematik.
- Hjälp från lämpliga personer i Kanada för att skapa en kunskapsgrund inom organisationen och för att identifiera syfte, mål och metod.
- Kartering av Sveriges vegetation och identifiering av de vanligast förekommande vegetationstyperna.
- Identifiering av vilka befintliga bränsletyper som har en lämplig motsvarighet inom den svenska vegetationen.
- Utveckling av nya bränsletyper baserat på utvalda vegetationstyper.
- Stabilitet och kontinuitet i respektive organisationer och forskningsgrupper genom att utbilda berörd personal inom exempelvis skogsbruk och räddningstjänst.
- Fallstudier på lämpliga bränder. Detta krävs för att visa på hur FBP kan användas med ett lyckat resultat, för att skapa en positiv opinion och väcka intresse.
- Inhämtning av information från naturliga bränder. Detta kräver utförligare insatsrapporter än de som görs idag.

En analys bör göras som väger kostnad mot nytta. Detta då arbetet med en eventuell implementering är väldigt omfattande, både gällande tid och pengar. Kontakt bör tas med lämplig organisation i Nya Zeeland, exempelvis SCION, för att få deras erfarenheter av FBP, främst gällande kostnad och nytta.

9. Litteraturförteckning

Alexander, M.E., 2008. *Proposed revision of the fire danger class criteria for forest and rural areas in New Zealand. 2nd Edition*. Christchurch: National Rural Fire Authority.

Alexander, M.E., 2010. *Senior Fire Behavior Research Officer*.

Anderberg, A., 1999. *Linnés webbplats*. [Online] Available at: <http://linnaeus.nrm.se/> [Accessed 12 Juni 2010].

Anderson, A., Schou, W.C. & Clement, B., 2008. *NZ Fire Behavior Toolkit: User Guide and Technical Report*. Christchurch: SCION.

Brandt, J.P., 2009. The extent of the North American boreal zone. *Environmental Review*, pp.101-61.

Byram, G.M., 1959. Combustion of forest fuels. *Forest fire: control and use*, pp.61-59.

Canadian Forest Service, 2005. *The State of Canadas Forests 2004-2005: The Boreal Forest*. Ottawa, Ontario, Canada: Natural Resources Canada.

CBRN, 2008. *Faktasamling CBRN 2008*. [Online] Available at: http://www.faktasamlingcbrn.foi.se/filer/a_sidor/7/2.html [Accessed 31 Juli 2010].

CIFFC, 2002. *Understanding the Fire Weather Index*. Hinton, Alberta, Kanada.

CIFFC, 2010. *S-490 Advance Wildland Fire Behaviour, Student Reference Material 2010*. Fredericton: CIFFC.

Fogarty, L.G., Pearce, H.G., Catchpole, W.R. & Alexander, M., 1998. Adoption vs. Adaption: Lessons from applying the CFFDRS in New Zealand. In *3rd International Conference on Forest Fire Research and 14th Fire and Forest Meteorology Conference*. Luso, Coimbra, Portugal, 1998.

Forestry Canada Fire Danger Group, 1992. *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*. Ottawa: Forestry Canada.

Gardelin, M., 1997. *Brandriskprognoser med hjälp av en kanadensisk skogsbrandsmodell*. Karlstad: Räddningsverket.

Granström, A., 2006. *Skogsbrand - Brandbeteende och tolkning av brandriskindex*. Karlstad: MSB.

Greer, T., 2010. *Fire Behavior Specialist*.

Hagner, S., 1999. *Forest management in the temperate and boreal forests: Current practices and the scope for implementing sustainable forest management*. Rome: Forestry Policy and Planning Division.

Hamrin, L., 2010. *Skogskonsulent*.

- Hansen, R., 2003. *Skogsbrandsläckning*. Karlstad: Räddningsverket.
- Hirsch, K.G., 1996. *Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System: user's guide*. Edmonton: Canadian Forest Service.
- Hytteborn, H., Maslov, A.A., Nazimova, D.I. & Rysin, L.P., 2006. Boreal forests of Eurasia. In *Ecosystems of the world 6: Coniferous forests*. Amsterdam, Nederländerna: Elsevier B.V. pp.23-100.
- Johansson, A., 2010. *Skogskonulent*. Skogsstyrelsen.
- Jögiste, K., Kulmala, L., Bäck, J. & Hari, P., 2009. Boreal Zone. In Hari, P. & Kulmala, L. *Boreal Forest and Climate Change*. Helsingfors, Finland: Springer Science. pp.124-26.
- Kempe, G., n.d. *Riksskogstaxeringen - Rikstäckande inventering av den svenska skogen*. Umeå: SLU.
- Lundblad, J., 2006. *Fakta om storbranden i Bodträskfors*. Skogsstyrelsen.
- Mell, W. et al., 2005. Numerical simulations of grassland fire behavior from the LANL-FIRETEC and NIST-WFDS models. In *EastFIRE Conference*. Fairfax, VA, 2005.
- MSB, B.k.L.i.N.l., 2009. *www.msb.se*. [Online] Available at: <http://www.msb.se/Sok/?q=bodtr%C3%A4skfors> [Accessed 18 Augustus 2010].
- MSB, 2010. *Handbok för Brandrisk skog och mark*. Karlstad: MSB.
- Muraro, S.J., 1969. *A modular approach to a revised national fire danger rating system. In contribution to the development of a National Fire Danger Rating System*. Victoria: Canadian Forestry Service.
- Natural Resources Canada, 2009. *Boreal Forest*. [Online] Available at: http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/learningresources/theme_modules/borealforest/index.html [Accessed 10 November 2010].
- Natural Resources Canada, 2009. *The State of Canada's Forests - Annual Report 2009*. Ottawa, Ontario, Canada: Natural Resources Canada.
- Naturhistoriska riksmuseet, 1999. *Contortatall*. [Online] Available at: <http://linnaeus.nrm.se/flora/barr/pina/pinus/pinucon.html> [Accessed 12 Juni 2010].
- NWCG, B., 1992. *Fire behavior field reference guide*.
- Nyman, P., 2010. *Stf. Enbetschef, GIS- och fjärranalys, metodutveckling, Enforma*. Lantmäteriet.
- Pastor, E., Zárate, L., Planes, E. & Arnaldos, J., 2003. Mathematical models and calculation systems for the study of wildland fire behavior. *Progress in Energy and Combustion Science, volym 29*, pp.139-53.
- Pearce, H.G., 2009. *Review of Fire Growth Simulation Models for application in New Zealand*. Christchurch: SCION.

