Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

FORSKNING

En ny modell för gräsbrandsfara i Sverige

Johan Sjöström, Anders Granström, Anna Jansson och Johan Böhlin

En ny modell för gräsbrandsfara i Sverige

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)

Foto omslag: Johan Sjöström. Bilden visar en gräsbrand intill ett kärr vid en naturvårdsbränning i Halland, 19 april 2017.
Text: Johan Sjöström, Anders Granström, Anna Jansson och Johan Böhlin

Produktion: Advant

Publikationsnummer: MSB1721 - december 2022
Tidigare utgiven: februari 2021
ISBN: 978-91-7927-121-3

Sammanfattning

Risken för antändning och snabb spridning av vegetationsbränder i skogsmark och i gräsmarker skiljer sig markant. Gräsbränder sprider sig i dött fjolårsgräs, tidigt på våren, innan årets färska gräs hunnit växa till och dessa bränder kan spridas snabbt efter bara några timmars torrt väder. Risken klingar snabbt av med inväxten av färskt gräs för att i stort sett upphöra till sommaren. Skogsbränder har inte samma säsongsberoende av bränslet utan styrs mer av vädret. Därför sker de typiskt under sommaren och kräver oftast flera dagars torrt väder. Dessa skillnader gör att olika riskbedömningssystem måste användas för dessa två karakteristiska typer av vegetationsbränder.

Här presenteras en ny modell för gräsbrandsfara som använder potentiell spridningshastighet i obetat, oklippt gräs som indikator på risk. Algoritmen tar väderhistoriken (snötäcke, relativ luftfuktighet, vindhastighet, temperatur och solinstrålning) samt progressionen av årsgräsets inväxt i beaktning. Modellen bygger på en modell för beräkning av fuktkvot i gräs utvecklad i Nordamerika samt en modell för hur fuktkvoten och vindhastigheten inverkar på spridningshastigheten. Effekten av årsgräsets inväxt under svenska förhållanden beräknas genom 25 års insats- och väder-data i tio regioner och en anpassning till tidigare utförda testbränningar från snösmältning till gräsbrandssäsongens slut. Modellen kan uppdateras varje timme, i linje med det uppdaterade brandrisksystemet i Sverige.

Förslag till hur indelning i risknivåer ska utformas med avseende på riskindikatorn presenteras och modellen sätts i bruk till våren 2021.

Abstract

In northern regions, the propensity for ignition and rapid spread differ noticeably between so-called grassfires and forest fires. During early spring, fires can spread rapidly in the grass litter on open fields after just a few hours of dry weather. Potential rate of spread, however, decreases with the growth of new grass to virtually zero by the onset of summer. Forest fires do not exhibit the same fuel related seasonal dependence and fuel beds in forests typically dry more slowly. Due to these differences, there is a need for different risk assessment models for these two characteristic types of wildfires.

This report presents a new model for grassfire danger. The model uses potential rate of spread of uncut, ungrazed, natural grass as a proxy for fire danger. The algorithm uses current and past weather (snow cover, relative humidity, wind speed, temperature, and irradiance) in addition to a submodel for the progressive growth of new grass. We modify a Canadian model for calculating moisture content in grass litter (Wotton, 2008) and Australian models (Cheney et al., 1993; 1998) to account for the effect of wind and fuel moisture content on rate of spread. The limiting effect of grass regrowth for Swedish conditions is incorporated using 25 years dispatch- and weather data combined with a set of experimental fires conducted from the time of snowmelt to the end of the grassfire season (Granström et al., 2000). The model is suited for hourly updates, in line with the new wildfire risk assessment in Sweden, and will be implemented in the spring of 2021.

Innehåll

Nomenklatur 6

1. Bakgrund 9

2. Underlag till modell 12
2.1 Områden för analys av säsong 12
2.1.1 Insatsdata 13
2.2 Testbränningar 14
2.3 Väderobservationer 14

3. Utveckling av säsongen över året 16
3.1 Uppskattat intervall för säsongsslut 16
3.2 Modelluppbyggnad för säsongens utveckling 17

4. Vädrets inverkan på spridningshastigheten 25
4.1 Gräsets fuktkvot 25
4.2 Spridningshastighetens beroende av vindhastighet och fuktkvot 28
4.3 Spridningshastighetens beroende av inväxten av grönt gräs 29

5. Applikation på våren 2019 och 2020 34
5.1 Exemplet Norrköping 34
5.2 Fördelning av spridningshastigheten 36

6. Utformning av riskmodell 40
6.1 Riskmodell att operationalisera 2021 41
6.2 Framtida utveckling av riskmodellen 42
6.3 Karakteristiskt väder vid risknivåerna 43

7. Diskussion 46

8. Referenser 49

Bilaga 1: Källor till väderdata 52

Bilaga 2: Insatser och väderutveckling 56

Bilaga 3: Applikation 2019–2020 65

Bilaga 4: Brandbeteende 70

Nomenklatur

Tabell 1. Begrepp, symboler och förkortningar i rapporten.

Begrepp/ symbol	Beskrivning
Dagnummer	Antalet dagar som har passerat under innevarande år.
EMC	Bränslets jämviktfuktkvot vid konstant lufttemperatur och *RH*. I index D benämner jämvikten när bränslet sjunkit mot jämvikt och index W när det stigit mot jämvikt. Dessa två skiljer sig, vilket benämns hysteres.
F_t (d)	Tidsfunktion, (*d*-dagnummer) som förskjuter effekten av varma dagar tidigt på säsongen.
FFMC	Fine Fuel Moisture Code, kodvärde för fuktkvot i markens finbränsle som används i modellen för skogsbrandsrisk (Stocks et al., 1989).
Fuktkvot	Massandelen vatten i ett material (massan vatten/massan torrt material).
GDD	Graddagar. Summa av korrigerad temperatur enligt "Ekvation 5".
I	Solstrålning. Här "Globalstrålning", även "global irradians" (W/m^2). Total mängd strålning (sol- och övrig diffus) som träffar en horisontell (mark-)yta.
mc	Fuktkvot
MESAN	MESoskalig ANalys. Meteorologisk analysmodell för interpolering av observationsdata som beskriver det aktuella väderläget i gridrutor.
MSB	Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap.
RH	Luftens relativa fuktighet.
R_n	Beräknad spridningshastighet för brand i stående, obetat, oklippt fjolårsgräs.
R_0	Beräknad spridningshastighet utan att beakta hämmande effekten av inväxande gräs $R_0=R_n \times e^{-0,0112 \cdot GDD}$.
Max R_n/R_0	Maximala värdet av R_n/R_0 under ett dygn vid en specifik plats.
T	Lufttemperatur.
T_b	Bastemperatur (för justering av temperatursumman *GDD.*
T_{corr}	Temperatur korrigerad för frostgrader och snötäcke.
T_g	Gräsets yt-temperatur.
T_i	Karakteristisk temperatur som en proxy för marktemperatur.
T_{luft}	Dygnsmedelvärde av lufttemperaturen.
Solstrålning	Se *I*.

Begrepp/ symbol	Beskrivning
Vindhastighet, W	Medelvindhastigheten (m/s) på tio meters höjd över öppen mark, om inget annat anges.
Φ_{mc}	Hämmande effekt på spridningshastigheten av bränslets fuktkvot.
Φ_{c}	Hämmande effekt på spridningshastigheten av inväxande gräs.

I denna rapport används begreppet "risk". Detta begrepp syftar vanligtvis till ett sammanvägt mått för en händelses sannolikhet och dess konsekvens. I Sverige används begreppet ofta synonymt med ett mått på hur troligt det är att något (oönskat) kan inträffa. Denna rapport benämner "gräsbrandsrisk" som ett mått på hur svårt det är att begränsa spridningen av en gräsbrand (och därmed få oönskade konsekvenser). Som indikator på gräsbrandsrisken används här beräknad spridningshastighet av flammorna i en bred flamfront. Det bör hellre likställas med vad som på engelska benämns "Fire danger" än "Fire risk".

Bakgrund

1. Bakgrund

Även om gräs eller gräslika växter (starr etc.) ingår som en större eller mindre bränslekomponent i många olika biotoper brukar man göra en distinktion mellan ”gräsbrand” och ”skogsbrand” beroende på var och när de sker. Det vi normalt benämner skogsbrand sker i skogsmark (inklusive hyggen) där bränslet brukar kräva åtminstone några dagars torka efter mättande regn. Skogsbrandsäsongen är lång och styrs helt av vädersituationen. Gräsbränder däremot sker på öppna gräsdominerade platser tidigt under barmarkssäsongen och kan inträffa redan efter några timmar av torrt väder, särskilt om solen skiner. Spridningshastigheten är också vanligen mycket högre än för bränder i typisk skogsmark.

Gräsbränderna sker i det döda fjolårsgräset som är mycket luckert, vilket möjliggör både snabb upptorkning och hög spridningshastighet. När nytt grönt gräs börjar växa in fram på våren påverkas dock både antändlighet och brandspridning snabbt, på grund av att dess stora vatteninnehåll är starkt hämmande för elden. Därför sker gräsbränderna oftast under våren och minskar snabbt i frekvens när sommaren anländer. I södra Sverige kulminerar säsongen redan i mars men i Norrland sker flest gräsbränder i maj (Olsson, 2014). Den geografiska region som har störst förekomst av gräsbränder är Västkusten (Sjöström & Granström, 2020), vilket antagligen speglar både snöfattiga vintrar och en lokal luntartradition.

På grund av den distinkta skillnaden mellan gräsbränder och skogsbränder har det behövts en speciell modell för gräsbrandsrisk. Sedan 2003 har SMHI använt en modell framtagen av Andréasson och Gardelin (2002). Modellen uppdateras dagligen och beskriver gräsbrandssäsongens utveckling i fyra steg (snö, pågående, avtagande och avslutad) samt gräsbrandsriskens dagliga variation i två steg (hög respektive låg). Säsongens utbredning baseras på information om befintligt snötäcke och en ackumulerad och modifierad summa av medeltemperatur från 1:a januari, medan risknivån bestäms av beräknad markfuktighet i det översta en cm tjocka markskiktet samt relativ luftfuktighet under aktuell dag. Modellen har sedan 2003 ingått i det brandriskprognossystem som produceras av SMHI på uppdrag av MSB samt för kommunikation till allmänheten via radio, appen "Brandrisk Ute" och SMHI:s hemsida.

MSB önskar vidareutveckla modellen med avseende på följande frågeställningar:

- Algoritmen baseras på begränsad data från 4 brandstationer och 4 år vilket inte anses tillräckligt för att spegla landet som helhet över längre tid.
- Modellen beaktar inte parametrar som enligt erfarenhet påverkar risken avsevärt, exempelvis solinstrålning och vindhastighet.
- Modellen ger enbart dagliga värden vilket innebär att tider hög gräsbrandsfara kan förloras och är inte i linje med den nya utvecklingen av modellen för skogsbrandsrisk.

- Under 2020 föreföll det som att modellen kraftigt underskattade gräsbrandssäsongens längd då flera bränder registrerades många veckor efter att gräsbrandsäsongens slut.
- Under många år så visar modellen en hög fara under ”avtagande säsong” följt av ”avslutad säsong” dagen efter, vilket inte torde spegla den verkliga faran.

Denna rapport beskriver utvecklingen av en ny modell som beaktar ovanstående punkter och som beräknas tas i produktion under vårvintern 2021.

Underlag till modell

2. Underlag till modell

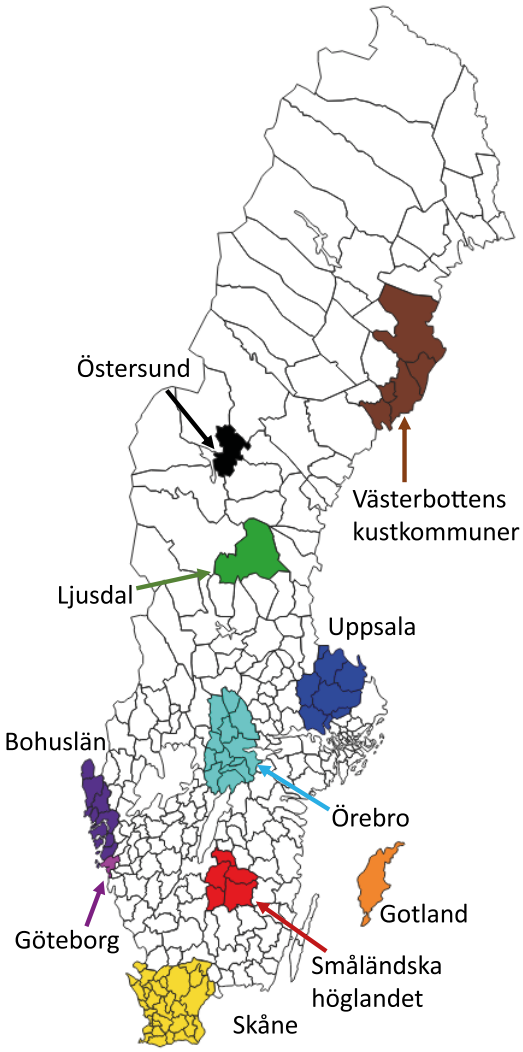
2.1 Områden för analys av säsong

Tio områden valdes ut för att analysera säsongens utbredning i tiden, med hjälp av statistik från insatsrapporteringen och väderdata. Storleken på områdena valdes med hänsyn både till behovet av tillräckligt många bränder i statistikunderlaget och tillräckligt homogent väder och snöförekomst inom området. De selekterade områdena representerar både höglands- och låglandsområden vid samma breddgrad, kust- och inlandsområden samt tätorter och glesbygd.

Utvalda områden för analys av gräsbrandssäsong är

- hela Skåne
- Bohuslän (alla kustkommuner)
- Göteborgs kommun
- Småländska höglandet
- Gotland
- Örebro län
- Uppsala län
- Ljusdals kommun
- Östersunds kommun
- Västerbottens kustkommuner (inklusive Vännäs).

Figur 1. Karta med uppdelningen av de tio områden där gräsbrandssäsongen utvärderas.



2.1.1 Insatsdata

För att analysera typiska gräsbränder i Sverige, mer specifikt de gräsbränder som inträffar i fjolårsgräs under våren innan det gröna årsgräset vuxit sig högt nog för att effektivt dämpa brandspridningen, utnyttjades MSB:s insatsdatabas.

Alla registrerade insatser från de tio områdena ("Figur 1") för åren 1996–2020 extraherades ur databasen. Insatserna filtrerades så att enbart de bränder togs med vilka hade en bränd area av minst 100 m^2 i kategorierna "Annan ej trädbevuxen mark" eller "Åker och betesmark". Fritextfälten i underlaget lästes och bränder som inte uppenbarligen tillhörde rätt kategori sållades bort. Bortsållade bränder är exempelvis de som skett i stora högar av ris eller annat avfall, bränder på soptippar eller bränder som av beskrivningen att döma har skett i annat än gräsförna, såsom ljung eller buskage. Under senare delen av säsongen sållades även bränder i stubbåkrar eller halmlager bort samt bränder längs järnvägsspår där spridning utanför banvallen skett. Slutligen sållades alla bränderna som inträffat efter 1:a juli bort då de inte är representativa för denna typ av gräsbränder, även om de innefattat gräsmark.

Denna gallring resulterade i totalt 5 115 utvalda bränder. Deras fördelning över områden och år sammanfattas i "Bilaga 3: Applikation 2019–2020" ("Tabell 4").

För varje område jämfördes insatsernas fördelning under varje säsong med dagliga värden över relativ luftfuktighet och "fine fuel moisture code" (FFMC) (Stocks et al., 1989). På så sätt kunde ett intervall uppskattas där vi kan anta att gräsbrandssäsongen har tagit slut genom att ta hänsyn till huruvida bränderna upphörde vid ett väderomslag till regn eller om de upphörde under en period med tillräckligt torrt väder.

2.2 Testbränningar

Under våren 1998 genomfördes en serie testbränningar i gräsmark väster om Umeå (Granström et al., 2000). Data från den kampanjen utnyttjas här för modellering av spridningshastighet under inverkan av ny gräsväxt. Studien omfattade 56 testbränningar från början av maj in i juni och analyserade spridningshastighet, fuktkvot i olika bränslelager, bränslekonsumtion, väderparametrar, andelen levande och död massa i bränslet och relationen till det kanadensiska systemet för skogsbrandsrisk (engelska: fire danger) (Stocks et al., 1989).

2.3 Väderobservationer

Då omanalyserade, interpolerade väderobservationer inte finns direkt tillgängliga för den period som studien omfattar (exempelvis saknas beräknat snötäcke fram till 2008) så gjordes kompletteringar med observationsdata från SMHI väderstationer. En kombination av MESAN-data och observationer utgjorde hela underlaget, "Tabell 3" (Bilaga). För varje observationstillfälle (timme eller dygn) medelvärdesbildades data för de stationer som varit i bruk för att få ett homogeniserat värde över respektive område. Då data över snö ofta inte uppdaterats varje dag fick data över närliggande stationers dagstemperaturer hjälpa till i extrapolering av ”snötäcke”.

Utveckling av säsongen över året

3. Utveckling av säsongen över året

3.1 Uppskattat intervall för säsongsslut

Insatser från 1996–2020 för alla regioner analyserades manuellt och fritextavsnittet lästes igenom. För vissa år och områden förekommer insatser där gräsmark eller ängsmark brinner även en bra bit in på sommaren. Ett exempel från underlaget är från maj i region Skåne och går varken att bekräfta eller avfärda som gräsbrand:

> Elden hade startat bakom XXX-skolan och vandrat uppför slänten mot skogen. Vid framkomst hade det ökat till cr:300 m^2. Vi angrep elden med tre st strålrör, samt med räfsor och grepp. Vi fick snabbt kontroll över branden, den hade ej gått på djupet.

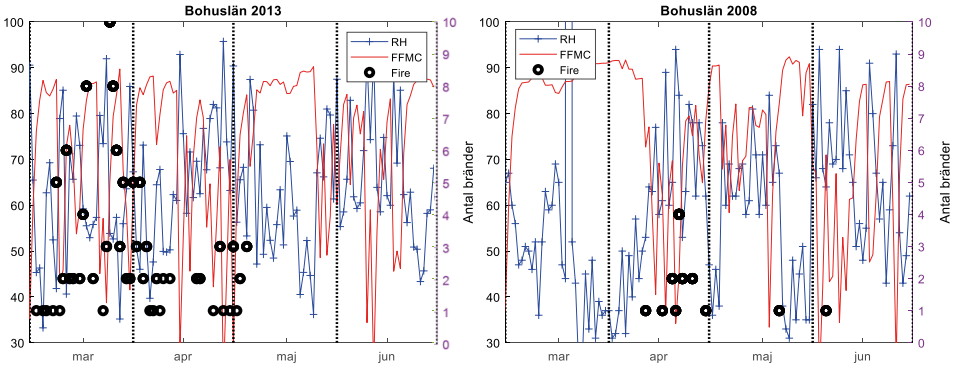
Andra rapporter är tydliga för just de karakteristiska gräsbränder vi försöker studera här, som nedanstående två exempel, från Gotland 31:a mars, respektive Västerbotten 16:e maj:

> I samband med militär sprängövning antändes fjolårsgräset. Branden spreds snabbt i den starka vinden. Militären lyckades släcka det mesta med hjälp av ruskor. Vi släckte ner bland några uppstickande buskar och stubbar. Eftersläckningen överlämnades till militären.

> Markägaren hade för avsikt att bränna gräs på sina ägor, men tappade kontrollen över branden som spred sig till 1 000 kvm. Ett hus och en ladugård var farligt nära men vinden var åt rätt håll så byggnaderna klarade sig. Branden var släckt vid vår framkomst så vi blöte bara på runt kanterna.

Även om bränderna ett visst år slutar tvärt under våren så är inte heller det en tydlig indikation på att säsongen verkligen är över, eftersom man inte kan räkna med att ”antändningsförsök” förekommer varje dag och då vädret kan slå om mot en period av fuktigt väder dagen efter den sista rapporterade branden, och därmed ge ett för tidigt ”avslut” av den potentiella gräsbrandsäsongen. Vi gjorde därför en kvalitativ bedömning av brandsäsongens avslut, baserat på tidpunkten när ”äkta” gräsbränder upphör eller blir sällsynta och med beaktande av RH och FFMC under de närmast följande dagarna, se exempel i "Figur 2".

Figur 2. Exempel på antalet bränder för varje dag samt RH (12:00 UTC) och beräknat FFMC för två år i Bohuslän. Säsongens slut kan definieras lättare för 2013 (vänster) än 2008 (höger).



Istället för ett definitivt datum för säsongens avslut så identifieras ett tidsintervall med start dagen efter att sista branden inträffar. Vissa år kan intervallet smalas ner till några dagar, det vill säga när det varit fortsatt gynnsamt väder men inga ytterligare gräsbränder (2013, "Figur 2"). Andra år, när vädret efter sista brand varit fuktigt, blir tidsintervallets bortre gräns mer svårdefinierad och intervallet så långt som 20 dagar. Vissa år kan inget intervall definieras över huvud taget på grund av för få bränder (exempelvis Gotland 2018–2020).

I vårt underlag inträffar flest bränder under mars och april i södra Sverige medan maj månad är vanligare i Norrland. Fler exempel över säsongsfördelningen under år samt tabell med intervallen för säsongens avslut presenteras i "Bilaga 2: Insatser och väderutveckling" ("Figur 18").

3.2 Modelluppbyggnad för säsongens utveckling

Det finns ingen entydig modell för när och med vilken hastighet det nya gräset växer till under säsongen. Den mest välunderbyggda modellen är Landströms (1990), baserad på sju års fältobservationer. Enligt denna påbörjas tillväxten av timotej i Norra Sverige 3–4 dagar efter att frosten tinat ner till ett djup av 20 cm. Biomassans ökning under våren beräknas därefter med en temperatursumma (Nilsson & Hansson, 2001). Vi bygger på samma sätt en funktion av kumulativa graddagar (GDD) (hädanefter kallad temperatursumma eller GDD) baserad på varje dags dygnsmedeltemperatur som ligger över en given bastemperatur, med hänsyn till eventuell förekomst av snötäcke samt det aktuella dagnumret. Temperatursumman fungerar som en indikation på markens temperaturhistorik och inväxten av grönt gräs eftersom grästillväxten initieras först då gräsrötterna kan tillgodose växten med vatten och näring. En korrigerad temperatur definieras på samma sätt som i SMHI:s tidigare gräsbrandsmodell enligt "Ekvation 1".

$$T_{corr} = \begin{cases} 0 & \text{(vid snö)} \\ 0.1 \times T_{luft} & \text{(vid snöfritt \& } T_{luft} < 0) \\ T_{luft} & \text{(annars)} \end{cases} \qquad \text{(Ekvation 1)}$$

Snöfritt definieras enligt Andreasson och Gardelin (2002) med att snötäcket är mindre än 5 mm SVE (SnöVattenEkvivalenter). I denna studie har snöns densitet definierats som 200 kg/m^3, baserat på karakteristisk densitet hos blötsnö eller packad snö under senvåren (Brandt et al., 1999). För studien används observationsdata från väderstationer enligt ovan.

Därefter beräknas en karakteristisk temperatur (som en proxy för marktemperatur) baserat på ett antal (N_{av}) dagars medelvärde bakåt i tiden av den korrigerade temperaturen.

$$T_i = \left(\sum_{d=i-N_{av}+1}^{i} T_{corr,d} \right) / N_{av} \qquad \text{(Ekvation 2)}$$

Från 1:a januari beräknas sedan en temperatursumma enligt:

$$GDD(d) = \sum_{i=1}^{d} (T_i - T_b)\, F_t(i) \qquad \text{(Ekvation 3)}$$

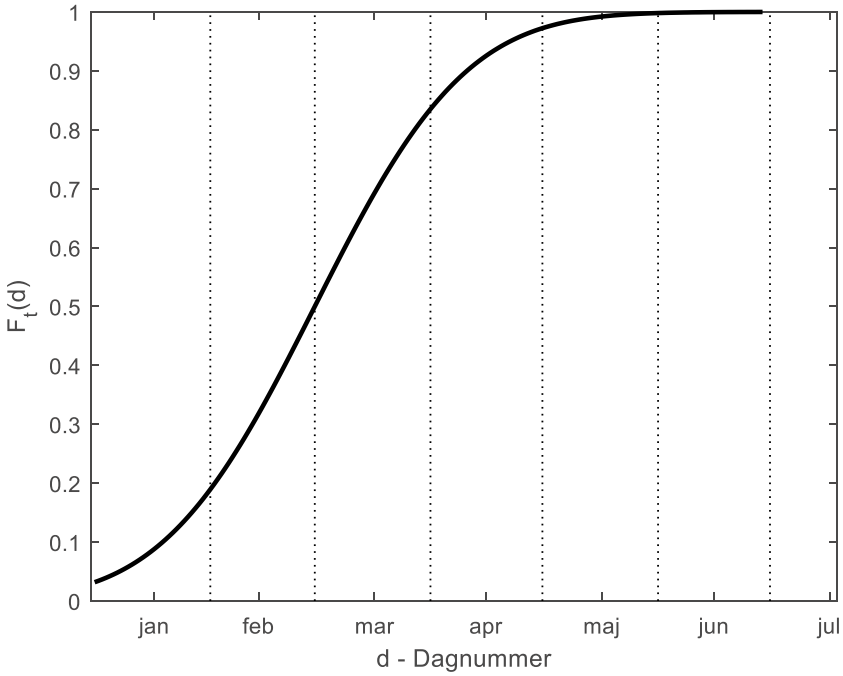
Där *i* är varje dag från 1:a januari till dagnummer *d* . Om T_i är mindre än en bastemperatur (T_b) så sätts T_i=T_b.

Funktionen F_t är en tidsfunktion som tar hänsyn till att inte gräset växer lika mycket under årets början som senare under våren, oavsett temperatur. Bakgrunden till detta är att det under snöfria och milda vintrar i södra Sverige, exempelvis 2008 och 2020, troligen inte förekom nämnvärt med uppvuxet gräs trots att temperatursumman indikerar detta. Dessa år inträffade ett antal gräsbränder när den gamla gräsbrandmodellen visade att säsongen var slut. Tidsfunktionen förskjuter effekten av en temperaturdag, vilken ökar allteftersom säsongen fortskrider. Funktionen är en kumulativ normalfördelning och definieras som:

$$F_t(d) = 0.5 \times \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{d - (N + N_{shift})}{N} \right) \right] \qquad \text{(Ekvation 4)}$$

där *d* är dagnummer ("Figur 3"). Funktionens form liknar kurvan för dagens längd i Svealand.

Figur 3. Exempel på tidsfunktionen $F_t(d)$ med exempelparametrarna N = 45 och N_{shift} = 15 dagar.

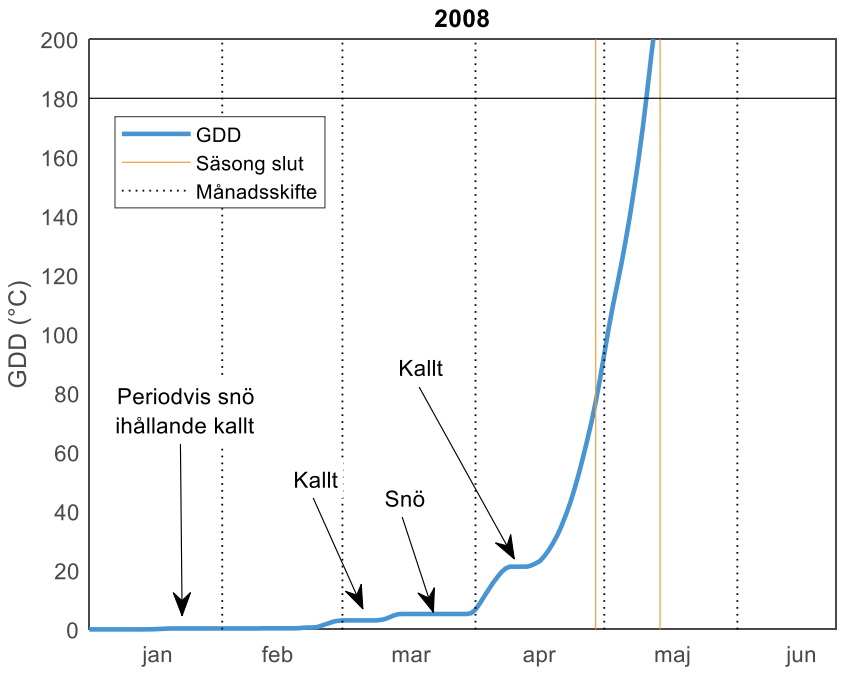


För att definiera en väl fungerande temperatursumma varierade vi fem av de ingående parametrarna i modellen för säsongens längd för att motsvara säsongsutvecklingen i de olika landsändarna.

- N_{av} – antalet dagar bakåt som medelvärdesbildas
- T_b – bastemperaturen (°C)
- N – bredden på tidsfunktionens ökning (dagar)
- N_{shift} – tidsperiod för att skifta funktionens stigning (dagar)
- GDD_{slut} – summan vid vilken säsongen anses avslutad.

Exempel på hur temperatursumman och intervallet för säsongens avslut sammanfaller exemplifieras för Örebro län år 2008 ("Figur 4"). Under januari och huvuddelen av februari förekom korta perioder med snö och temperaturerna var generellt sett låga, även vid barmark. Därför ökade temperatursumman endast marginellt fram till slutet av februari vartefter temperaturen steg långsamt. I början av mars var det en veckas kallt väder vilket resulterade i en stagnerande temperatursumma. Samma sak hände under andra hälften av mars (snö på marken) och en bit in i april (kallt väder).

Figur 4. Temperatursummans utveckling för Örebro, 2008.



Den horisontella linjen GDD = 180 °C och de orangea vertikala linjerna markerar uppskattat intervall för gräsbrandsäsongens slut detta år. Parametrarna för detta exempel är N_{av} = 4, T_b = 2, N = 60, N_{shift} = 20.

Utifrån jämförelser mellan de olika regionerna och testbränningarna (Granström et al., 2000) förväntar vi oss att en summa på GDD = 180 °C väl indikerar säsongens avslut. I exemplet med Örebro år 2008 så når temperatursumman 180 °C den 9:e maj, väl inom det tidsintervall då vi, baserat på insatsdata och väder, bedömer att gräsbrandsäsongen avslutats ("Figur 4"). Den gamla gräsbrandsmodellen indikerar däremot avslutad säsong redan den 24:e april.

Vi utvärderade differensen mellan intervallet då säsongen kan anses avslutad och det datum modellen når slutsumman GDD_{slut} för alla tio områden och 25 år. För att hitta en bra uppsättning parametrar utvärderade vi tre parametrar:

1. RMS-värdet (Root Mean Square) av alla differenser.
2. Hur många år modellen underskattar säsongens längd med minst en vecka.
3. Hur väl modellen beskriver tiden då spridningen i gräs var försumbar från testbränningarna i Umeå (Granström et al., 2000).

Ingen parameteruppsättning optimerar alla tre utvärderingsfaktorer. Parameteruppsättningar passande för Örebro och Västerbotten ger vissa år för tidigt avslut av säsongen i Göteborg och Bohuslän samt för sent avslut i Skåne och på Gotland. En kompromiss som stämmer väl med testbränningarnas spridning samt max fem säsonger (av de 250 kombinerade år/områden) med mer än en veckas underskattning av säsongens slut presenteras nedan (Tabell 1).

Tabell 2. Slutlig parameteruppsättning för att bestämma gräsbrandsäsongens avslut.

Parameter	Värde
N_{av}	4 dagar
T_b	2 °C
N	60 dagar
N_{shift}	20 dagar
GDD_{slut}	180 °C

Differensen för alla områden och år med parameteruppsättningen enligt "Tabell 1" visar att medelvärdet av differensens absolutbelopp är 4,5 dagar och RMS-värdet 6,5 dagar ("Tabell 2").

Ekvationen som beräknar inväxningen av gräs och därmed säsongens utveckling är alltså:

$$GDD(d) = 0.5 \times \sum_{i=1}^{d} (T_i - 2) \times \left[1 + \text{erf}\left(\frac{i - 80}{60}\right)\right],$$

$$T_i = \left(\sum_{j=i-3}^{i} T_{corr,j}\right)/4, \quad \text{Värdet begränsas av } T_i \geq 2$$

$$T_{corr} = \begin{cases} 0 & \text{(vid snö)} \\ 0.1 \times T_{luft} & \text{(vid snöfritt \& } T_{luft} < 0\text{)} \\ T_{luft} & \text{(annars)} \end{cases}$$

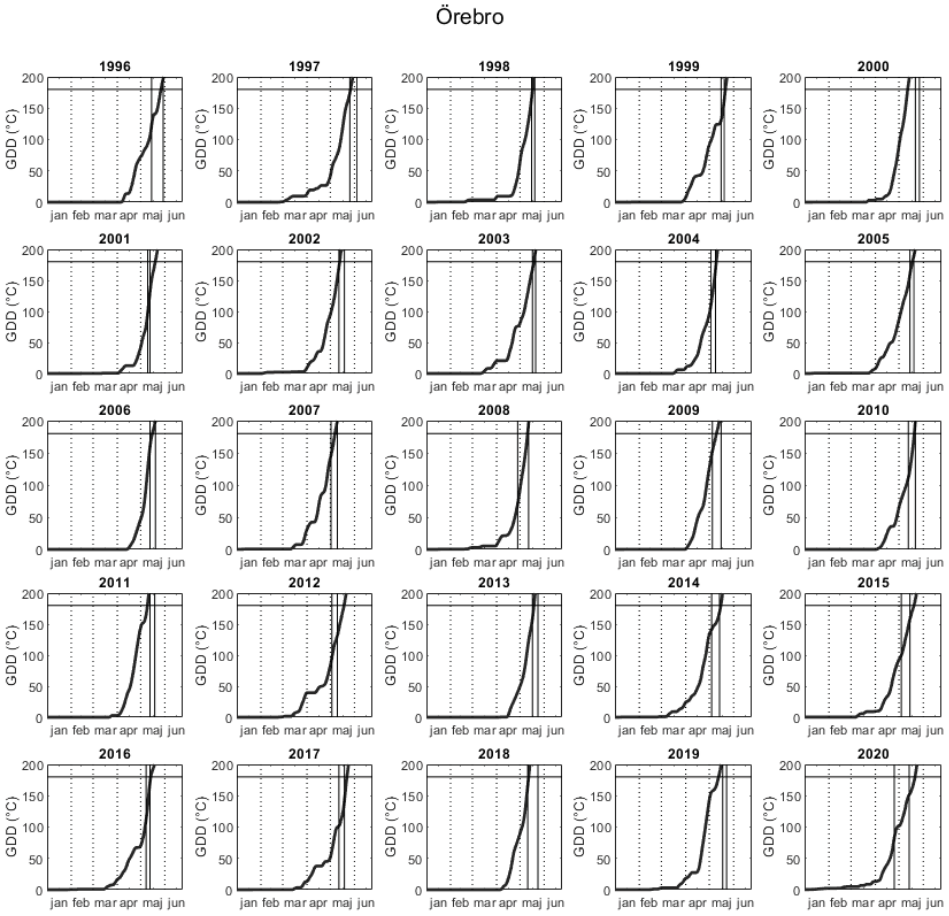
(Ekvation 5)

Tabell 3. Differens mellan säsongens avslut enligt uppskattning från insatsdata och modellen. AbsMed innebär medelvärdet av absolutbeloppen av differensen.

År	Skåne	Bohuslän	Göteborg	Småländska höglandet	Gotland	Uppsala län	Örebro län	Ljusdal	Östersund	Västerbotten	AbsMed
1996	9	0	0	0	16	0	0	0	6	4	3,4
1997	15	0	5	2	16	1	0	4	1	5	4,9
1998	5	4	-1	0	8	14	0	0	7	9	4,3
1999	19	-6	0	2	17	4	2	-2	4	10	6,2
2000	14	5	0	-6	6	0	-9	-1	13	0	6,0
2001	0	0	-2	0	5	0	7	12	10	11	4,0
2002	14	11	-4	0	2	19	0	1	0	1	5,7
2003	0	12	-4	0	12	5	0	1	3	12	4,1
2004	1	0	-16	0	8	-10	1	3	7	10	5,1
2005	13	-4	-8	5	3	0	0	-2	1	9	4,0
2006	11	0	-7	0	5	3	0	9	6	8	4,6
2007	6	0	-3	-1	12	8	0	-1	9	3	4,4
2008	-9	0	-5	1	0	-3	0	4	6	4	3,1
2009	5	0	-4	0	0	6	0	-4	11	2	3,3
2010	8	0	0	8	8	14	0	7	11	0	6,2
2011	-1	-5	-2	0	15	7	-3	1	7	6	4,6
2012	15	0	-4	10	8	8	9	8	0	7	6,9
2013	0	7	0	0	4	6	0	11	0	3	3,1
2014	10	-6	-4	0	22	2	2	0	9	4	6,1
2015	7	0	0	12	12	4	6	0	6	0	5,2
2016	0	0	0	0	9	0	1	0	7	3	1,9
2017	19	0	0	4	7	0	4	7	5	0	5,1
2018	3	0	-5	0	1	-2	0	0	0	0	1,2
2019	2	0	-4	-1	0	9	-5	0	0	3	2,3
2020	5	6	0	0	0	22	18	14	0	5	7,2
RMS	9,7	4,5	4,7	4,0	9,9	8,4	5,0	5,6	6,5	6,0	6,5
AbsMed	7,6	2,6	3,1	2,1	7,8	5,9	2,7	3,7	5,2	4,8	4,5

Sammanställning för alla år i Örebro län visar att GDD inte når 180 °C inom det uppskattade intervallet för säsongens avslutande under varje år ("Figur 5") men optimering av parametrar ska minimera felet över alla år och alla regioner. Temperatursummorna för alla år och regioner finns i "Bilaga 2: Insatser och väderutveckling".