Pearce, H.G., 2010. *Scientist, Fire Research*.

Pearce, H.G. & Anderson, S.A.J., 2008. *A Manual for Predicting Fire Behavior in New Zealand Fuels*. Christchurch: Scion, Rural Fire Research Group.

Pinborg, U., 2004. *Biogeographical regions in Europe: The Boreal biogeographical region*. European Environment Agency.

Power, K. & Gills, M., 2006. *Canada's Forest Inventory 2001*. Victoria, British Columbia, Canada: Natural Resources Canada.

Rothermel, R.C., 1972. *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. Research paper INT-115. USDA Forest Service.

SCA, 2009. *Ordlistan*. [Online] Available at: <http://bounty.de/sv/Pages/Ordlista/Produktiv-skogsmark/> [Accessed 2 Maj 2010].

Scott, G., 1995. *Canada's vegetation - a world perspective*. Québec: McGill-Queen's University Press.

Skogsstyrelsen, 1999. *Grönare skog*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.

Skogsstyrelsen, 2002. *Elden i skogen*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.

Skogsstyrelsen, 2009. *Skogsstatistisk årsbok 2009*. Jönköping: Skogsstyrelsens förlag.

Skogsstyrelsen, 2009. *Sveriges skogar*. [Online] Available at: <http://www.skogsstyrelsen.se/> [Accessed 10 Maj 2010].

SkogsSverige, n.d. *Våra svenska träd*. [Online] Available at: <http://linnaeus.nrm.se/flora/barr/pina/pinus/welcome.html> [Accessed 12 Juni 2010].

SMHIa, 2003. *Faktablad nr 14, Brandrisk*. Norrköping: SMHI.

SMHIb, 2008. *Kunskapsbanken - Vindhastighet*. [Online] Available at: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vindhastighet-1.255> [Accessed 31 Juli 2010].

SMHIc, 2009. *Kunskapsbanken - hur mäts nederbörd*. [Online] Available at: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-nederbord-1.637> [Accessed 20 november 2010].

Stocks, B.J. et al., 1989. The Canadian Forest Fire Danger Rating System: An Overview. *The Forestry Chronicle*, volym 65, pp.258-65.

Sullivan(a), A.L., 2009. Wildland surface fire spread modelling, 1990-2007. 1: Physical and quasi-physical models. *International Journal of Wildland Fire*, volym 18, pp.349-68.

Sullivan(b), A.L., 2009. Wildland surface fire spread modelling, 1990-2007. 2: Empirical and quasi-empirical models. *International Journal of Wildland Fire*, volym 18, pp.369-68.

Sveriges Nationalatlas, 2000. *Limes norrlandicus*. [Online] Available at: <http://www.sna.se> [Accessed 4 Juli 2010].

Sveriges Nationalatlas, 2000. *Vegetationszoner i Sverige*. [Online] Available at: <http://www.sna.se> [Accessed 9 Juli 2010].

Taylor, S.W. & Alexander, M.E., 2006. Science, technology, and human factors in fire danger rating: the Canadian experience. *International Journal of Wildland Fire*, volym 15, pp.121-35.

Taylor, S.W., Pike, R.G. & Alexander, M.E., 1997. *Field guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System*. Edmonton, Alberta, Canada: Canadian Forest Service.

The National Wildfire Coordinating Group, 1993. *Principles of Fire Behavior*. Hinton, Alberta, Kanada.

Tymstra, C., 2010. *Promehteus - The Canadian Wildland Fire Growth Model*. [Online] Available at: <http://firegrowthmodel.ca/index.html> [Accessed 15 November 2010].

Van Nest, T.A. & Alexander, M.E., 1999. Systems for Rating Fire Danger and Predicting Fire Behavior Used in Canada. In *National Interagency Fire Behavior Workshop*. Phenoix, Arizona, 1999.

Van Wagner, C.E., 1977. Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forestry*, 7, pp.23-34.

Van Wagner, C.E., 1987. *Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Ottawa: Canadian Forestry Service.

Wotton, B.M., Alexander, M.E. & Taylor, S.W., 2009. *Updates and revisions to the 1992 Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*. Sault Ste. Marie: Natural Resources Canada.

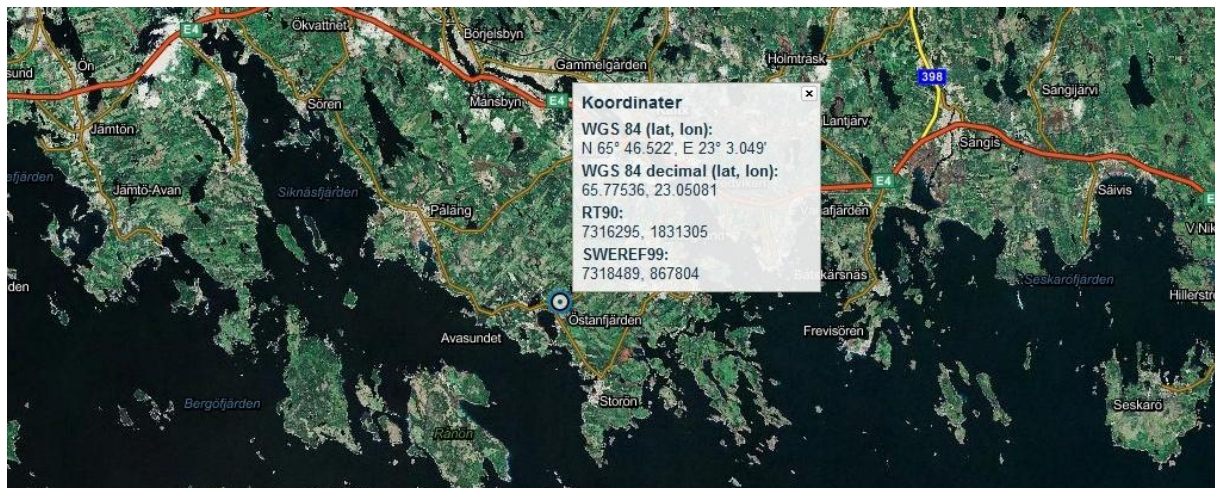
Åbo Akademi, 2007. *Åbo Akademi*. [Online] Available at: http://web.abo.fi/fc/opu/amne/geogr/material-amnes/Ralf-vaxt-odjurgeografi261007/Biog5.%20Vegitationszonerna_Norden.pdf [Accessed 5 Juli 2010].

Öxell, C., 2008. *Betula - arter och sorter*. Alnarp: LTJ-fakulteten, SLU.

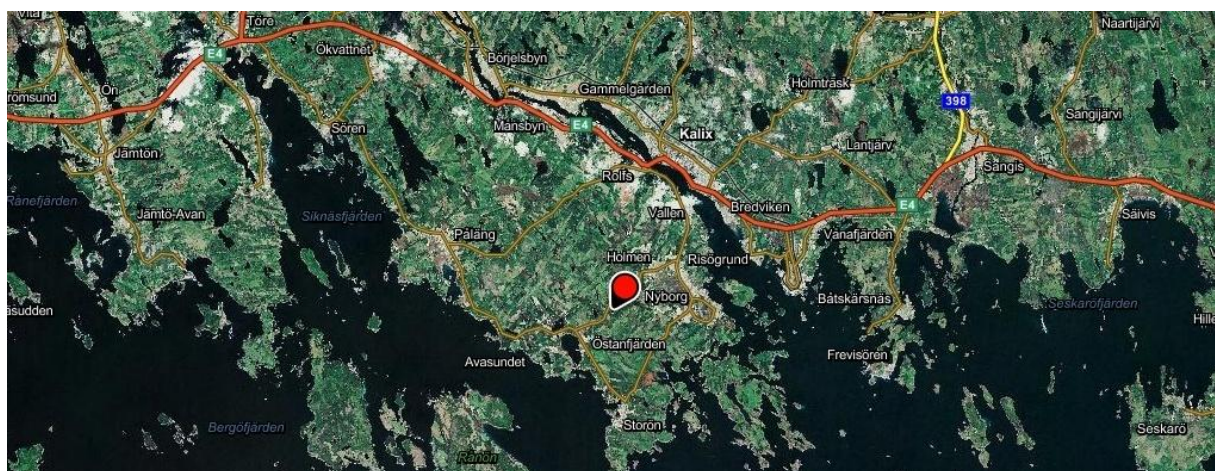
Bilaga A. Branden Stormyran, Kalix

I syfte att praktiskt beskriva den arbetsgång som följs när FBP tillämpas som ett operativt beslutsstöd har en verklig brand i Sverige studerats. Branden som valts ut inträffade under sommaren år 2006, mellan 13:e till 17:e augusti, i området Stormyran (eller Ytterby) mellan samhällena Norsborg och Ryssbält i Kalix kommun. Inom samma tidsperiod ägde även den kända Bodträskforsbranden rum vilket kom att påverka släckinsatsen. Anledningen till valet av denna brand var att kännedom fanns, genom Annie Johansson på Skogsstyrelsen, om områdets vegetation som har en lämplig motsvarande bränsletyp i FBP.

Information om brandbekämpningen har inhämtats från Peter Wikström, insatsledare under de första tolv timmarna, vid Kalix räddningstjänst och den aktuella insatsrapporten. Samtliga väder- och indexvärden i FWI den 13:e augusti (tabell 15) har, med hjälp av Marie Gardelin vid SMHI, tagits fram för en närliggande väderstation (figur 8). Brandens startpunkt finns markerat i figur 9 av den röda punkten och är angiven av den maskinförare som orsakade antändning.



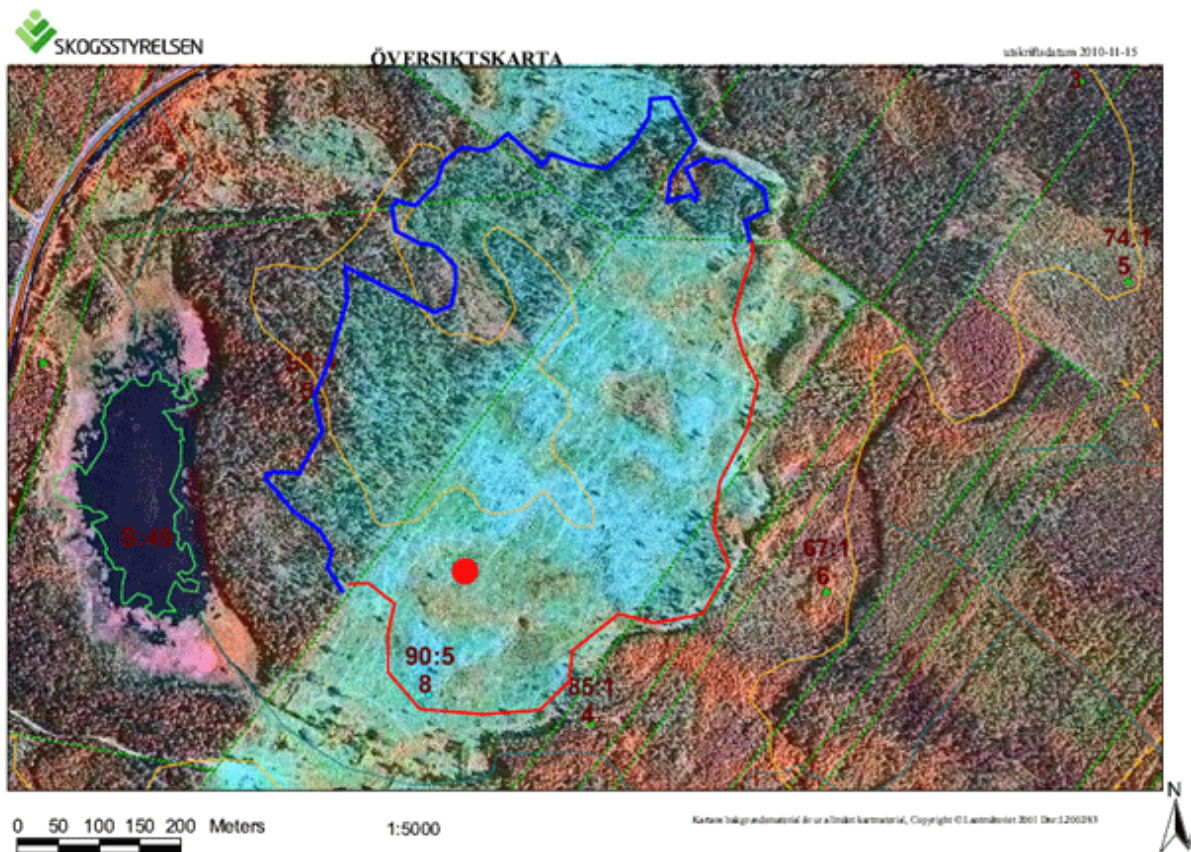
Figur 8: Plats för aktuell väderstation.