Figur 5. Exempel på temperatursummans utveckling ("Ekvation 5") och intervallet för säsongens avslut från insatsrapporter (vertikala streck) för Örebro län mellan 1996–2020. Summan vid säsongens slut GDD = 180 °C (horisontell linje).



Vädrets inverkan på spridnings-hastigheten

4. Vädrets inverkan på spridningshastigheten

Svårigheten att begränsa en gräsbrand bestäms av flera parametrar såsom hur stor den kontinuerliga bränslebädden är, markens topografi etc. Men allra mest av den potentiella spridningshastigheten och intensiteten, där de senare är linjärt kopplade för varje givet bränsle. Som ensam indikator över gräsbrandsrisken använder vi därför spridningshastigheten i stående gräs på plan mark när elden hunnit växa ut ur sin första tillväxtfas. Denna spridningshastighet beror främst på bränslets fuktkvot, vindhastigheten och andel dött material i gräset. Fuktkvoten bestäms i sin tur av väderhistoriken (nederbörd, lufttemperatur, vindhastighet, luftfuktighet och solstrålning). Solstrålningens inverkan sker via bränslets temperatur, som en solig dag är högre än i luften på 2 m höjd (där SMHI:s temperaturobservationer görs) och därmed ger en lägre relativ luftfuktighet i gränsskiktet kring bränslet och därmed en lägre fuktkvot i själva bränslet.

4.1 Gräsets fuktkvot

Torrare bränsle brinner mer effektivt och antänds lättare och ger därmed en snabbare spridningshastighet för en kontinuerlig bränslebädd. Vid fuktkvoter över ca 25 % självdör oftast branden och detta kan anses oberoende av grässort.

I det kanadensiska skogsbrandssystemet[1] beräknas fuktkvoten för fint dött material på markytan via Fine Fuel Moisture Code (FFMC) som anpassar sig till ny vädersituation på 1–2 dagar. FFMC är ursprungligen konstruerat för att avspegla fuktkvoten i barr på marken i skog. Gräsförna på öppen mark ställer dock in sig mycket fortare och kan bli brännbar bara några timmar efter nederbörd, i synnerhet vid solsken (Granström et al., 2000). Detta har observerats även i Kanada och Wotton publicerade år 2009 en anpassning av FFMC till gräs (Wotton, 2009). Den beskriver fuktkvoten i gräsförna baserad på aktuell vädersituation och passar väl för att uppdateras en gång i timmen. Metoden appliceras med mindre förändringar enligt nedan.

Startpunkten för beräkningen är den ursprungliga funktionen för FFMC baserat på små (mindre än ett dygn) tidssteg (Van Vagner, 1977):

$$\frac{mc(t) - \mathrm{EMC}}{mc(t-\delta) - \mathrm{EMC}} = e^{-k \cdot t} \qquad \text{(Ekvation 6)}$$

1. Vilket är det system för skogsbrandrisk som används även i Sverige.

där *mc*(t) är fuktkvoten i bränslet vid tiden *t* och EMC är jämviktsfuktkvoten vid samma tid. *k* är en konstant som beskriver (inversen av) bränslets karakteristiska reaktionstid på förändringar i omgivningen. Sambandet antar att reaktionstiden är konstant under tidsintervallet δ. För att bestämma EMC och *k* behöver gräsets temperatur (T_g) samt gräsets relativa fuktighet (RH_g) bestämmas baserat på lufttemperatur (T), relativa luftfuktigheten (RH), vindhastigheten (W) samt solstrålning (I) som en effekt per ytenhet.

Bränslets temperatur bestäms från fältmätningar (Van Wagner, 1969; Byram & Jemison, 1943):

$$T_g = T + 35.07 \cdot I \cdot e^{-0.2237 \cdot W} \quad \text{(Ekvation 7)}$$

där T är lufttemperaturen (°C), I strålningen (kW/m^2) och W vindhastigheten (m/s).

Den bränslenära relativa fuktigheten beräknas genom[2]:

$$\mathrm{RH}_g = \mathrm{RH} \cdot \frac{e_s(T)}{e_s(T_g)} \quad \text{(Ekvation 8)}$$

där $e_s(T)$ är mättnadsångtrycket av vatten i luft enligt Baumgartner et al. (1982).

$$e_s(T) = 6.107 \cdot 10^{\frac{7.5 \cdot T}{237+T}} \quad \text{(Ekvation 9)}$$

Jämviktsfuktkvoten för bränslet för givna förutsättningar bestäms enligt samma funktionella form som används för tallbarr i den Kanadensiska FFMC modellen (Stocks, 1989) men anpassat efter empiriska data för gräs (Taklosta – *Bromus tectorum*) (Van Wagner, 1972):

$$\mathrm{EMC_D} = \left(1.62 \cdot RH_g^{0.532} + 13.7 \cdot e^{\frac{\mathrm{RH}_g - 100}{13.0}}\right) + 0.27 \cdot \left(26.67 - T_g\right) \cdot \left(1 - e^{-0.115 \cdot \mathrm{RH}_g}\right) \quad \text{(Ekvation 10)}$$

2. Skiljer sig från Wotton (2009) med en faktor 100. Antagligen på grund av skrivfel i artikeln.

$$\mathrm{EMC_W} = \left(1.42 \cdot RH_g^{0.512} + 12.0 \cdot e^{\frac{\mathrm{RH}_g - 100}{18.0}}\right) + 0.27 \cdot \left(26.67 - T_g\right) \cdot \left(1 - e^{-0.115 \cdot \mathrm{RH}_g}\right) \quad \text{(Ekvation 11)}$$

Det saknas större empiriska undersökningar över reaktionstiden för gräsets fuktkvot vid förändringar i omgivningen. Därför används Van Vagners funktion för reaktionstid för tallbarr, skalat mot den enda befintliga empiriska studien på gräs, vilken enbart genomfördes vid 26,7 °C, 20 % RH samt 0,5 m/s vindstyrka (Anderson, 1990).

$$k[h^{-1}] = 0.897 \cdot e^{0.0365 \cdot T_g} \cdot \left[0.424 \cdot (1 - R^{1.7}) + 0.1317 \cdot \sqrt{W} \cdot (1 - R^8)\right] \quad \text{(Ekvation 12)}$$

där *R* är en term för relativa luftfuktigheten och beskrivs av R = RH/100 för uttorkning och R = 1-RH/100 för uppfuktning[3]. Notera att enheten för *k* är inverterad tid (i timmar -1). Denna funktion ger en karakteristisk upptorkningstid $(1/k)$ för gräs på 1,5 h vid T_g=7 °C, W = 2 m/s, 20 % RH. Motsvarade tid för finbränsle i skog (FFMC) skulle vara 11 h.

Uppfuktning via regn beräknas enligt antagandet att allt regn absorberas upp till gräsets mättnadskvot på 400 % och att gräsets massa per ytenhet är 300 g/m^2. Givet dessa förutsättningar kommer helt torrt gräs att bli mättat vid ett regn om 1.2 mm förutsatt att ingen upptorkning sker under tiden.

Beräkningen av fuktkvoten *mc(t)* vid tiden *t* kan dessutom översättas till ett kodvärde, motsvarande FFMC. Detta benämns Grass Fuel Moisture Code (GFMC). Eftersom det kanadensiska systemet är låst till en maximal fuktkvot på 250 % medan empiriska observationer i svensk miljö visar att gräset kan hålla upp till 400 % vatten (Granström et al., 2000) väljer vi att alla kodvärden för fuktkvoter över 250 % motsvarar GFMC = 0. Notera att 400 % mättnadskvot även identifieras för övre finbränsle i svensk skog (Sjöström et al., 2019).

$$GFMC = \begin{matrix} 59.5 \cdot \dfrac{250 - mc}{147.28 + mc}, (mc < 250) \\ 0, (\text{annars}) \end{matrix} \quad \text{(Ekvation 13)}$$

3. Skiljer sig från Wotton (2009) på grund av olika enheter för vindhastigheten (m/s i denna studie och km/h hos Wotton).

4.2 Spridningshastighetens beroende av vindhastighet och fuktkvot

Med fuktkvoten beräknad kan spridningshastigheten beräknas med antaganden om effekten av vindhastighet och andel dött material i bränslet. För att beräkna en spridningshastighet använder vi den australiensiska modellen för brandbeteende i gräslandskap. Densamma har implementerats i motsvarande kanadensiska modell, FBP (Forestry Canada, 1992). Bakgrunden till spridningsmodellen är studierna av Cheney et al. (1993 & 1998) som använder ett stort antal experimentella bränder samt olyckor med stora bränder i Australien och Kanada. Varken bränslemängden, grässort eller grovlek verkar vara avgörande eller bestämbara parametrar för brandspridningshastighet (Cheney et al., 1993). De parametrar som istället används är fuktkvot samt vindhastighet, andelen dött bränsle och bredden på flamfronten. För modellen av gräsbrandsfara används ett modellsystem på 3 m flambredd för att kunna jämföra med tillgänglig empiriska data.

Spridningshastigheten för en fullt utvecklad gräsbrand i naturlig gräsmark, alltså obetad och oklippt mark benämns R_n. Full utveckling innebär att flamfronten vuxit sig så bred att bredden i sig inte längre inverkar på spridningshastigheten. R_n ges enligt Cheney et al. (1998) av tre faktorer:

$$R_n[\mathrm{m/s}] = [0.3889 + 0.6862 \cdot (W - 1.3889)^{0.844}]\Phi_{mc}\Phi_C \qquad \text{(Ekvation 14)}$$

Där W i den första faktorn är vindhastigheten i m/s. För låga vindhastigheter (under 1,4 m/s) blir den första faktorn (inom hakparentesen) ersatt av [0,015+0,269·W]. Den andra faktorn beskriver fuktkvotens inverkan på spridningshastigheten genom:

$$\begin{aligned} \Phi_{mc} &= \exp(-0.108 \cdot mc), && (mc \leq 12\ \%) \\ \Phi_{mc} &= 0.684 - 0.0342 \cdot mc, && (mc > 12\ \% \ \&\ W < 3\ \mathrm{m/s}) \\ \Phi_{mc} &= 0.547 - 0.0228 \cdot mc, && (mc > 12\ \% \ \&\ W > 3\ \mathrm{m/s}) \end{aligned} \qquad \text{(Ekvation 15)}$$

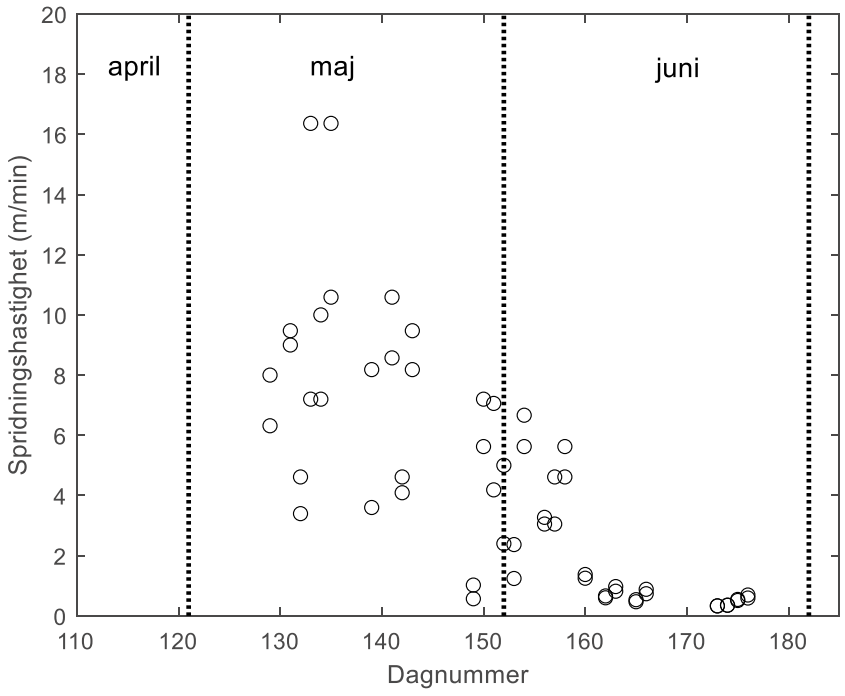
Se bakgrundsdata till ovanstående ekvationer i Cheney et al. (1993 & 1998).

4.3 Spridningshastighetens beroende av inväxten av grönt gräs

När fuktkvoten väl är beräknad kan spridningshastigheten beräknas med hjälp av vindhastigheten och en tredje faktor, , som beskriver hur andelen dött material i bränslebädden (engelska: curing – C) påverkar spridningen (Cheney, 1998). Redan vid C = 85 %[4] dött material, minskar spridningshastigheten i Cheneys modell med 44 %, jämfört bränsle som saknar levande växtdelar (C = 100 %). Vid en andel på under 50 % anses inte gräset kunna brinna alls.

Anderson et al. (2011) studerade inverkan av C i Australien men resultaten därifrån är inte direkt applicerbara för svenska förhållandena eftersom förändringen av C i australiska gräsmarker beror på att gräset vissnar (till följd av torka) under sensommaren och inte till följd av att, som är fallet hos oss, färskt gräs växer till under våren. Dessutom visar fältförsöken som ligger till grund för denna studie att spridningen hindras redan vid mycket lägre andelar färskt levande material (Granström, 2000). I den nya modellen för gräsbrandsfara används istället spridningshastigheterna från testbränningarna i Umeå, kopplade till säsongens längd genom temperatursumman, enligt "Ekvation 5".

Figur 6. Spridningshastigheten i testbränningarna under våren 1998 (Granström et al., 2001).



Testbränningarna 1998 satte igång direkt efter snösmältningen och gjordes på ytor om 3 x 3 m. Antändningen skedde mycket snabbt med gasolbrännare efter ena sidan så att elden fick sprida sig med vinden över ytan. Spridningshastigheten varierade mellan 16,4 och 0,3 m/min under testperioden ("Figur 6"). Detta beror naturligtvis inte enbart på inväxten av grönt gräs utan också på att fuktkvoten och

4. Denna kvot beräknas på andelen av all ursprunglig bladmassa som vissnat.

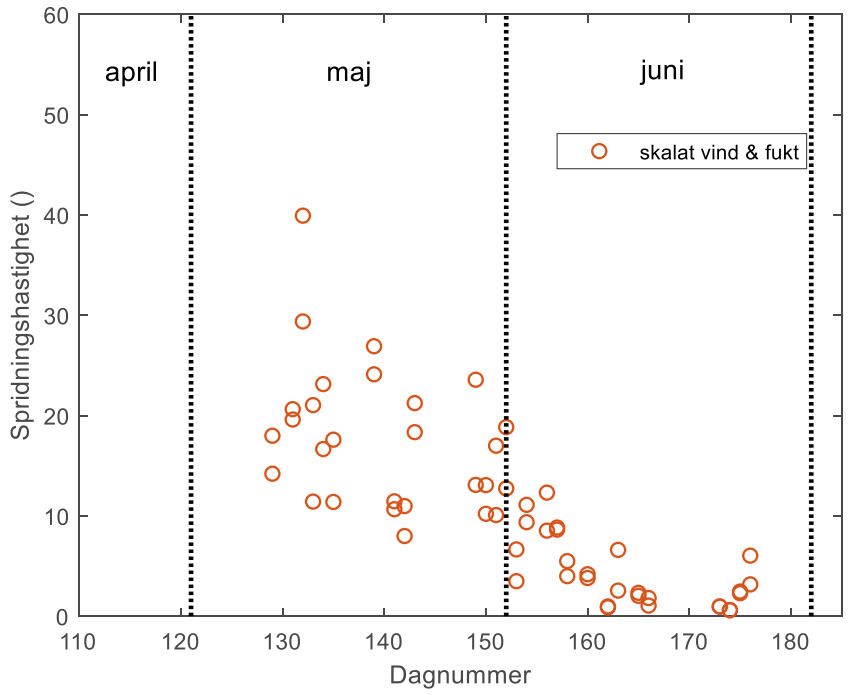
vindhastigheten varierar mellan försöken, men genom en omskalning kan inverkan av gräsinväxten på spridningshastigheten isoleras.
Vid varje testbränning togs sammantaget sex prover av gräsförna. Två upprepningar vardera av:

1. Lucker stående förna intill små videbuskar och på toppen av grästuvor.
2. Övre 1–2 cm av den av snön nedpressade bränslebädden av gräs och örtförna.
3. Resterande material ner till markytan.

De tre komponenterna utgjorde överlag lika stora delar av torrmassa. Det visade sig att medan bottenförnan var betydligt fuktigare än den övre så sammanföll fuktkvoten i lucker förna och ytförna väl med varandra. Brandspridning skedde om det övre lagret och den luckra förnan var under 26 % trots att bottenförnan kunde vara över 100 %. Som värde på bränslets fuktkvot tar vi här medelvärdet av lucker och ytförna. Vid varje bränning togs också vindhastigheten lokalt på 2 m höjd som här används med en skalning på 1/0,7 vilket är standardskalning mellan vind mätt vid 2 och 10 meters höjd för öppen mark.