Figur 9: Startpunkt för branden.

Bakgrund

I figur 10 ges en detaljerad bild över området. De röda och blåa linjerna beskriver brandens slutliga area. De ljusblå och mörkblå områdena beskriver hygge, respektive blandskog med tall som dominerande trädslag. Brandens startpunkt presenteras av den röda punkten. Strax väster om startpunkten finns det, på kartan, markerade vattentaget Östra Skogsträsket. På grund av emellanliggande tätt bevuxen skog och lågt vattenstånd kunde detta inte utnyttjas som släckresurs.



Figur 10: Startpunkt för branden samt slutliga ytterlinjer (Johansson, 2010).

Hygget som berördes av branden befann sig under pågående avverkning. Grov förna och risansamlingar fanns utspridd över området. Det rådde extremt torra förhållanden vilket illustreras av de tre fuktindexen i tabell 15; FFMC; DMC och DC.

Tabell 15: Väderdata från aktuell väderstation .

Parameter	Värde
Temperatur	22,8 C
Relativ fuktighet	58 %
Vind	4,9 m/s
Nederbörd	0 mm
FFMC	88,2
DMC	85,2
DC	518,8
ISI	8
BUI	121,5
FWI	29,5

Brandens start och förlopp

Inrapportering till räddningstjänst skedde klockan 08.30 den 13 augusti. När räddningstjänst kom till platsen, ungefär 09.00, var brandens area uppskattningsvis 75x75 m². Vinden hade sydvästlig riktning och uppfattades som lätt. På grund av begränsade vattenresurser, och den inledningsvis begränsade brandstorleken, inleddes släckningsarbetet med torrsläckning. Vid 10.00 tilltog dock vinden kraftigt och kontrollen av brandfronten förlorades. Bandvagnen försedd med vattentank fanns nu på platsen men kunde, på grund av lång transportsträcka över hygget, inte bidra till angrepp på fronten.

Vindriktningen var fortfarande sydvästlig och arbetet inleddes med införande av en begränsningslinje vid den norra delen av hygget där blandskog tog vid. För begränsningslinjen utnyttjades en naturlig skogsstig som löper parallellt längs markägarskiftet. Denna vattenbegöts och breddades genom avverkning. Under sen eftermiddag nådde branden fram till blandskogen. Under kvällen och natten avtar brandens aktivitet men densamma ökar igen under nästkommande morgon. Under dagen den 14:e kan branden kontrolleras och fokus ändras till det eftersläckningsarbete som kommer att pågå tills dess att räddningsarbetet förklaras avslutat klockan 10.30 den 17:e.

Allmänna observationer var att flamlängden aldrig nådde över 1 meter, vindriktningen var sydvästlig under hela första dagen och branden nådde aldrig upp till kronbränslet i blandskogen.

Antaganden och begränsningar

Eftersom dokumentation av brandspridning över tiden saknas har endast ett fåtal jämförelser, mellan beräknad spridning och verklig spridning, kunnat genomföras. Den tillgängliga väderdatan har varit begränsad varför värden på vindhastighet, vindriktning och luftfuktighet har antagits vara konstanta. Branden spred sig både initialt och huvudsakligen i ett hygge av tallskog, detta antas motsvara bränsletypen S-1 vilket används i kommande beräkningar. Spridningen iblandskogen bortses ifrån på grund av för stor osäkerhet om brandförloppet. En generell anmärkning

som kan göras är dock att brandens spridningshastighet sjunker tydligt vid det faktiska skiftet av bränsletyp på grund av fukthalter och tillgängligt bränsle.

Beräkningsgång

Vid beräkningarna har fälthandboken och en särskild tabell (tabell 16) använts. Tabellen följer arbetschemat som finns beskrivet översiktligt i kapitel 5.3.3 och avhandlar indataparametrarna en i taget. Arbetsgången resulterar slutligen i de primära och sekundära utdatavärdena. Varje kolumn representerar en simulering, överst står aktuellt tidsintervall angivet.

På grund av osäkerheter kring varierande väderdata (vindhastighet, temperatur, relativ fuktighet) och exakt händelseförlopp görs simuleringar endast för förmiddagen. Här följer i punktform en kort beskrivning av arbetsprocessen kopplat till respektive radnummer i tabell 16.

- 1. Identifiera lämplig bränsletyp [1].**
S1 väljs enligt tidigare resonemang.
- 2. Notera uppmätt FFMC och utför en eventuell justering [2-3].**
 $FFMC = 88$ enligt tabell 15 dygnjusteras från kl 17.00 till det klockslag då aktuell simulering startar.
- 3. Ta fram fiktiv vindhastighet efter en eventuell topografisk inverkan [4-6].**
Terrängen är flack vilket innebär att det inte finns någon topografisk inverkan.
- 4. Notera uppmätt vindhastighet och addera eventuell fiktiv vindhastighet [7-8].**
Topografisk inverkan saknas varför uppmätt vindhastighet gäller. Enheten som används i FBP är [km/h] varför 4,9 m/s översätts till $17,64 \approx 20$ km/h.
- 5. Justera ISI med FFMC och vindhastighet [9].**
ISI bestäms från FFMC framtaget enligt punkt två och vindhastighet enligt punkt fyra. Utskriften gäller brandens front och rygg.
- 6. Notera uppmätt BUI [10].**
 $BUI = 120$ enligt Tabell 15.
- 7. Bestäm de primära utdatavärdena med hjälp av bränsletyp, BUI och justerat ISI [10-14].**
Spridningshastighet, intensitetsklass, typ av brand och andel involverad av kronbränslet räknas till de primära utdatavärdena.