Med hjälp av det tidigare beskrivna beroendet av vindhastigheten ("Ekvation 14") och fuktkvoten ("Ekvation 15") kan spridningshastigheten i fältförsöken skalas om till att enbart reflektera effekten av årsgräsets inväxning ("Figur 7"). Spridningshastigheten för dessa experimentbränder med 3 meter bred antändningslinje motsvarar inte R_n för en fullt utvecklad brand och skalningsregler finns även för dessa. Det är dock inte nödvändigt eftersom vi här bara analyserar beroendet av det gröna gräsets inväxt och eftersom dess effekt skalar på samma sätt oberoende av flamfrontens bredd. Därmed saknar de skalade hastigheterna enhet.

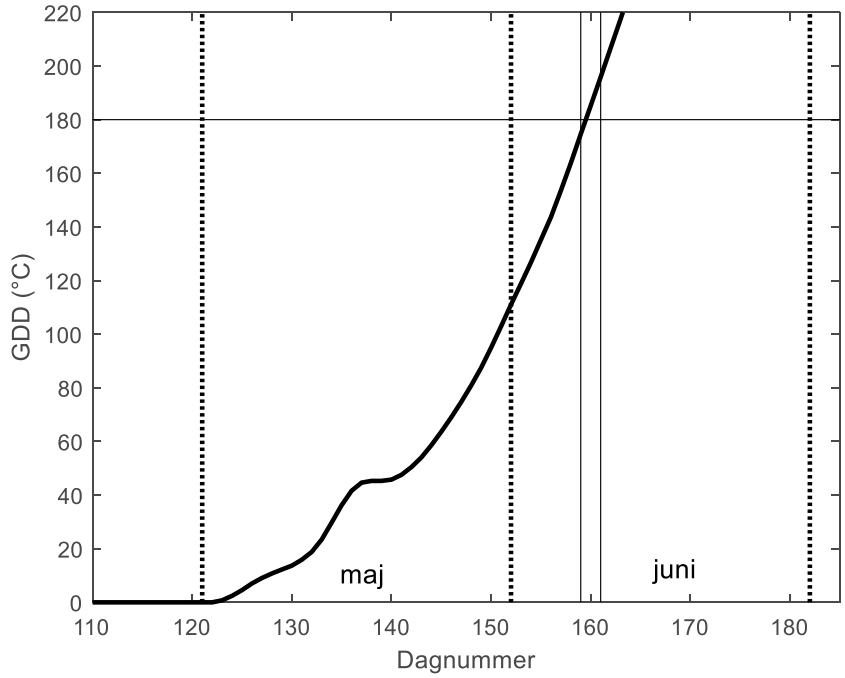
Figur 7. Spridningshastigheten skalad för fuktkvot och vindhastighet vid i testbränningarna under våren 1998 (Granström et al., 2000).



Den skalade spridningshastigheten plottas sedan mot temperatursumman, GDD, beräknad enligt "Ekvation 5" på motsvarande plats från MESAN-data ("Figur 8").

Om vi sätter GDD = 180 som gräns för säsongens slut hamnar vi för år 1998 på 9:e juni, vilket var den dag varefter inga bränder spred sig snabbare än 1 m/min. Det ska tilläggas att även om experimentbränderna visade viss spridningshastighet fram till detta datum var den sista insats som räddningstjänsten ryckte ut på i Västerbottens kustland detta år den 16:e maj.

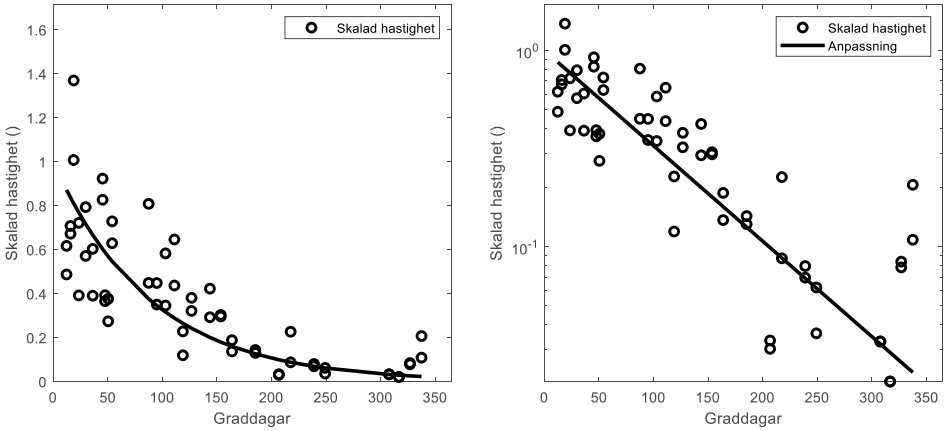
Figur 8. Temperatursumman – GDD beräknad under våren 1998 för testbränningarna norr om Umeå. Streckade linjer indikerar månadsskifte. Horisontella vertikala linjer indikerar 8:e och 10:e juni, horisontell linje GDD =180 °C



Spridningshastighetens, och därmed den hämmande effekten av inväxande grönt gräs – Φ_C, beroende av temperatursumman anpassas väl (R^2 = 0,82) med en exponentiellt avtagande funktion ("Figur 9").

$$\Phi_C(\mathrm{GDD}) = e^{-0.0112 \cdot \mathrm{GDD}} \qquad \text{(Ekvation 16)}$$

Figur 9. Skalad spridningshastighet som funktion av GDD. Logaritmisk skala (höger) visar att beroendet går att beskriva som en exponentiellt avtagande funktion (R^2 = 0,82). Vänster panel visar samma data på linjär skala.



Vid gräsbrandssäsongens avslut (GDD = 180 °C), så hade inväxningen av gräs (allt annat lika) sänkt förväntad spridningshastighet till endast 13 % av den vid säsongens start då det inte fanns något grönt gräs.

Applikation på våren 2019 och 2020

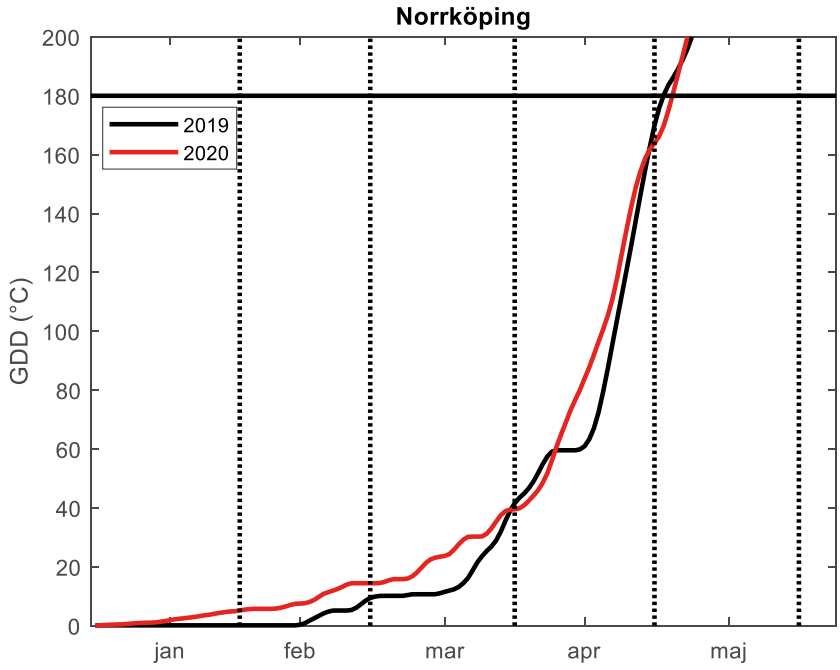
5. Applikation på våren 2019 och 2020

5.1 Exemplet Norrköping

Vi applicerar modellen som den beskrivs ovan på en position i Svealand för de två åren 2019 och 2020. För att få tillgång till fullständig meteorologisk data användes positionen för väderstationen på SMHI i Norrköping. Data för dygnsmedelvärdet av lufttemperaturen samt snödjup och markytans tillstånd finns tillgänglig för alla relevanta dagar. Därtill laddades data över timsvärden på lufttemperatur, vindhastighet, nederbörd samt solstrålning (globalstrålning) (STRÅNG, 2020). Se data i "Bilaga 3: Applikation 2019–2020", ("Figur 30" och "Figur 31").

Temperatursumman beräknas med "Ekvation 5". Vi ser att våren kom igång snabbare 2020 än 2019 på grund av den mycket milda vintern 19/20 men att det varma slutet av mars 2019 resulterade i att temperatursumman kom ikapp kring månadsskiftet mars/april ("Figur 10"). Säsongen tog slut 3:e maj 2019 och 5:e maj 2020 om vi använder kriteriet av GDD = 180 °C.

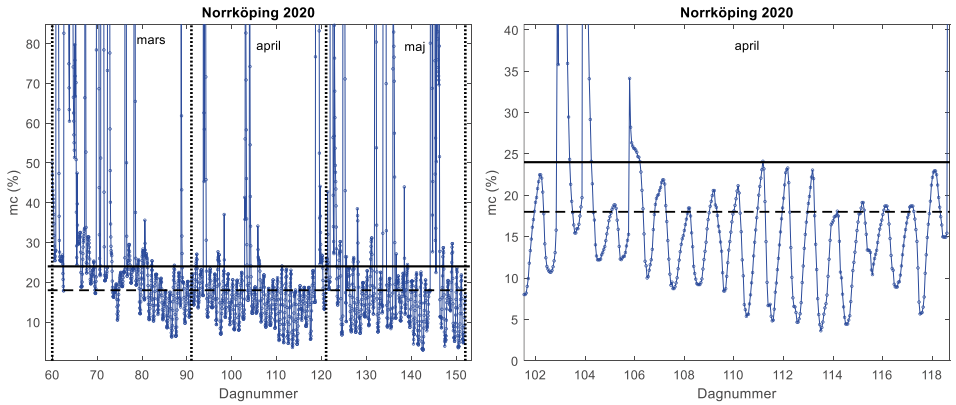
Figur 10. Temperatursumman (GDD) för att beräkna årsgräsets inväxt för Norrköping 2019–2020.



Efter att GDD är beräknad kan vi beräkna fuktkvoten för varje timme enligt kapitel 4.1. Därefter beräknas spridningshastigheten för gräsbrand genom att ta i beaktande inverkan av vindhastigheten, fuktkvoten samt det gröna gräsets inväxt (vilket bestäms av Φ_C (GDD)).

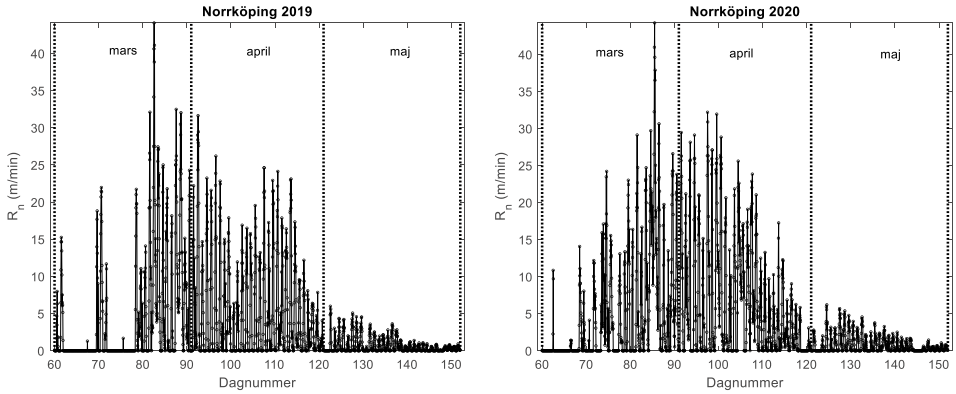
Fuktkvoten varierar kraftigt och tydliga spikar kan noteras vid regn ("Figur 11"). Vi ser också att fuktkvoten sjunker mycket snabbt efter regnet som inträffar under natten på dag 104 (4:e april), och att det är brännbara nivåer redan vid lunchtid. Nivån är dock inte sådan att någon stor spridningsrisk föreligger beroende på att den fuktiga luften hänger kvar lite efter regnet.

Figur 11. Fuktkvoten i gräset under hela 2020 års säsong (vänster) och för 17 dagar i april (höger).



Heldragen svart linje representerar fuktkvotsgränsen för brännbart gräs enligt modellen och den streckade linjen på 18 % fuktkvot är en gräns över vilken en modellerad spridningshastighet inte kan överstiga 12 m/min utan en vindhastighet över 5 m/s i medelvind, se "Bilaga 4: Brandbeteende" ("Figur 36").

Figur 12. Spridningshastigheten beräknad per timme från 1:a mars till 1:a juni 2019 och 2020.

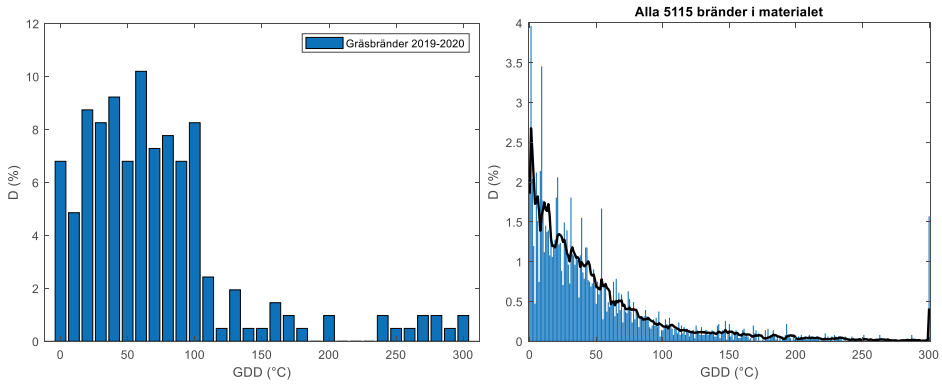


Under en period på över 30 dagar för respektive år kommer spridningshastigheten upp över 12 m/min under de flesta dagar. Vid månadsskiftet april/maj minskar den potentiella spridningshastigheten under de båda åren, något tidigare för 2020. Mer detaljerade kurvor på fuktkvot och motsvarande spridningshastighet finns i "Bilaga 3: Applikation 2019–2020" ("Figur 32").

5.2 Fördelning av spridningshastigheten

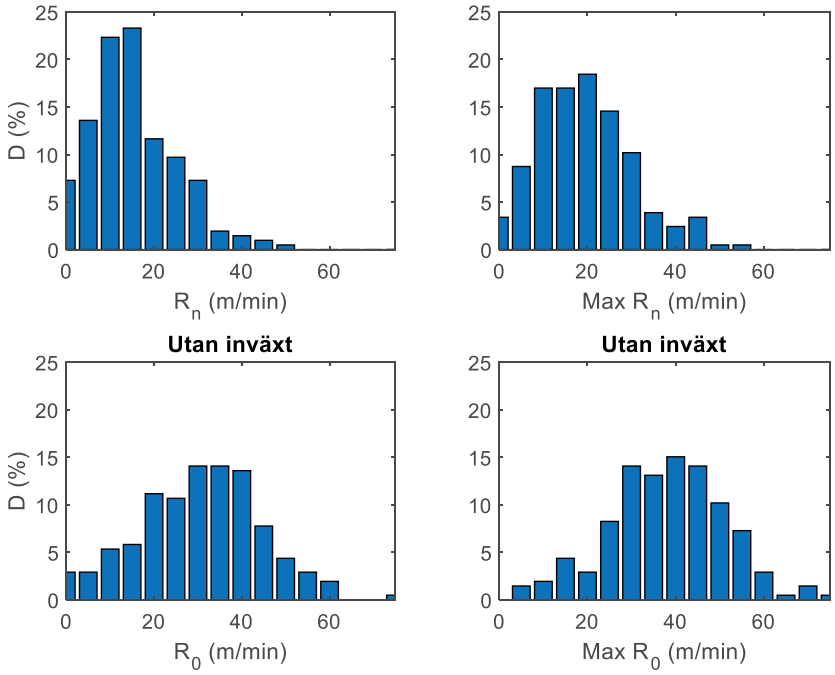
Utöver analysen för Norrköping ovan så beräknas modellen för spridningshastighet med omanalyserad väderdata för hela SMHI:s grid-system under 1:a januari till 14 juni för 2019 och 2020. Båda dessa år förekom relativt få bränder men sammantaget återfinns 206 bränder i de tio områdena för dessa år. Bränderna kan nu korreleras med beräknade spridningshastigheter, fuktkvot och temperatursumma.

Figur 13. Vänstra panelen visar fördelningen av GDD för 206 gräsbränder som inträffade 2019–2020 i de tio undersökta regionerna. Högra panelen visar motsvarande sammanställning för alla gräsbränder 1996–2020 beräknade på homogeniserade GDD, se kapitel 3.



Fördelningen av temperatursumman vid dagen för bränderna visar att de allra flesta bränder sker vid GDD ≤ 100 °C. Efter 200 °C återfinns ett antal bränder som får anses vara outliers ("Figur 13"). Dessa utgör ca 5 % av bränderna och mindre än 2 % av arean, vid granskning rör det sig i hälften av fallen om banvallar (där mycket skugga kan fördröja inväxten och där en hel del övrig växtlighet, exempelvis ljung förekommer) eller sluttningar. Motsvarande fördelning för alla 5 115 bränder från 1996–2020 är inte lika tillförlitlig eftersom GDD här antagits vara homogen över respektive område och dessa är relativt stora. Å andra sidan är statistiken från alla år avsevärt mycket bättre vad gäller antalet bränder och även där sker de flesta (85 %) för GDD < 100 °C och enbart 4 % för GDD > 200 °C.

Figur 14. Fördelning av modellerad spridningshastighet för 206 bränder 2019–2020: (Vänster, övre) värdet vid larmsamtalet, (Höger, övre) Larmdagens högsta värde, (Vänster, nedre) värdet vid larmsamtalet av R0, (utan beaktning av årsgräsets inväxt), (Höger, nedre) Larmdagens högsta R0-värdet. Motsvarande data i kumulativ fördelning finns i Bilaga ("Figur 33").

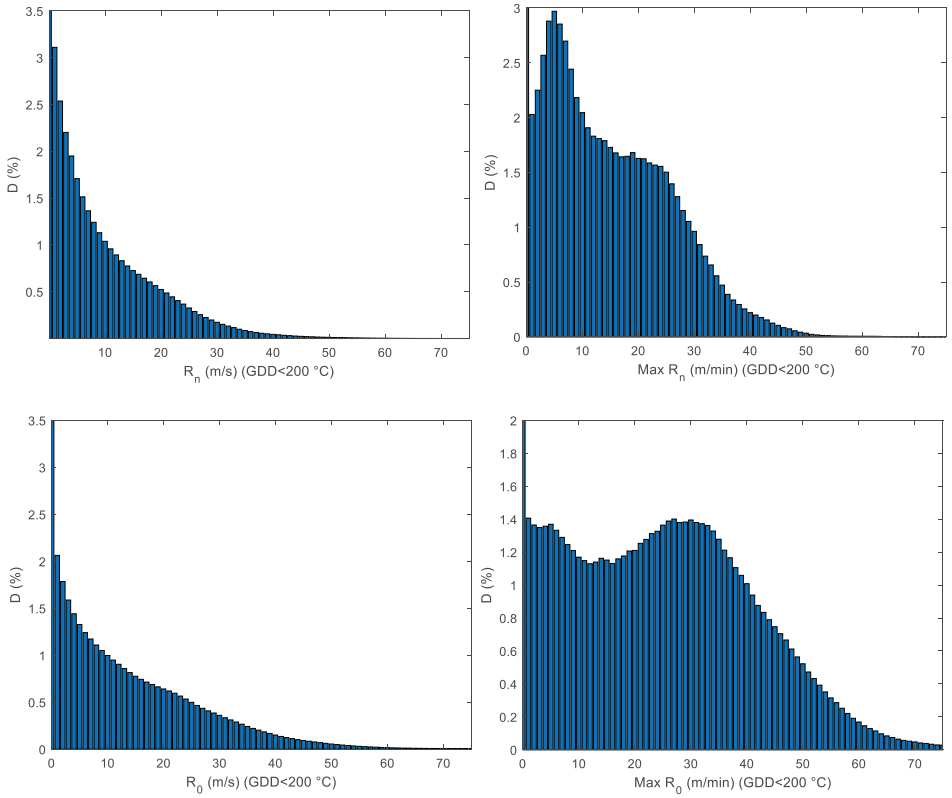


Fördelningen av modellens spridningshastighet beräknad för varje brand visar att det bara är en liten skillnad mellan spridningshastigheten vid tiden för larmet och det maximala värdet över dagen, vilket al.ltså säger att de flesta gräsbränder sker under dagens värsta riskperiod. Endast 6 % av bränderna skedde vid R_n < 2 m/min, 37 % mellan 2–12 m/min, och 57 % vid 12 m/min ("Figur 14"). Om vi istället analyserar maximala värdet under dagen förskjuts dessa siffror mot marginellt högre värden. Om inväxten av årsgräs ignoreras blir spridningshastigheten betydligt högre, med ett medianvärde omkring 30 m/min (38 m/min om larmdagens maximala värde avses) ("Figur 14").

Spridningshastigheten beräknad från MESAN- och STRÅNG-data 2019–2020 ger också en bild över potentiell spridningshastighet vid alla platser i landet, även då inga bränder inträffade. Spridningshastigheten utan att beakta inväxten av årsgräs benämns R_0 och definieras enligt "Ekvation 16" av $R_n = R_0 \times e^{(-0{,}0112 \cdot GDD)}$. Fördelningen av dygnets maximala R_n och R_0 för varje gridpunkt från 1:a januari till att säsongen är helt avslutad (gränsen satt till GDD > 200) är störst för $R_n = 0$ (37 % av observationerna). Detta utgör dagar med snö eller regn, alternativt efter regn och mycket hög luftfuktighet. Ett andra maximum i R_n-fördelningen finns vid R_n = 5 m/min ("Figur 15").

Genom att jämföra fördelningarna av spridningshastighet då bränder sker ("Figur 14") med fördelningen av potentiell spridningshastighet (alltså även när inga bränder sker, "Figur 15") kan vädrets effekt på brandutfall analyseras. Brandutfallet delat med förekomsten av dagar för olika spridningshastigheter visar en tydligt stigande trend från $R_n = 0$ till 15 m/min, följt av en platå fram till R_n > 40 m/min, ("Bilaga 3: Applikation 2019–2020", "Figur 35"). Detta kan indikera att folk då uppfattar den ökande faran och iakttar större försiktighet med eld.

Figur 15. Fördelning av potentiella spridningshastigheter (R_n och R_0) (Alla värden mellan klockan 08:00 och 22:00, **även om ingen brand inträffat**) för alla gridpunkter och dagar under säsongen (GDD < 200 °C) för 2019 och 2020.



Utformning av riskmodell

6. Utformning av riskmodell

Gräsbrändfaran bedöms bäst kunna indikeras av spridningshastigheten för en potentiell brand. Gräsbränder är genomgående antropogena och ofta finns folk på plats redan från start men det är hög spridningshastighet som gör att bränder ”tappas”, alltså inte går att begränsa genom att stampa ut dem eller med hjälp av med handredskap eller tillgängligt vatten. När en brand sprids snabbt ökar också intensiteten och flamlängden vilket allt sammantaget gör att risken för personskador eller antändningar av byggnader ökar markant. En pågående analys gör gällande att flera människor omkommit och över 311 byggnader, varav 32 bostadshus, har antänts mellan åren 1998 och 2018 i gräsbränder (Vermina Plathner & Sjöström, opublicerad data). Flamlängder och strålningsnivåer från gräsbränder finns beskrivna i "Bilaga 4: Brandbeteende".

R_n ger oss spridningshastigheten för en brand som hunnit utveckla en bred flamfront på plan mark. Det är alltså en potentiell hastighet eftersom de flesta gräsbränder sprider sig från punktantändningar och ofta i kuperad terräng, vilket i en reell situation inverkar på spridningshastigheten. Det gäller ett modellsystem med 300 g/m^2 dött gräs, oklippt och obetat (typiskt för obrukad jordbruksmark), utan skuggning av träd. Värdet kan skalas ned för smalare brandfronter, det vill säga under eldens accelerationsfas, men skalningsregler från stora bränder (Cheney & Gould, 1995) stämmer inte helt med observationer på meter-skala. Jämförelser mellan testbränningarna beskrivna i kapitel 4.3 visar att spridningen vid de 3 meter breda bränderna är ungefär samma som R_n för stilla förhållanden, ca hälften av R_n vid vindar på 3–5 m/s och något lägre för vindar kring 7 m/s. Alltså kan vi betrakta R_n som ett väl fungerande kvantitativt mått på spridningshastighet i brandens huvud för en bred (>> 3 m) gräsbrand på plan mark.

Modellen kan beräknas av SMHI med hjälp av prognosvärden för nederbörd, lufttemperatur, vindhastighet och global solstrålning. Vad gäller snötäcket har den tidigare gräsbrandsmodellen (HBV-gräs) justerat snötäcket med information från snödjupskartan. HBV-modellen som helhet är dock under avveckling och kommer att ersättas av S-hype. Två problem föreligger emellertid:

1. S-hype har visat problem med snösmältningsfunktionen i och med att snön smälter fortare i modellen än vad observationer vid mätstationerna visar
2. S-hype kan i nuläget inte anpassas efter data från snödjupskartan. Ett projekt för att ta in snödjupsobservationer i S-hype pågår men kommer antagligen att dröja till efter 2021 års säsong. Innan ett väl fungerande prognosverktyg är klart föreslår vi att istället ta data direkt från snödjupskartan, som numera kan omvandlas till shape-filer för GIS-program. Då kan man använda gränsen för 3 cm snödjup för att bestämma snötäcket.

Utdata från modellen är säsongens status (snö, inväxten av årsgräs (genom GDD) samt avslutad säsong) samt värdet på spridningshastigheten i modellsystemet

(med och utan beaktande av gräsinväxt). Den kontinuerliga och kvantitativa riskparametern R_n kan användas direkt i informationssystemet ”Brandrisk skog och mark” vilket kommer att hantera gräs- och skogsbrandsrisk med en tidsupplösning på en timme från säsongen 2021. För riskkommunikation till allmänheten via exempelvis radio eller appen "Brandrisk Ute" bör ett antal informationsnivåer utformas, likt de sex intervallsteg av den kontinuerliga FWI-skalan (1–5E) som kommunicerar skogsbrandrisken.

6.1 Riskmodell att operationalisera 2021

Eftersom det inte är praktiskt möjligt att förändra hela brandrisksystemet innan brandsäsongen 2021 så föreslås att den dagliga gräsbrandsrisken kommuniceras med följande 8 diskreta nivåsteg som redan är förberedda att operationaliseras 2021:

Tabell 4. Uppdelning av risk i diskreta nivåer.

Risknivå	Definition
Snötäckt mark	> 3 cm enligt snödjupskartan
Liten risk – pågående säsong	$R_n \leq 2$ och GDD < 140 °C
Måttlig risk – pågående säsong	$2 < R_n \leq 12$ och GDD < 140 °C
Stor risk – pågående säsong	$R_n > 12$ eller ($R_n \leq 12, R_0 > 50$), GDD < 140 °C
Liten risk – avtagande säsong	$R_n \leq 2$ och GDD ≥ 140 °C
Måttlig risk – avtagande säsong	$2 < R_n \leq 12$ och GDD ≥ 140 °C
Stor risk – avtagande säsong	$R_n > 12$ eller ($R_n \leq 12, R_0 > 50$), GDD ≥ 140 °C
Avslutad säsong	GDD ≥ 200 °C

Snödjupskartan bygger på snödjupsobservationer och snötäcket är svårdefinierat. Snödjupet kan variera en hel del inom några få kilometer och då det är glest mellan stationerna så kommer inte alltid snödjupskartan stämma överens med verkligheten. För att en station ska rapportera ett snödjup krävs att mer än hälften av marken är snötäckt, men omkringliggande områden kan mycket väl vara snöfria. Om mätplatsen istället är mindre än till hälften snötäckt så ska inget snödjup rapporteras.

I snödjupskartan definieras den första nivån, mindre än 3 cm, som områden där enstaka snöfläckar här och där till ett mer eller mindre heltäckande snötäcke men vars snödjup bedöms vara mindre än 3 cm. Då gräsbränder även kan förekomma där det är fläckvis snö så har den nivån valts till den nya gräsbrandsmodellen.

Liten risk gäller vid $R_n \leq 2$ m/min. Denna nivå innebär oftast att gräset är för blött för antändning vilket i sin tur innebär regn under dagen eller riktigt fuktig luft. Även vid ganska fuktigt men brännbart gräs (exempelvis 18 %) krävs bara 1 m/s i vindstyrka vid säsongens början och 3 m/s vid säsongens slut för att överskrida denna nivå. Gräsbränder under dessa förhållanden kan kontrolleras med lätthet och flammorna går att närma sig med handverktyg.

Måttlig risk gäller vid $2 < R_n \leq 12$ m/min. En gräsbrand kan då vanligen kontrolleras enkelt med vattenkanna eller handverktyg.

Stor risk gäller vid $R_n > 12$ m/min. Det är då svårt att kontrollera en stor gräsbrand även med bra utrustning. Lågorna är över en meter långa och risken för brännskador

på exponerad hud av strålningen är väsentlig även på flera meters avstånd från flammorna. Stor risk gäller även för $R_n \leq 12$ m/min om $R_0 > 50$ m/min. Denna situation kan inträffa sent på säsongen då den hämmande effekten av inväxande gräs är stor men då luften är torr och vinden riktigt frisk.

Eftersom den hämmande effekten av inväxande gräs beaktas i den nya modellen och det är tydligt i statistikunderlaget hur sällan bränder inträffar under den senare delen av säsongen, är gränsdragningen till avtagande säsong inte lika kritisk som den var enligt den gamla riskmodellen. Där gick det ofta från "Stor risk under avtagande säsong" till "Avslutad säsong" från en dag till en annan. Under sjösättningen av modellen finns dock vissa ramar i hur mycket systemet kan förändras och vi placerar gränsen för avtagande vid GDD > 140 °C. Detta sammanfaller med att spridningshastigheten minskar med 80 % på grund av årsgräsets inväxt.

Även om säsongens slut enligt utredningen i kapitel 4 ligger ungefär vid GDD = 180 °C sätts gränsen något högre (200 °C). Detta görs för att inväxningen av gräs är inbakad i modellen och att gränsen för säsongsslut därmed inte är så kritisk med avseende på risken att över-varna då säsongen egentligen är slut.

6.2 Framtida utveckling av riskmodellen

Som berörts ovan är inte längre behovet av avtagande säsong lika trängande, eftersom den nya modellen implicit redan tar hand om inväxten av årsgräs. En utveckling av modellen vore därför att helt sluta att kommunicera avtagande eller pågående säsong och istället bara använda sig av spridningsmåttet R_n. Det finns ytterst få fall där bränder inträffar vid låga R_n och i dessa fall är värdet för R_0 (Spridningshastigheten om inte inväxande gräs hämmar) stort ("Bilaga 3: Applikation 2019–2020", "Figur 34"). Alltså, vid väldigt torrt och blåsigt väder finns det marker där inväxten av gräs inte har spelat så stor roll och där också brandspridning kan ske. Därför väljer vi att vid riktigt höga R_0-värden (> 50) höja risknivån till "Stor" om den ligger på "Måttlig" ("Liten risk" kan aldrig uppnås om $R_0 > 50$). Detta är något som enbart inträffar om GDD > 130 °C eftersom värdet för R_n annars ändå markerar "Stor" risknivå.

Fördelningen av spridningshastigheten i våra regioner ("Figur 15") indikerar att det under väldigt många dagar på våren är $R_n > 12$ och alltså kommer att råda Stor risk under relativt långa perioder. Vi föreslår därför att definiera en gräns för en skarpare varning än "Stor" att tillämpa då det är viktigt att kommunicera extrem gräsbrandfara. Denna nivå kan kallas "Mycket stor" och gränsen kan förslagsvis sättas vid 22 m/min (då blir risknivåerna "Måttlig" och "Stor" ekvidistanta med avseende på spridningshastighet).

Vi föreslår därför följande risknivåer, se "Tabell 5".

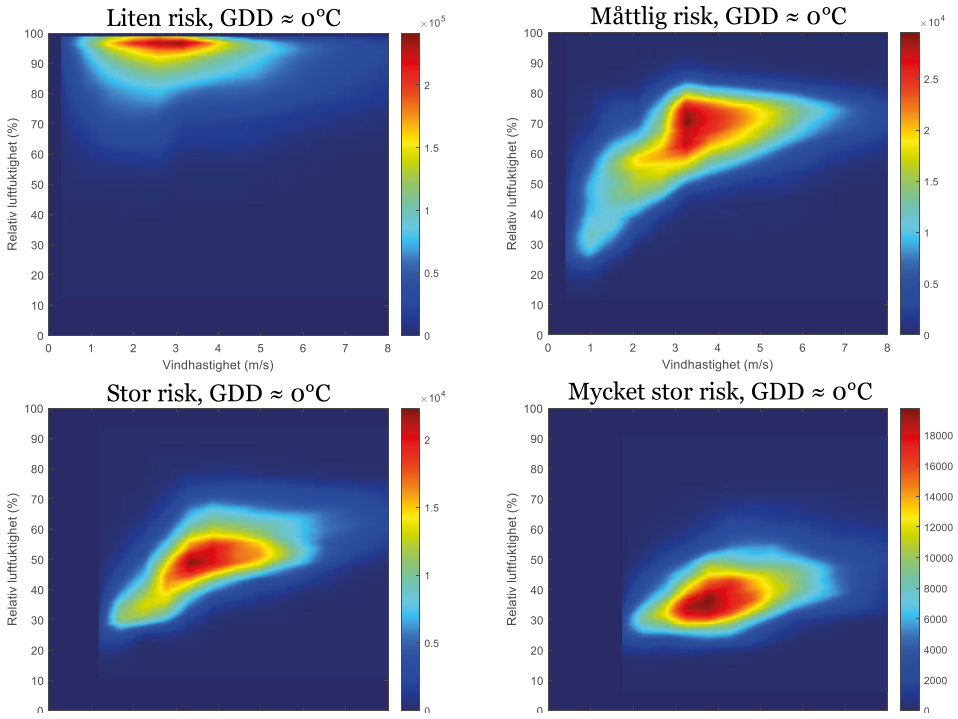
Tabell 5. Föreslagna risknivåer för 2022 och framåt.

Risknivå	Definition
Snötäckt mark	> 3 cm enligt snödjupskartan
Liten risk	$R_n \leq 2$
Måttlig risk	$2 < R_n \leq 12$
Stor risk	$R_n > 12$ eller ($R_n \leq 12, R_0 > 50$)
Mycket stor risk	$R_n > 22$
Avslutad säsong	GDD ≥ 200 °C

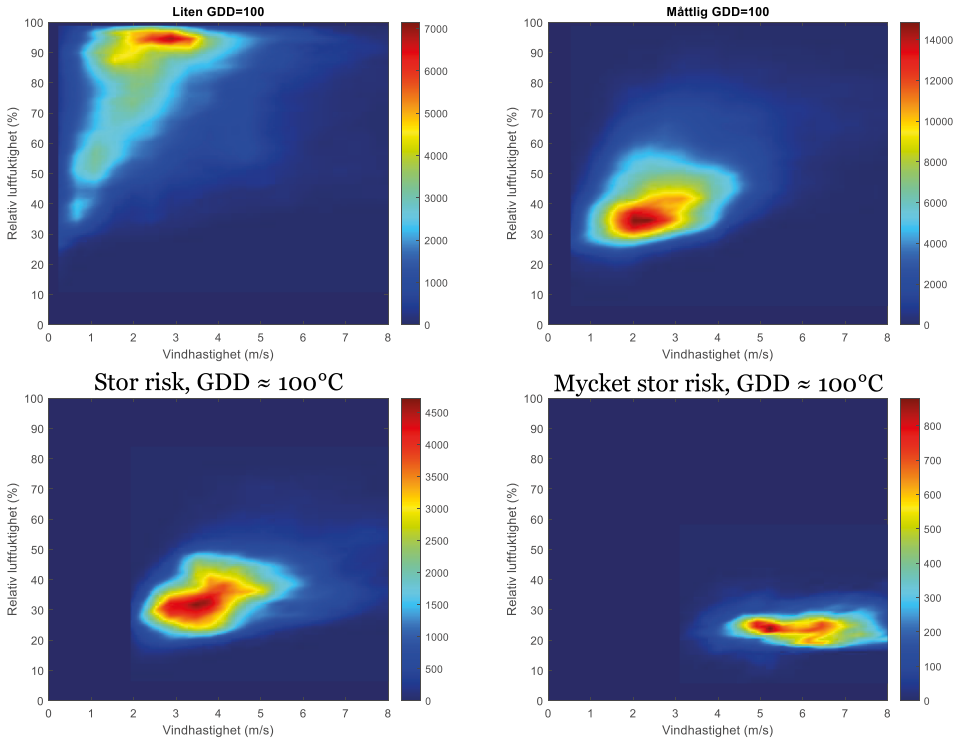
6.3 Karakteristiskt väder vid risknivåerna

De två viktigaste parametrarna för spridningshastigheten är den relativa luftfuktigheten och vindhastigheten. Naturligtvis inverkar temperatur, solstrålning och det senaste dygnets väder, men en bild av typiskt väder för de olika risknivåerna framträder om enbart dessa två parametrar studeras. Data beräknad på MESAN-data från alla landets gridpunkter under säsongerna 2019 och 2020 analyserades för tidsspannet klockan 11:00–16:00. Alla observationer som uppfyller $0 < GDD < 200$ är med i analysen (som innehåller över 48 miljoner observationer). Värdena för luftfuktighet och vindhastighet plottas för var och en av de fyra risknivåerna under tidig säsong (GDD < 10 °C, "Figur 16") och under sen säsong (GDD = 100 ± 10 °C, "Figur 17").