Vid första simuleringen (08.30-09.00) har branden fortfarande en accelererande spridningshastighet vilket innebär att inga andra utdatavärden beräknas då de förutsätter att jämvikthastigheten har uppnåtts. Tumregel ger att jämvikthastighet uppnås efter 20 minuter i öppen vegetation varför den andra simuleringen (09.00-11.00) kan beräknas på normalt sätt.

Då bränsletypen är ett hygge klassas branden automatiskt som en ytbrand [13] och andel involverat kronbränsle utgår [14].

8. Bestäm de sekundära utdatavärdena [15-22].

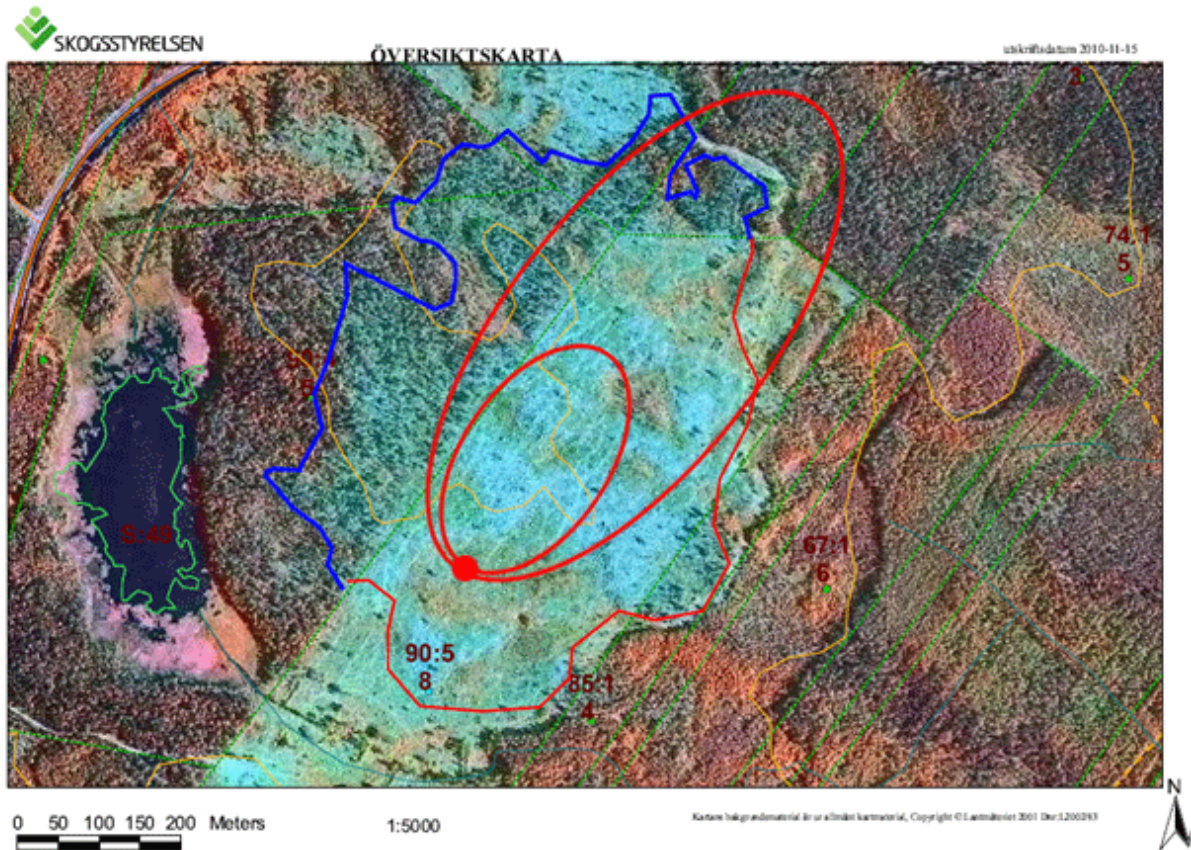
Genom att veta spridningshastighet och förlupen tid kan frontens, ryggens och den totala spridningsdistansen beräknas. Utgående från den totala spridningsdistansen och effektiv vindhastighet enligt punkt fyra kan sedan övriga utdata bestämmas.

Tabell 16: Simuleringar med FBP (Taylor et al., 1997).

		08.30 – 09.00	09.00 – 11.00	11.00 – 13.00
1	Bränsletyp	S-1	S-1	S-1
2	Standard FFMC	88	88	88
3	Dygnsjusterat FFMC	75	77	79
4	Markens lutning [%]	-	-	-
5	Lutningens riktning	-	-	-
6	Fiktiv vindhastighet [km/h]	-	-	-
7	Uppmätt vindhastighet [km/h]	20	20	20
8	Effektiv vindhastighet [km/h]	20	20	20
9	ISI – front/rygg	2/0	2/0	3/0
10	BUI	120	120	120
11	Spridningshastighet [m/min] – front/rygg	-	2/0	4/0
12	Intensitetsklass – front/rygg	-	5/3	5/3
13	Typ av brand – front/rygg	Ytbrand	Ytbrand	Ytbrand
14	Andel involverad av kronbränsle [%] – front/rygg	-	-	-
15	Förlupen tid [min]	30	120	120
16	Frontens spridningsdistans [m]	43	120	480
17	Ryggens spridningsdistans [m]	0	0	0
18	Totala spridningsdistans [m]	43	163	643
19	Elliptisk area [ha]	0,1	1	14
20	Elliptisk omkrets [m]	114	480	1500
21	Längd/bredd-förhållande	2,6	2,6	2,6
22	Omkretsens spridningshastighet [m/min]	-	5	9

Diskussion och slutsatser

Resultatet enligt simuleringarna i tabell 16 ges i figur 11 där den inre röda ringen representerar spridningen till och med klockan 11.00. Den yttre ringen representerar spridningen till och med klockan 13.00.



Figur 11: Simulerad och faktisk brandspridning (Johansson, 2010).

Simuleringen ger en fingervisning om hur branden kan sprida sig, en prognos som stämmer ungefärligt överrens med de faktiska ytterlinjerna. Inledningsvis ger simuleringen också en uppskattning av brandstorleken som ligger inom samma intervall som de observerade $75 \times 75 \text{ m}^2$.

Viktigt här är att notera de många antaganden som gjorts utifrån begränsningen av tillgänglig väderdata, dokumentation av platsen samt faktiskt händelseförlopp. Den konstanta vindhastigheten är en tydlig begränsning vilket är en av orsakerna till att branden i simuleringarna har spridit sig till blandskogen redan klockan 13.00, något som i det verkliga fallet skedde först vid sen eftermiddag under den första dagen. I simuleringen finns till följd av den uppskattade vinden inte heller någon spridning i sydlig riktning, från brandens rygg.

Bilaga B. Behovsundersökning

I listan nedan presenteras de frågor som den 29:e oktober 2010 skickades ut via e-post till 15 svenska räddningstjänster. På de efterföljande sju sidorna återges de inkomna svaren i originalform.

Tabell 17: Sammanställning av frågorna.

1	Vilken räddningstjänst representerar Ni?
2	I genomsnitt, hur många skogsbränder rycker Er räddningstjänst ut på varje år?
3	Uppskattningsvis hur många hektar brinner totalt varje år?
4	Vilket/vilka beslutstöd använder Ni vid bedömning av införande/upphävande av eldningsförbud?
5	Till vilken omfattning utnyttjar Er räddningstjänst systemet "Brandrisk Skog & Mark"?
6	För vilka syften används systemet?
7	Känner Ni till FWI sedan tidigare?
8	Om ja, i vilka sammanhang använder Ni FWI som beslutstöd?
9	Känner Ni till HBV sedan tidigare?
10	Om ja, i vilka sammanhang använder Ni HBV som beslutstöd?
11	Operativt, hur uppskattar Ni förväntad brandspridning vid en pågående skogsbrand?
12	Känner Ni till FBP sedan tidigare?
13	Om ja, från var har Ni fått information om FBP?
14	Anser Ni att det finns ett operativt behov för ett system liknande FBP?
15	Motivera gärna svaret på föregående fråga!
16	Vad anser Ni att Er räddningstjänst saknar för att bättre kunna hantera skogsbränder i framtiden?

Tabell 18: Svar från Kalmar.

1	Kalmar
2	Uppsk.vis 10
3	10
4	Detta brukar länsstyrelsen utfärda för länet.
5	-
6	-
7	Ja
8	Avläser SMHI:s prognoser och handlar därefter.
9	Ja
10	Se föregående
11	Beroende på vind och torrhetsgrad samt skogstyp.
12	Ja
13	Vet ej
14	Ja
15	Kan användas vid brandbekämpning i skog.
16	Har relativt bra utrustning och bra samverkan i regionen. Det som saknas är en nationell kraftfull helikopterresurs.

Tabell 19: Svar från Vaggeryd/RäddSamF

1	Vaggeryd/RäddSamF
2	-
3	15
4	Brandrisk skog o mark Sammanvägning av väderprognoser från smhi, dmi, yr, klart Samtal med jourhavande metreolog
5	Varje dag under brandsäsongen
6	För att följa läget och kunna se trender och hur stora eller små regn påverkar brandrisken. Utnyttjar underliggande värden mycket och inte bara FWI-värdet
7	Ja
8	Vi använder FWI och dess underliggande parametrar för att skapa läns-gemensamma analysunderlag för Jönköpings län/RäddSamF. Dessa underlag beskriver trolig utveckling närmsta tiden för brandrisken utifrån alla värden i Brandrisk skog o mark, väderprognoser, samtal med jourhavande metreolog samt erfarenheter hos oss som skapar analysunderlagen. Även RCB (räddningschef i beredskap) kan ha detta som ett underlag för taktiska omflyttningar, räddningsledare kan använda det för att ompröva /utöka larmning vid skogsbränder under extrema förhållanden
9	Ja
10	Se svaret på FWI. Vi använder dock FWI mer än HBV
11	Delvis utifrån ovanstående analysunderlag men framförallt så är det det enskilda befälet som skapar sig en uppfattning på plats. Finns en uttalad policy inom RäddSamF att slå till hårt med massiva reurser initialt vid skogsbränder för att snabbt omringa branden och därefter kunna trappa ned insatsen. Alltså inte åka fram och se och sedan behöva larma mer i ett senare skede och behöva styras av en okontrollerad brandspridning. Vi har också rutiner om långa efterbevakningstider och utnyttjande av värmekameror för att inte råka ut för skogsbränder som blossar upp/återtänder.
12	Nej
13	-
14	Ja
15	Ger ytterligare ett verktyg i ledningens verktygslåda. Kräver dock rejält med utbildning. Svensk räddningstjänst måste bli bättre på att läsa skogsbränder och anpassa insatsen efter olika parametrar. FBP kan vara ett stöd i detta.
16	Fortsatt utveckling mot lättare/smidigare utrustning t ex 42 mm som matning och 20 mm som manöver, terräng-MC Kunskap kring alternativa angreppssätt t ex att arbeta aktivt med avbränning, moteld vid större bränder. Utbildning på alla nivåer är A och O men den måste vara anpassad för svenska förhållanden och får inte föra fram ett nordamerikanskt arbetssätt som inte går att applicera i Sverige. Självklart skall vi ta till oss alla godbitar i deras arbetssätt osv men det måste fungera för våra skogstyper etc. Olika former av beslutsstöd är viktigt, de skall vara anpassade för de olika ledningsnivåerna styrkeledare, insatsledare, brandingenjör eller motsvarande. Generellt sett måste vi bli mycket bättre på att läsa de olika parametrar som påverkar enskogsbrand marktyper, de olika skiktens påverkan, terräng, vind etc.

Tabell 20: Svar från Kungälv och Ale.