Figur 16. Karakteristiska värden av relativ luftfuktighet och vindhastighet klockan 11:00–16:00 under säsongens början (GDD < 10 °C) för Liten, Måttlig, Stor och Mycket stor risk under 2019–2020.



Figur 17. Karakteristiska värden av relativ luftfuktighet och vindhastighet klockan 11:00–16:00 under **sen säsong** (GDD = 100 ± 10 °C) för Liten, Måttlig, Stor och Mycket stor risk under 2019–2020.



Under den tidiga säsongen så var luften nästan alltid helt vattenmättad vid risknivån "Liten" medan "Måttlig" oftast inträffar vid 60–80 % luftfuktighet och vindhastighet på 3–4 m/s. Vid "Stor risknivå" låg luftfuktigheten ofta kring ca. 50 % och för "Mycket stor" nivå omkring 35 % ("Figur 16"). Under säsongens senare del var vinden vid "Stor risknivå" märkbart högre (oftast 3–4 m/s) än för "Måttlig" (strax över 2 m/s) och luftfuktigheten oftast under 40 %. "Mycket stor" nivå inträffade för sen säsong uteslutande vid en luftfuktighet under 30 % RH och vindhastighet över ca 5 m/s ("Figur 17").

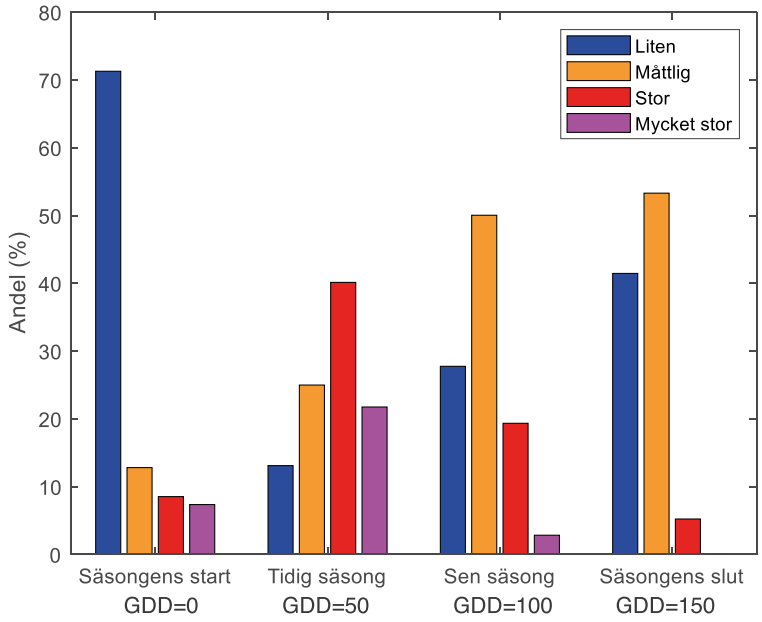
Diskussion

7. Diskussion

Innan inväxten av grönt gräs tagit fart så krävs som tidigare diskuterats inte speciellt märkvärdigt väder för att gräsmarker ska brinna med över en meter höga lågor och sprida sig så pass snabbt att det är svårt för lekmän att kontrollera elden. I insatsrapporterna beskrivs ofta hur personer blir överrumplade av brandspridningen då vinden tilltar för en stund. Med de föreslagna risknivåerna kommer det ofta att vara *Stor* gräsbrandsrisk. Gränsen för vad som är stort och vad som är måttligt är dock subjektiv och en alltför lågt satt gräns innebär att de flesta våreftermiddagar efter snösmältning utan regn kommer att innebära *Stor* risk. Möjligtvis kan då varningen urholkas. Å andra sidan är gräsbrandsäsongen begränsad i tid så allmänheten hinner kanske inte bli avtrubbade av återkommande varningar. Under säsongen 2021 sätts gränsen vid 12 m/s och detta får sedan utvärderas efter säsongens avslutande.

Data från 2019–2020 visar att ca 62 % av alla observationer (klockan 11:00–16:00) 2019–2020 under tidig säsong klassades som "Stor" eller "Mycket stor risk" ("Figur 18"). Detta minskade markant mot säsongens slut. Naturligtvis är klassningen av brandspridningshastigheten i "Liten", "Stor" etc. viktig för att informera allmänheten men eftersom spridningshastigheten i sig är ett lättförståeligt mått så kan det också med fördel kommuniceras i brandrisksystemet.

Figur 18. Fördelning av risknivåer under säsongerna 2019–2020 (0 < GDD < 200, 11:00–16:00)



Inväxten av grönt gräs har en mycket tydlig effekt på R_n. Mekanismerna för årsgräsets påverkan på brandspridningshastigheten är inte helt klarlagda men knyts till det gröna gräsets stora vatteninnehåll; inväxten minskar inte den brännbara massan men även om inväxten bara utgör en bråkdel av fjolårsförnan hämmas spridningen. På vissa marker sker inte inväxten lika fort som i detta modellsystem, (norrsluttningar eller marker i övervägande skugga). Det noteras att bränder vid banvallar är vanligare under sensäsongen än andra gräsbränder. Detta kan bero på omliggande träds skuggning eller förekomst av annat bränsle, såsom ljung, vilket brinner under helt andra förutsättningar än gräs.

I kapitel 3 uppskattades GDD = 180 °C vara den gräns för temperatursumman som bäst beskrev säsongens avslut. Eftersom effekten av inväxande gräs ligger implicit i R_n valde vi ändå att sätta säsongens slut vid GDD = 200 °C då det inte gör något om säsongen förlängs något, så länge modellen beaktar den hämmande effekten av gräsinväxningen.

Referenser

8. Referenser

Anderson S.A.J, Anderson W.R., Hollis J.J. & Botha E.J. (1990) A simple method for field-based grassland curing assessment, *International Journal of Wildland Fire* 20, 804–814,

Andréasson J. & Gardelin M. (2002) *Utveckling av en modell för gräsbrandsvarning under våren*, Räddningsverket, Karlstad, 2002.

Baumgartner A., Enders G., Kirchner M. & Mayer H. (1982) Global climatology. In Plate E.J. (ed) *Engineering meteorology*. pp. 125–177. Elsevier Scientific Publishing, Amsterdam, The Netherlands.

Brandt M., Eklund A. & Westman Y. (1999) *Snö i Sverige, Snödjup och vatteninnehåll i snön*, SMHI – Fakta nr 2:1999, https://www.smhi.se/polopoly_fs/1.6338!/snofakta%5B1%5D.pdf.

Byram G.M., & Jemison G.M. (1943) Solar Radiation and Forest Fuel Moisture, *Journal of Agricultural Research 67*, 149–176.

Cheney N.P., Gould J.S. & Catchpole W.R. (1993) Influence of fuel, weather and fire shape variables on fire spread, *International Journal of Wildland Fire 3*, 31–44.

Cheney N.P. & Gould J.S. (1995) Fire growth to a quasi-steady rate of spread, *International Journal of Wildland Fire 5*, 237–247.

Cheney N.P., Gould J.S. & Catchpole W.R. (1998) Prediction of Fire Spread in Grasslands, *International Journal of Wildland Fire 8*, 1–13.

Cruz M.G., Sullivan A.L., Gould J.S., Hurley R.J. & Plucinski M.P. (2018) Got to burn to learn: the effect of fuel load on grassland fire behaviour and its management implications, *International Journal of Wildland Fire 27*, 727–741.

Forestry Canada (1992) *Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System*, Science and Sustainable Development Directorate, Information Report ST-X-3, Ottawa, 1992.

Granström A., Berglund L. & Hellberg E. (2000) *Gräsbrand. Uttorkning och brandspridning i relation till brandindex*, Räddningsverket P21–337/00, Karlstad, 2000.

Landström S. (1990) Influence of soil frost and air temperature in spring growth of Timothy in Northern Sweden, *Swedish Journal of Agrcultural Research 20*, 147–152.

Nilsson D. & Hansson P.-A. (2001) Influence of various machinery combinations, fuel proportions and storage on cost for co-handling of straw and red canary grass for district heating plants, *Biomass and Bioenergy 20*, 247–60.

Olsson M. (2014) Gräsbränder i Sverige 1998–2012 – *En kartläggning av variationer i tid och rum*, Examensarbete Masternivå, Karlstad Universitet.

Sjöström J., Vermina Plathner F. & Granström A. (2019) *Riskmodell för vegetationsbränder utanför normal brandsäsong*, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap, Karlstad, 2019.

Stocks B.J., Lawson B.D., Alexander M.E., Van Wagner C.E., McAlpine R.S., Lynham T.J., Dubé D.E. (1989) The Canadian Forest Fire Danger Rating System: an overview, *Forestry Chronicle 65*, 450–457.

STRÅNG data (2020), http://strang.smhi.se/extraction/index.php (hämtad 2020-12-10).

Van Wagner C.E. (1969) *Combined effect of sun and wind on surface temperature of litter*. Can. For. Serv., Chalk River, Ontario. Inf. Rep. PS-X-10.

Van Wagner C.E. (1972) *Equilibrium moisture contents of some fine forest fuels in eastern Canada*. Chalk River, Ontario. Inf. Rep. PS-X- 36.

Van Wagner C.E. (1977) *A Method of Computing Fine Fuel Moisture Content throughout the Diurnal Cycle*. Can. For. Serv., Chalk River, Ontario. Inf. Rep. PS-X-69. 15 pp.

Wotton M. (2009) A grass moisture model for the Canadian Forest Fire Danger Rating System, *8th Fire and Forest Meteorology Symposium*, Kalispell, October 2009.

Bilaga 1

Bilaga 1: Källor till väderdata

Väderstationer eller platser för Mesandata för underlaget till studien.

Tabell 6. Skåne.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Hörby A, Helsingborg A, Sturup.	Ej tillämpat.
Snödjup/markytans tillstånd.	Tånga, Brösarp, Vomb.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Svedala, Tomelilla Kristianstad, Bjuv.

Tabell 7. Bohuslän.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Dingle, Tjörn.	Ej tillämpat.
Snödjup och markytans tillstånd.	Orust, Uddevalla, Grebbestad.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Orust, Uddevalla, Hunnebostrand, Tjärnö.

Tabell 8. Göteborg.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Göteborg A.	Ej tillämpat.
Snödjup/markytans tillstånd.	Säve, Kållered D.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Östra Hisingen.

Tabell 9. Småländska höglandet

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Göteborg A.	Sävsjö.
Snödjup och markytans tillstånd.	Säve, Kållered D.	Ej tillämpat.

Tabell 10. Gotland.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Fåresund Ar A, Visby Flygplats, Hemse.	Ej tillämpat.
Snödjup och markytans tillstånd.	Vänge.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Visby, Hemse, Roma.

Tabell 11. Uppsala län.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Uppsala Flygplats, Risinge, Kerstinbo.	Ej tillämpat.
Snödjup och markytans tillstånd.	Uppsala, Högsbo, Vattholma D.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Uppsala, Kerstinbo, Enköping, Östhammar.

Tabell 12. Örebro län.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Kilsbergen-Suttarboda A, Örebro Flygplats.	Ej tillämpat.
Snödjup och markytans tillstånd.	Fjugesta, Ön, Lindesberg D.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Kumla, Lindesberg, Askersund, Lekeberg.

Tabell 13. Ljusdal.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Järvsö.	Ljusdal.
Snödjup/markytans tillstånd.	Föne D.	Ej tillämpat.

Tabell 14. Östersund.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Rösta, Norderön, Frösön.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Frösön.

Tabell 15. Västebottens kustkommuner.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Dygnets medeltemperatur.	Umeå Flygplats, Vindeln, Skellefteå Flygplats.	Ej tillämpat.
Snödjup och markytans tillstånd.	Brände, Kusmark, Torrböle, Tavelsjö.	Ej tillämpat.
RH, FFMC (dygn).	Ej tillämpat.	Medle, Robertsfors, Tavelsjö, Hörnefors.

Tabell 16. Norrköping (för timsupplöst bränslefukt och brandspridningsfara.

Parameter (observation)	Station (observation)	Plats Mesandata (1999–2019)
Lufttemperatur (h), nederbörd (h), RH (h), 10-meters vindhastighet (h).	Norrköping-SMHI.	Ej tillämpat.
Globalstrålning.	Ej tillämpat.	STRÅNG (2020).

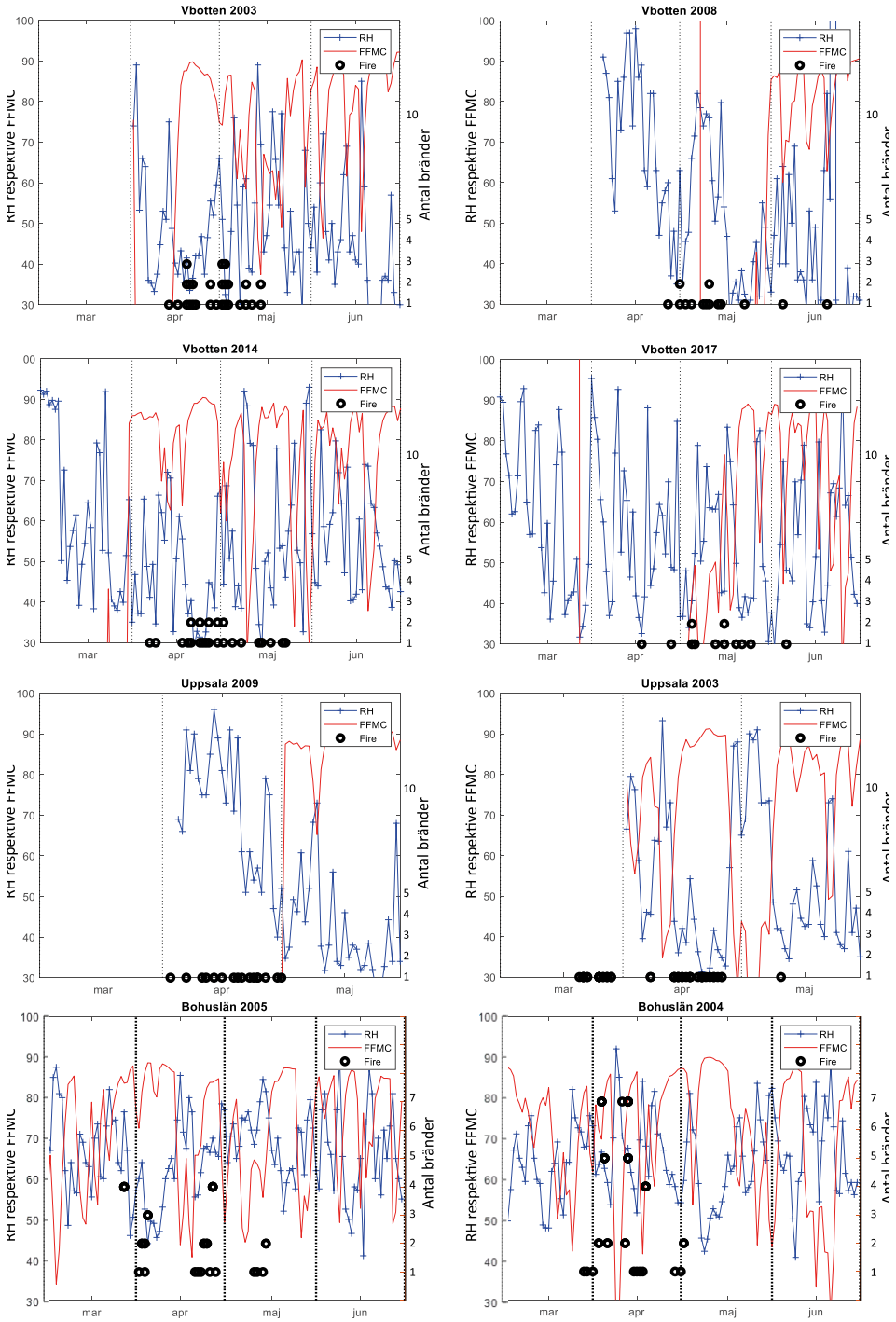
Bilaga 2

Bilaga 2: Insatser och väderutveckling

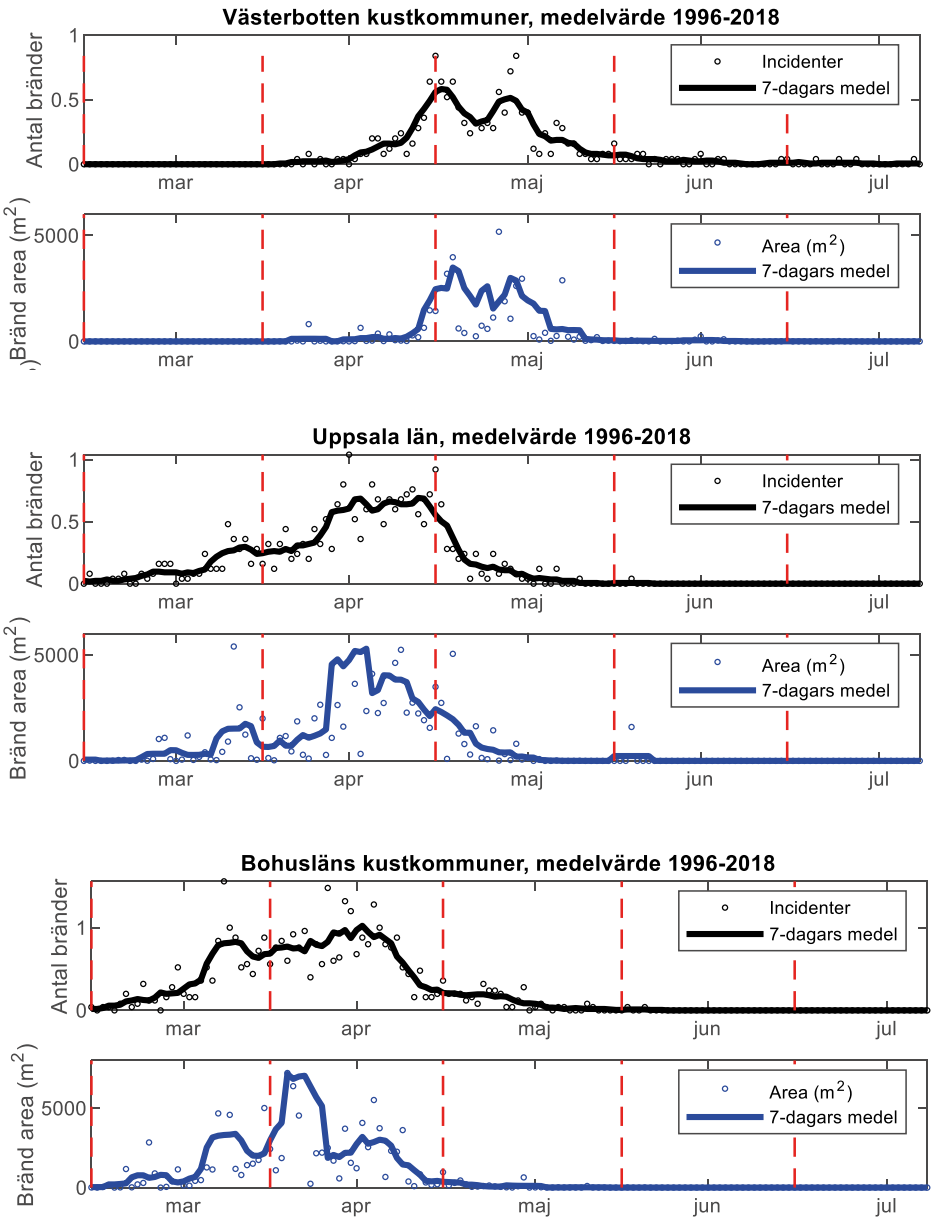
Tabell 17. Antalet insatser i underlaget från de olika regionerna. Antalet utgör 18 färre bränder än det totala antalet beskrivet i rapporten eftersom denna data inte tar med bränder långt efter att gräsbrandssäsongen anses avslutad.

År	Skåne	Bohus-län	Göteborg	Småländska höglandet	Gotland	Uppsala län	Örebro län	Ljusdal	Östersund	Västerbotten	Totalt
1996	65	98	0	15	19	50	61	3	1	50	**362**
1997	85	63	53	24	19	86	121	8	1	23	**483**
1998	26	21	37	3	6	22	57	6	5	11	**194**
1999	55	11	19	3	6	11	12	1	9	20	**147**
2000	28	27	45	10	13	23	49	8	1	31	**235**
2001	89	76	50	6	10	24	46	4	8	10	**323**
2002	26	21	47	7	6	18	24	4	2	20	**175**
2003	209	129	92	38	29	49	123	4	4	30	**707**
2004	58	46	44	16	11	30	28	7	3	15	**258**
2005	64	32	35	11	7	26	17	5	8	21	**226**
2006	19	9	32	4	6	27	23	8	3	16	**147**
2007	9	14	15	4	3	16	9	10	2	9	**91**
2008	20	16	16	4	3	15	19	7	0	18	**118**
2009	31	29	38	11	5	16	18	6	2	10	**166**
2010	36	27	28	10	5	7	21	3	8	8	**153**
2011	53	30	24	3	9	11	23	4	3	12	**172**
2012	30	16	28	6	7	11	20	3	0	1	**122**
2013	67	122	83	7	22	16	30	2	2	10	**361**
2014	5	13	10	7	6	18	19	5	3	24	**110**
2015	19	11	8	2	4	10	18	4	1	6	**83**
2016	18	18	12	0	5	11	10	0	0	10	**84**
2017	21	21	8	4	12	29	20	0	0	14	**129**
2018	37	22	8	0	3	5	16	0	0	7	**98**
2019	0	22	5	5	1	25	22	0	0	8	**88**
2020	0	10	1	3	2	16	12	0	0	21	**65**
Totalt	**1 070**	**904**	**738**	**203**	**219**	**572**	**818**	**102**	**66**	**405**	**5 097**

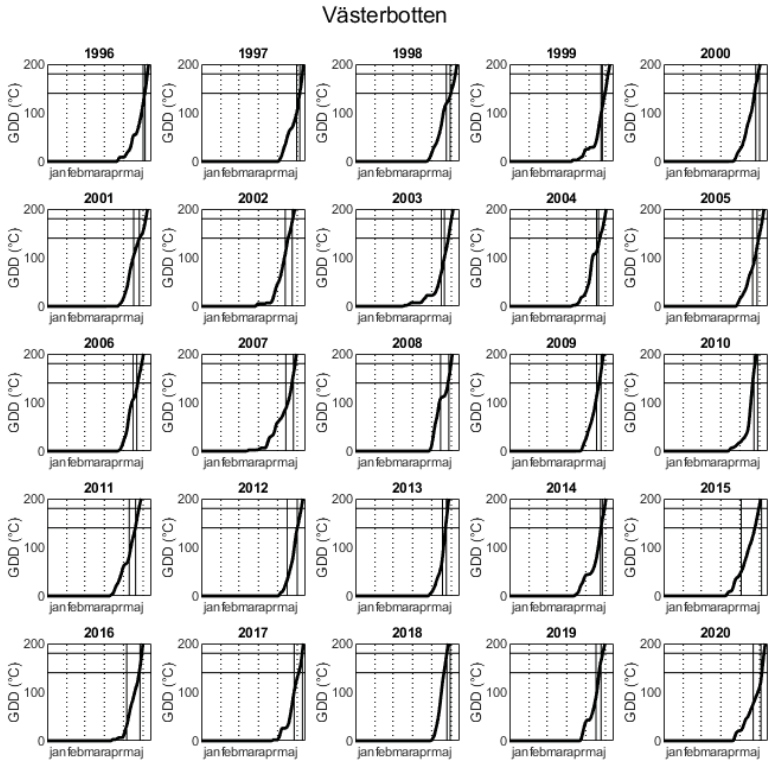
Figur 18. Exempel på brandutfall samt RH (12:00 UTC) och FFMC under dagen för ett antal år/områden.



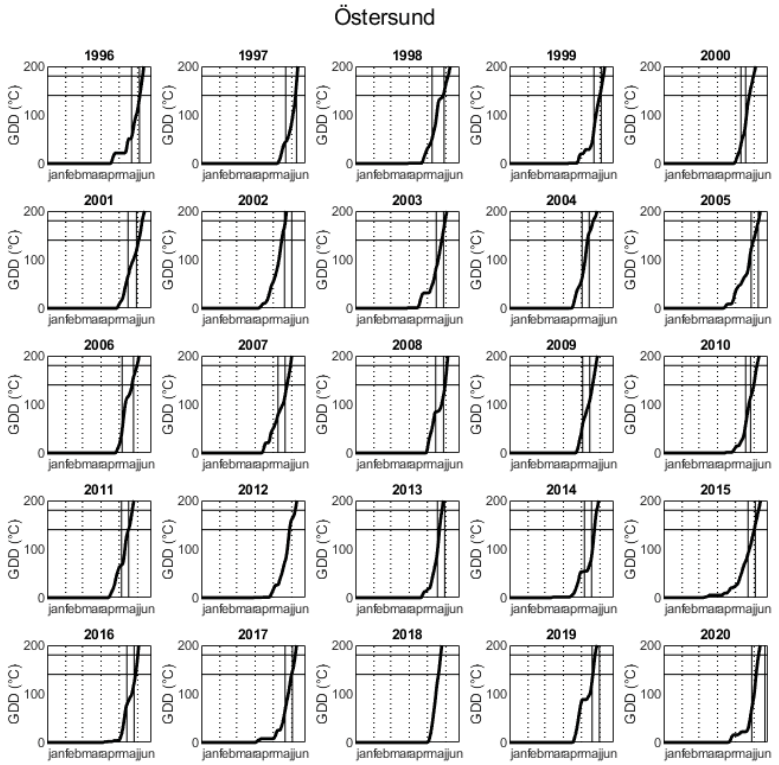
Figur 19. Medelvärdet (1998–2018) av säsongsfördelningen på inträffade gräsbränder och brunnen area i Västerbottens kustkommuner, Uppsala län samt Bohuslän.



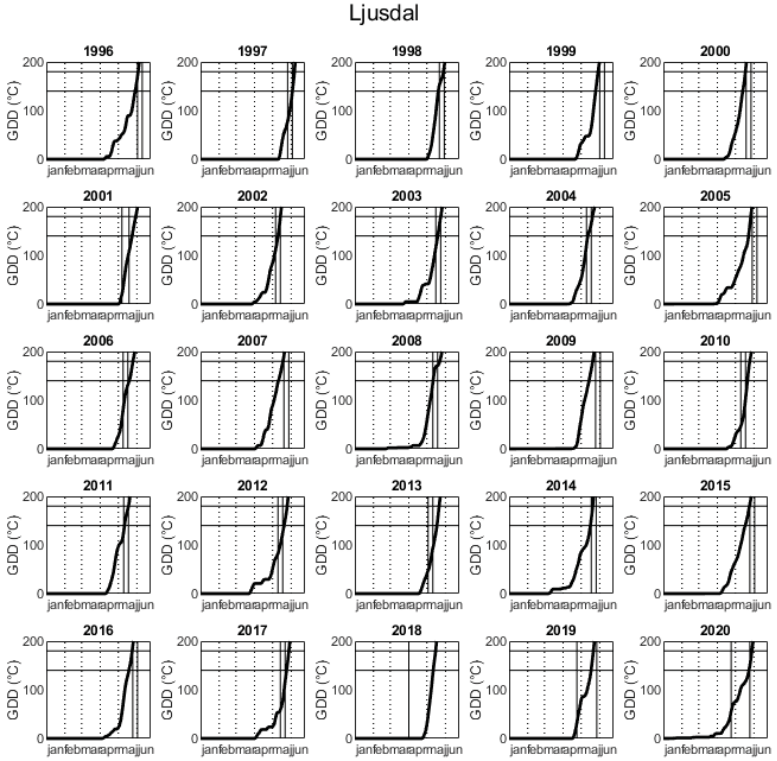
Figur 20. Utveckling av GDD för Västerbotten mellan åren 1996 och 2020.



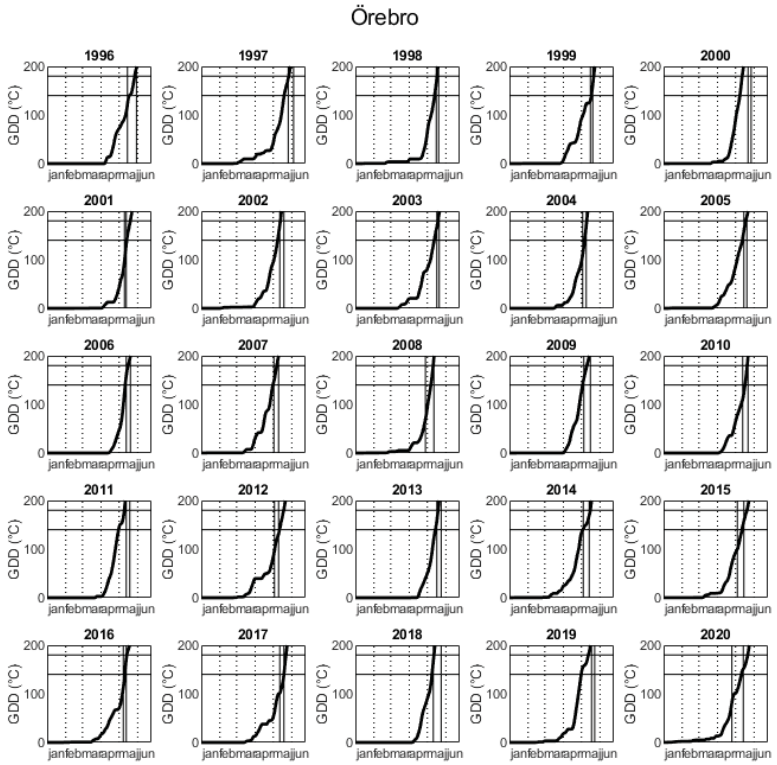
Figur 21. Utveckling av GDD för Östersund mellan åren 1996 och 2020.



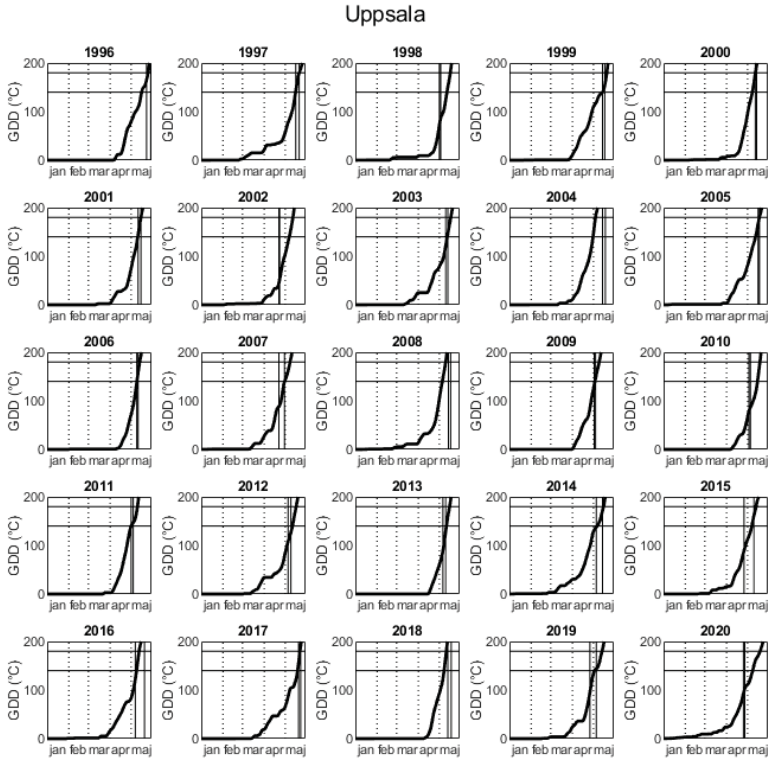
Figur 22. Utveckling av GDD för Ljusdal mellan åren 1996 och 2020.



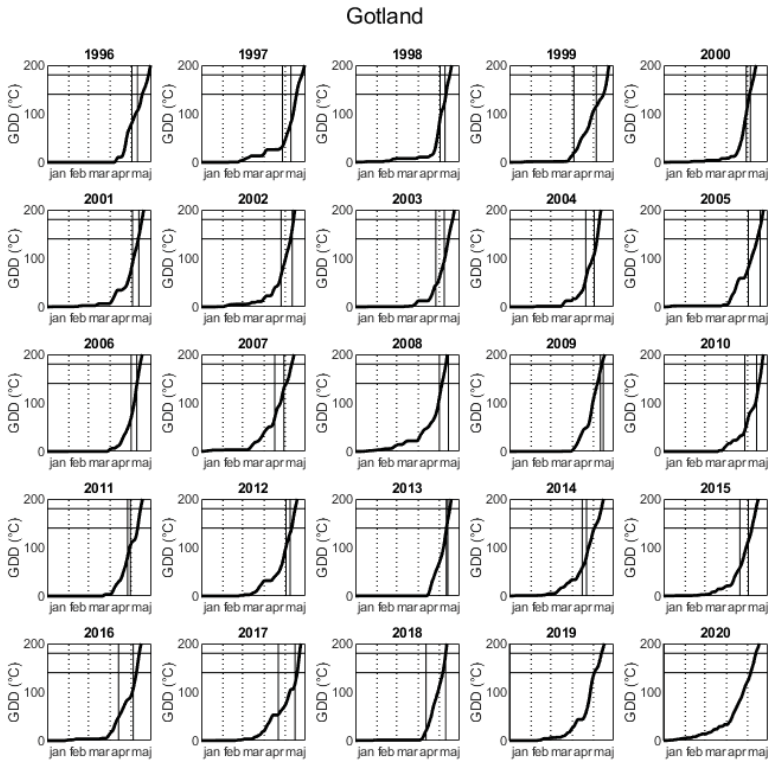
Figur 23. Utveckling av GDD för Örebro mellan åren 1996 och 2020.



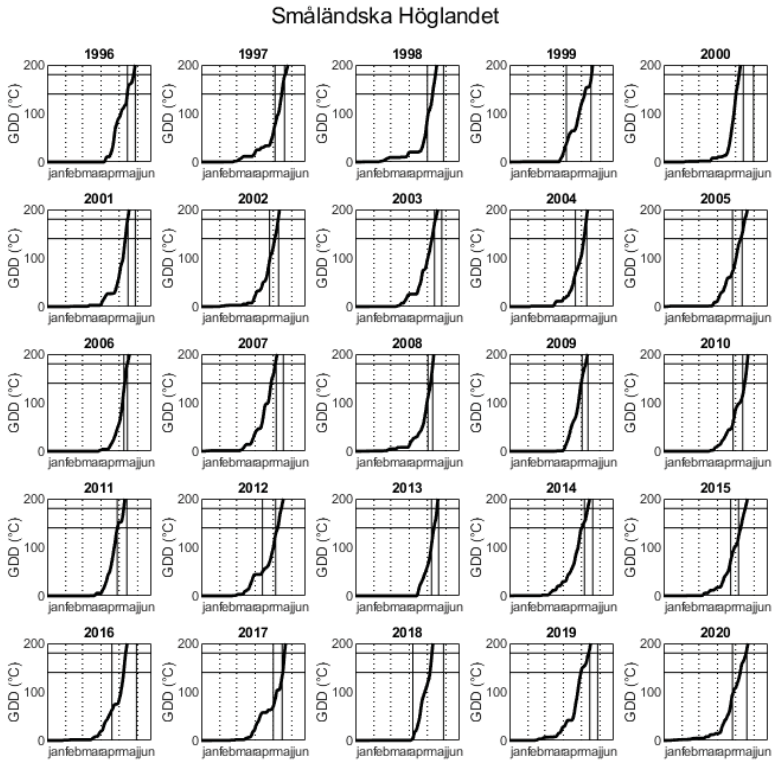
Figur 24. Utveckling av GDD för Uppsala mellan åren 1996 och 2020.