1	Kungälv och Ale
2	ca 100st brand i terräng
3	ca 2hk brand i terräng
4	SMHI, regions beslut för att underlätta info sök för den enskilde
5	Till och från under brandsäsongen
6	info internt, samt bedömning om behov av eldningsförbud.
7	Ja
8	I SMHI:s underlag för brandrisk.
9	Ja
10	I SMHI:s underlag för brandrisk.
11	Observationer, helikopter stöd, analyser den aktuella spridningshastigheten och planera utifrån det aktuella läget.
12	Nej
13	-
14	Nej
15	Som angetts ovan. Vid en brand så kan man ej gå på SMHI:s data (vädret stämmer ju knappt), utan man måste analysera den aktuella spridningshastigheten och planera utifrån det aktuella läget.
16	Ser ett jättebehov av helikopterstöd, samutnyttja nationella resurser bättre. Bra mycket mer kostnad nytta för MSB att säkerställa hk stödet för vattenbombning mm än att betala ut stora ersättningar till kommunerna när självriskgränsen passerats. Ex så hade jag räddningsledaransvaret för 2009 största brand i Sverige (ca Sveriges 20e största brand), hade jag kunna vänta mig till en statlig helikopterresurs, i stället för att få vänta ett dygn innan en privatfirma flugit ner (branden var då 5000hk och vi utrymt en by), så hade denna brand varit bra mycket mindre. Vi hade då kunnat spara enorma kostnader för samhället och staten (bra mycket över 10milj). Analysverktyg är bra, men vi har ej så stora problem med detta i Sverige, och när vi väl får det så kan vi oftast hantera det med helikopter och normal brandpersonal, men som det ser ut i dag så finns det inga hk att tillgå (utöver de privata aktörerna, men de har inget ansvar att tillgodose detta). Så lägg krutet att säkerställa detta i stället för ytterligare en utredning om analysverktyg. Jag låter negativ, men Ni skall veta att jag brukar uppmuntra utveckling och nya metoder, men i detta fallet så har jag tyvärr fått uppleva att vi måste vara konservativ (och säga att det var bättre förr), få tillbaka helikopterstödet.

Tabell 21: Svar från Årjäng.

1	Årjäng
2	4
3	1
4	Brandriskprognoser Sunt förnuft
5	Någon enstaka gång
6	-
7	Ja
8	-
9	Ja
10	-
11	Se väderlek och prognos
12	Nej
13	-
14	Nej
15	-
16	Helikopter med släckresurs

Tabell 22: Svar från Lycksele.

1	Lycksele
2	0 – 5
3	0 – 5
4	-
5	Till och från under brandsäsongen
6	Tendens inom länet
7	Ja
8	När brandrisken är 4 och högre
9	Ja
10	När brandrisken är 4 och högre
11	Med hjälp av lokal kännedom, terrängförhållanden, HBV, typ av skog, vindförhållanden
12	Nej
13	-
14	Ja
15	All hjälp är av godo!!
16	Vi vill gärna ha en säker tillgång på helikoptrar.

Tabell 23: Svar från Gotland.

1	Gotland
2	Återkommer om detta, kontroll pågår
3	Återkommer om detta, kontroll pågår
4	Brandrisk Skog och Mark
5	Varje dag under brandsäsongen
6	Införande/upphävande av eldningsförbud eller avrådan från eldning Påbörja samt avsluta skogsbrandflyg
7	Ja
8	Se fråga ovan om Brandrisk Skog & Mark
9	Ja
10	Se fråga ovan om Brandrisk Skog & Mark Vi ser på både HBV och FWI när dessa bedömningar görs
11	Görs av varje RL. Utbildade på bedömning av flamlängd enligt Rickard Hansens bok "Skogsbrandsläckning"
12	Nej
13	-
14	Ja
15	Det är sällan vi har större skogsbränder då sådant behöver bedömas eftersom branden ganska snabbt är under kontroll. Följden av detta är att räddningsledarna saknar erfarenhet av större skogsbränder samt att göra sådana bedömningar.
16	Jämfört med den största skogsbrand vi haft, Torsburgen, har vi idag mycket sämre förutsättningar. Vår egen organisation är mindre (färre anställda) och Försvaret (som var en stor hjälp då) har avvecklat i princip all verksamhet på ön. Det finns inte heller samma tillgång till helikoptrar för vattenbombning som då.

Tabell 24: Svar från Orsa.

1	Orsa
2	5
3	20
4	Prognos från SMHI
5	Någon enstaka gång
6	För att bedöma antändningsrisk
7	Ja
8	Används ej
9	Ja
10	Används ej
11	Genom erfarenhet samt väderleksprognoser
12	Nej
13	-
14	Ja
15	-
16	Tillgång till helikopter samt militärt stöd.

Tabell 25: Svar från Strömstad.

1	Strömstad
2	1-2 st
3	>5
4	LSO 2003:778, SMHI-MSB brandrisk!
5	Varje dag under brandsäsongen
6	Att skapa beslutsunderlag, samt följa utveckling i väder under kritiska förhållanden!
7	Ja
8	Som underlag till bl.a till eldningförbud.
9	Nej
10	-
11	Torka, väder och vind i första hand, i ett uppstartat stabsarbete
12	Nej
13	-
14	Nej
15	Mer information och utbildning
16	Med Regionssamverkan, länsamverkan, länsstyrelsestöd samt MSB och skogsbrandflyg anser vi oss i nuläget ha verktygen!

Bilaga C. Intervju med dr H.G. Pearce

Denna intervju utförde via e-post 2010-11-11.

When did you start the work on introducing the FBP to your country?

Work did not begin properly on introducing the FBP system in NZ until 1992/93 (and the secondment of Canadian fire researcher Marty Alexander to NZ).

What were the reasons/motivation?

Prior to this, NZ had already adopted the Canadian FWI System for general fire danger rating in NZ's pine plantations, but there was interest in fire danger and quantitative fire behavior prediction in this and other NZ vegetation types. There was concern that the FWI System was being applied to these other, especially non-forested fuel types, without appreciation of the limitations of the FWI System. There was also interest among NZ fire managers, following exposure to potential applications (by Marty Alexander), in how the broader CFFDRS could be used to assess specific fire behavior potential in different vegetation types (as opposed to just relative fire behavior potential derived from the weather-based FWI System values), and therefore be used to develop decision aids to assist fire management decision-making (e.g. initial attack guidelines).

What were your intentions with the system?

The wider objective was to look to develop a broader NZFDRS based on the CFFDRS philosophy, including developing the additional subsystems (in addition to the FWI System) to enable development of decision guides/decision-support tools for fire management. In the case of the FBP System specifically, the objective was to develop a NZ version of the CFFBP subsystem comprising models for predicting fire behavior in NZ fuel types.

How did you start off?

The research initially began by attempting to validate existing Canadian fuel models to NZ vegetation types, such as pine plantations and grasslands, and identification of additional priority fuel types not covered by CFFBP System or other international models (e.g. scrub fuels). The initial focus was (and continues to be) on development of models for fire rate of spread, rather than fuel consumption or other fire behavior characteristics. The first step was to look to validate fire behavior for significant wildfires against the fire danger class criteria developed for forests (pine plantations) and grasslands (by Alexander 1994/2008), and then moved to use of small-scale experimental burning trials for further validation and development of new models for other fuel types.

What were the main barriers/issues?

Getting agreement from fire managers on the priority fuel types for research, and recognition of the amount of time required to conduct a sufficient number of burn trials in each vegetation/fuel type to develop a robust models. Locating suitable sites, obtaining local logistical and operational suppression support, and getting suitable/required target conditions for burn trials, including being able to burn under higher fire danger conditions. Obtaining data for wildfires to extend the models into the more extreme conditions under which wildfires occur, either through reconstruction of historical fire events (missing records, limited data, etc.) or present-day wildfires (not being notified in time/being too far away for researchers to collect data, local fire managers not recognising importance of collecting data/not collecting

sufficient data). And issues associated with extension of a forestry-based system to non-forested fuel types (and whether the underlying relationships of the FWI System are still applicable, and provide a robust basis for development of models for non-forested fuel types), and potential implications associated with moving away from a FBP System tied into the FWI System to weather inputs more directly (i.e. commitment to the existing system, training requirements, etc.).

The issue of balancing scientific rigour (the need for sufficient data points across the full range of conditions) versus operational need (demand from fire managers to have a tool they can use immediately) was one that became very apparent early in the NZFBP development. Operational managers are often happy to go with an 80% solution when researchers may be reluctant to release models which haven't been fully tested and peer-reviewed. Potentially, incomplete/inaccurate models can be released too early which, worst-case, could result in people making the wrong decision and firefighters or the public being killed or injured; alternatively, operational users could be made to wait too long for researchers to produce models they are sufficiently happy with, so that they go with an alternative or lose interest in utilising the models when they are finally produced. Therefore this imbalance can result in conflict that requires careful management.

How many fuel types did you keep from the CFFBP and how many did you have to develop?

Within the current NZFBP, NZ has validated and retained 4 fuel types from the CCFFBP, including C-6 (mature pine forests), S-1 (cut-over logging slash), and O-1a (cut/matted grass, for grazed pasture and harvested crop stubble) and O1-b (natural/standing grass, for taller pasture and native tussock grasslands). In the case of plantation forests, we have also developed modified CFFBP fuel types for various forest age classes by mixing and matching these standard fuel types (mainly for ROS, e.g. by using a grass model in young plantations), and in some cases modifying model coefficients (mainly for fuel consumption). In lieu of any local knowledge, a modified M-2 (mixedwood green) fuel type is also used for our native forests (temperate rainforests including podocarps, beech (*Nothofagus*) and broadleaf species). These fuel types include models for rate of spread and, with the exception of grass fuels, fuel consumption based on the standard ISI and BUI. In addition, we have developed a model for rate of spread in scrublands (with reduction factors used for various scrubland/shrubland types/species). Models have also been developed to estimate available fuel loads (as opposed to fuel consumption) in grassland and scrubland fuel types based on vegetation height and/or ground cover.

However, we are about to release a number of replacement models in the near future, including improved models for available fuel loads (still based on height and cover), and for rate of spread in tussock grasslands, crop stubble and scrublands that move away from using FWI System components (i.e. the ISI) in favour of wind speed, fuel moisture and vegetation height (likely as a surrogate for fuel load or bulk density).

How did this work proceed?

As noted above, the work moved from validation of initial fuel types to development of new models for vegetation types not covered or well-represented by models from the CFFBP System. Subsequently it has moved into other elements of the FBP system, including quantifying effects of slope on ROS in the different fuel types, and validation and extension of fuel moisture relationships (as a part of the Accessory

Fuel Model subsystem) for the standard FWI moisture equations in pine plantations as well as new FMC models, especially for elevated fuel types such as scrublands and tussock grasslands.

Where are you today?

After almost 20 years of research, NZ has a relatively robust system that is well accepted by operational fire managers. We have reasonable models or interim solutions for many of the major fuel types, although there are some recognised gaps (e.g. native forests), work currently still underway (e.g. slope effects, fuel moisture relationships) and further improvements that can be made in a number of areas (e.g. fuel consumption models, species differentiation within fuel types). The strengths of the CFFDRS framework, empirical approach and links to fire management applications has been a key part in this success to date. However NZ is currently at a somewhat of a turning point, in that many of the more recent model developments have suggested that better results can be obtained using weather and fuel inputs directly as opposed to via the FWI System. A decision to proceed down this path could result in issues around linking the new models into the existing NZFDRS and operational systems, and the greater complexity producing potential confusion and reluctance to adopt new models, and increased training requirements for end-users. So again, this needs to be very carefully considered given the investment and success in getting to where we've gotten to in NZ to date.

Read a article where you discussed different fire growth simulation models, have you decided for Prometheus?

Yes, NZ has made the decision to proceed with using Prometheus as the basis for a NZ fire growth simulation model. The primary driver for this was again the ease of adapting it to incorporate local fire behavior models based on the same underlying approach between Canada and NZ (provided through the CFFDRS/NZFDRS, with FWI System inputs and FBP System fire behavior prediction framework). In conjunction with the Canadians, a version of Prometheus has been modified to incorporate the NZ models, an initial training course run for NZ users, and work begun on producing a NZ user guide. A number of trained users are already start to use this Prometheus NZ-version for a range of applications, including post-fire analysis, pre-fire strategic planning and training, as well as operational fire behavior prediction.

Further more, is there any documentation of the work you've been carrying out during the development of your FBP? Also is there a digital copy of your orange book? We haven't been able to find it. It would mean a lot for our thesis if we could get a copy to study.

I have attached a summary of literature on NZ's adaptation of the CFFDRS. A number of the most relevant papers and reports are attached here, or are being sent separately due to file size, including a pdf of the NZ FBP field manual. Many of the others can be downloaded from our website (www.scionresearch.com/fire). let me know if you can't locate any publications you are interested in and I'll forward these on.