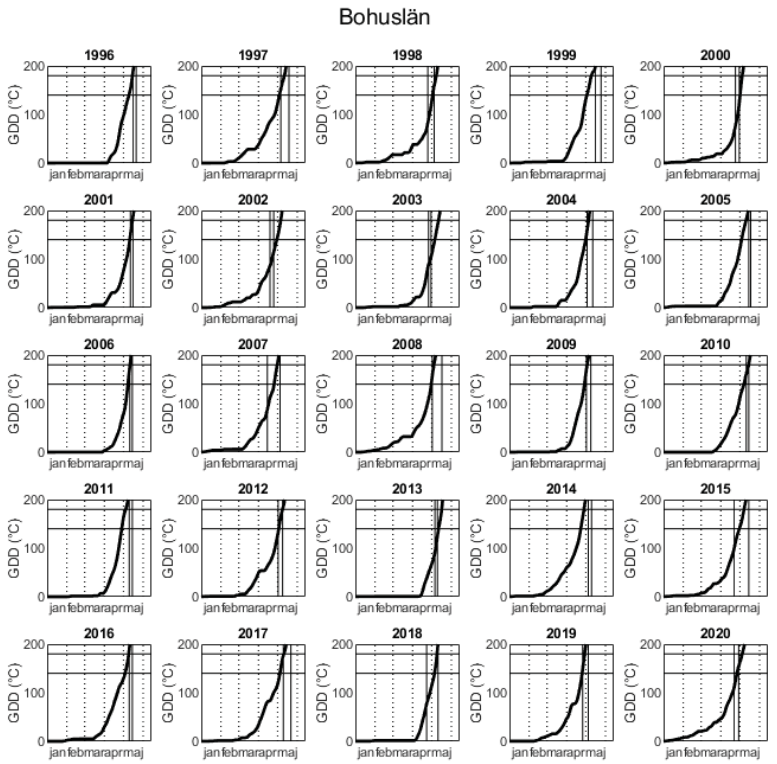
Figur 25. Utveckling av GDD för Gotland mellan åren 1996 och 2020.



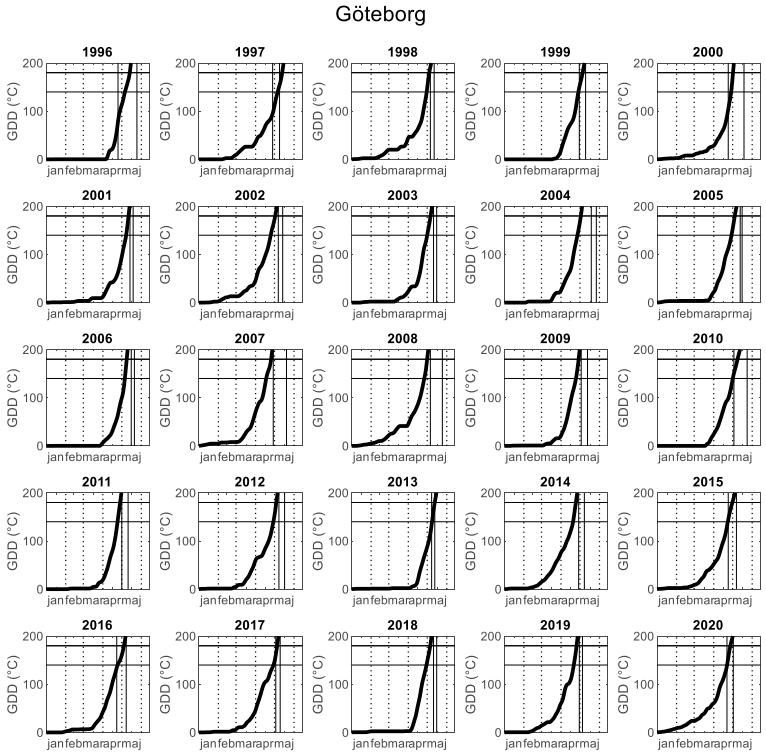
Figur 26. Utveckling av GDD för Småländska Höglandet mellan åren 1996 och 2020.



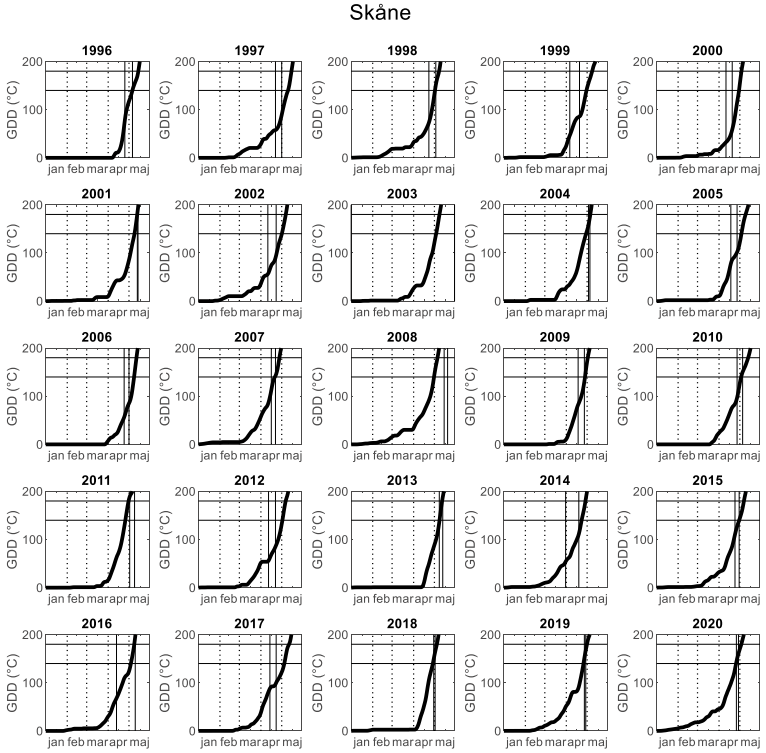
Figur 27. Utveckling av GDD för Bohuslän mellan åren 1996 och 2020.



Figur 28. Utveckling av GDD för Göteborg mellan åren 1996 och 2020.



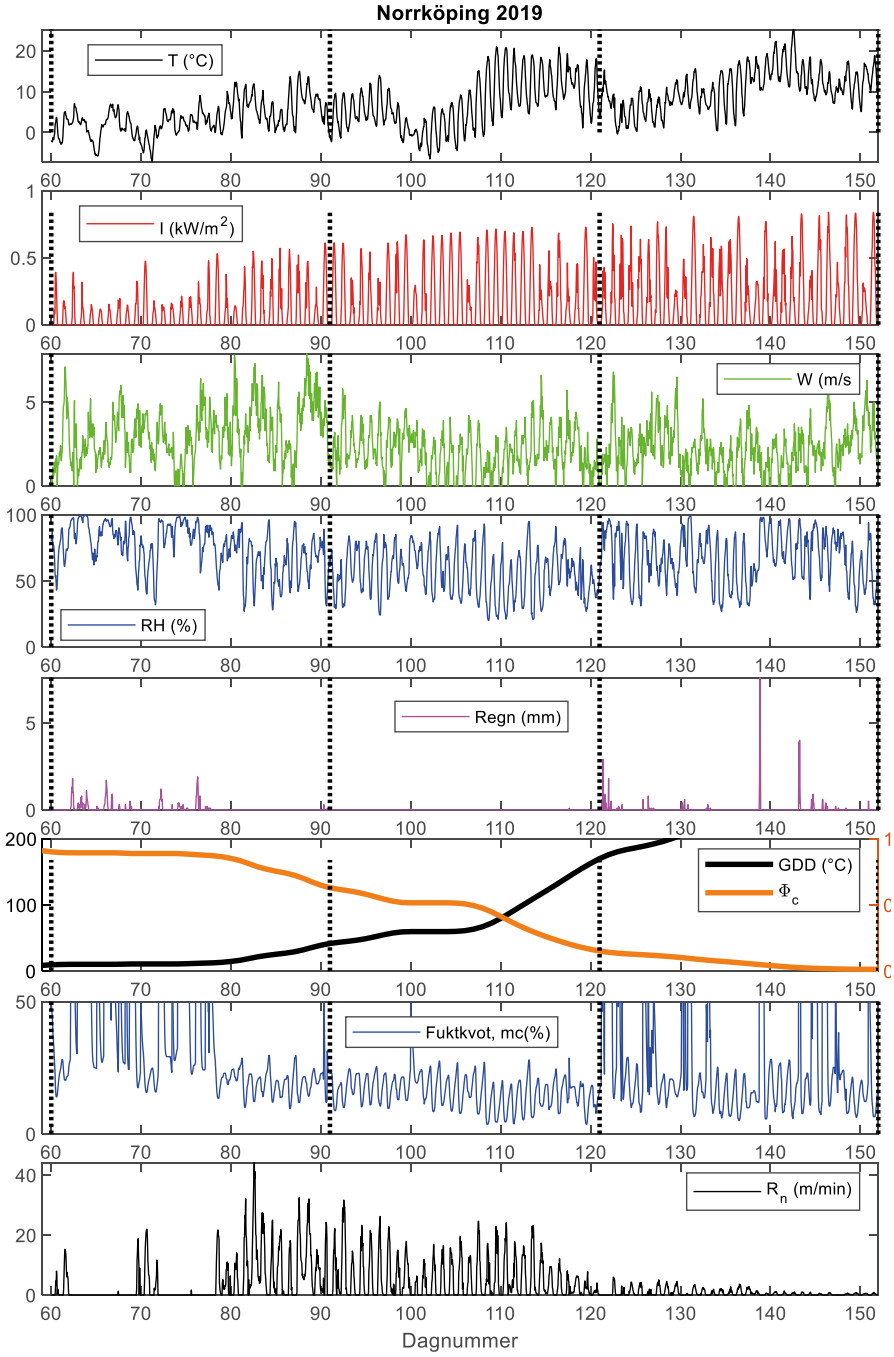
Figur 29. Utveckling av GDD för Skåne mellan åren 1996 och 2020.



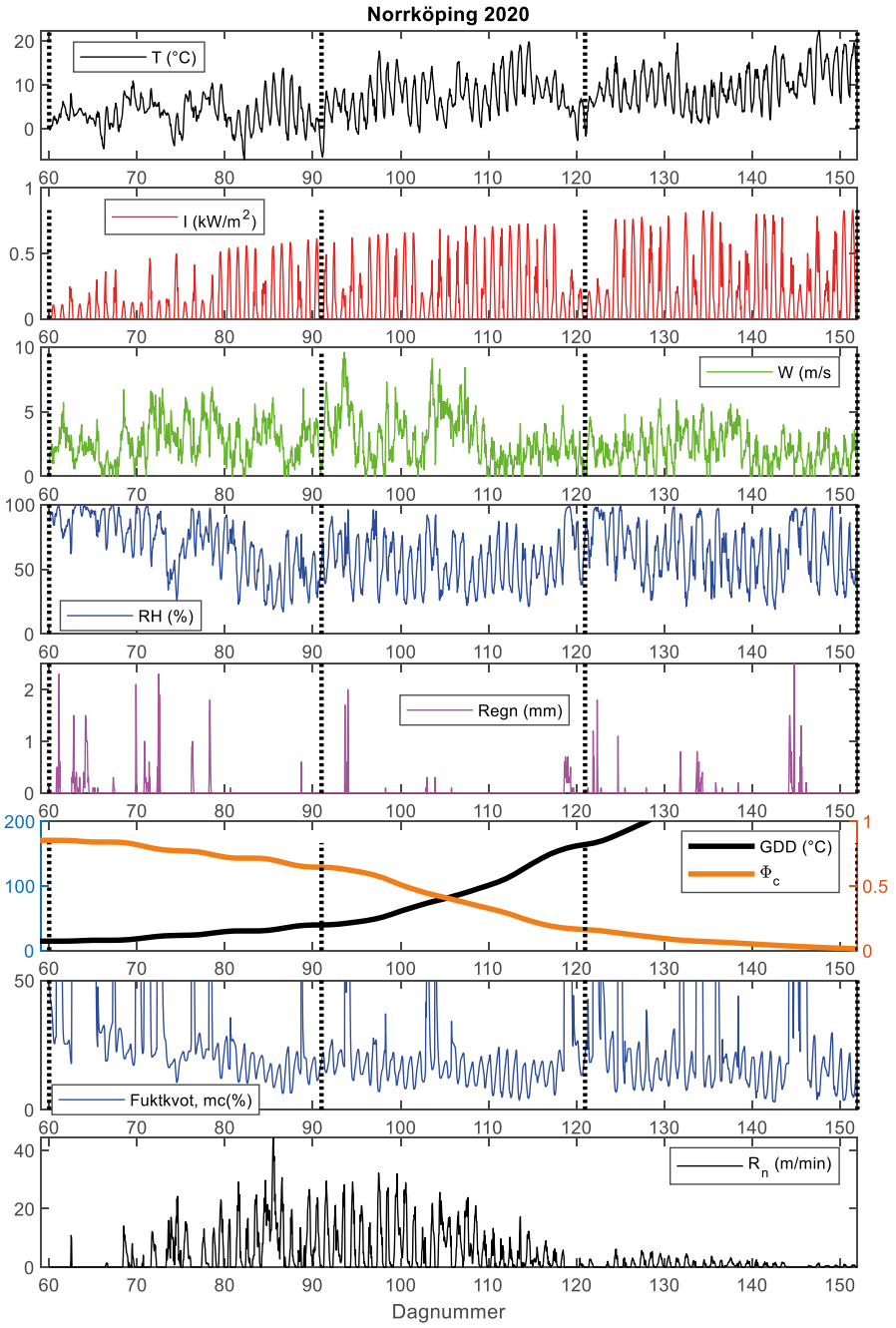
Bilaga 3

Bilaga 3: Applikation 2019–2020

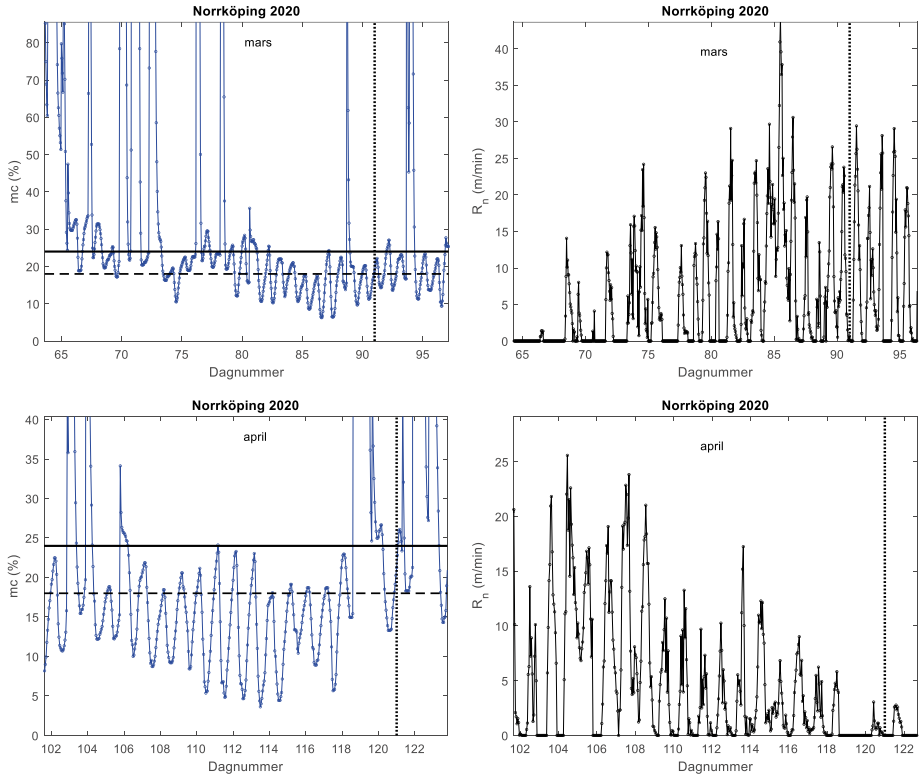
Figur 30. Väderdata för Norrköping, 1:a mars till 1:a juni 2019, samt resulterande fuktkvot och R_n.



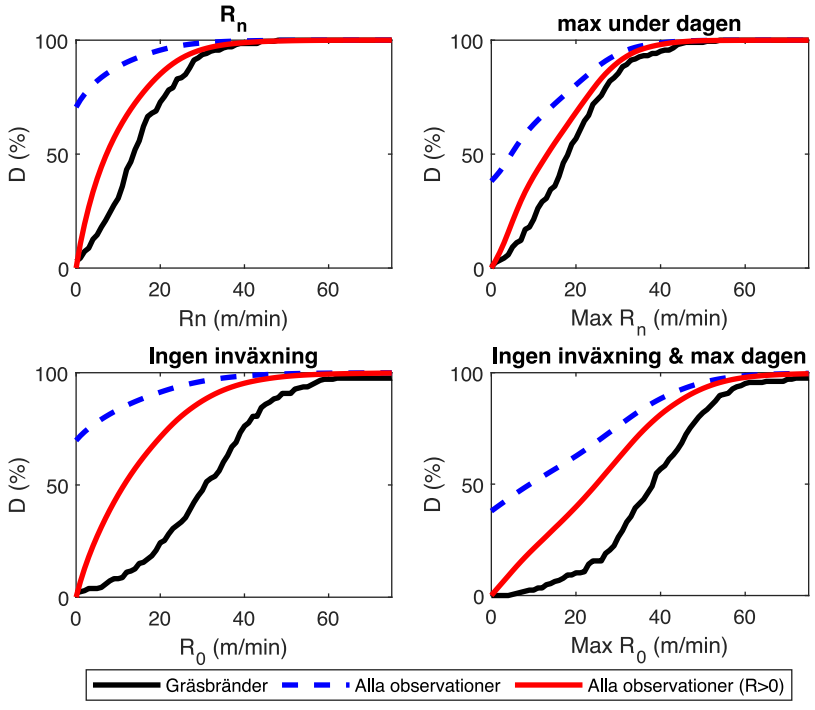
Figur 31. Väderdata för Norrköping, 1:a mars till 1:a juni 2020, samt resulterande fuktkvot och R_n.



Figur 32. Fuktkvot (vänster) och spridningshastighet (höger) för Norrköping i mars (övre) och april (undre) 2020.

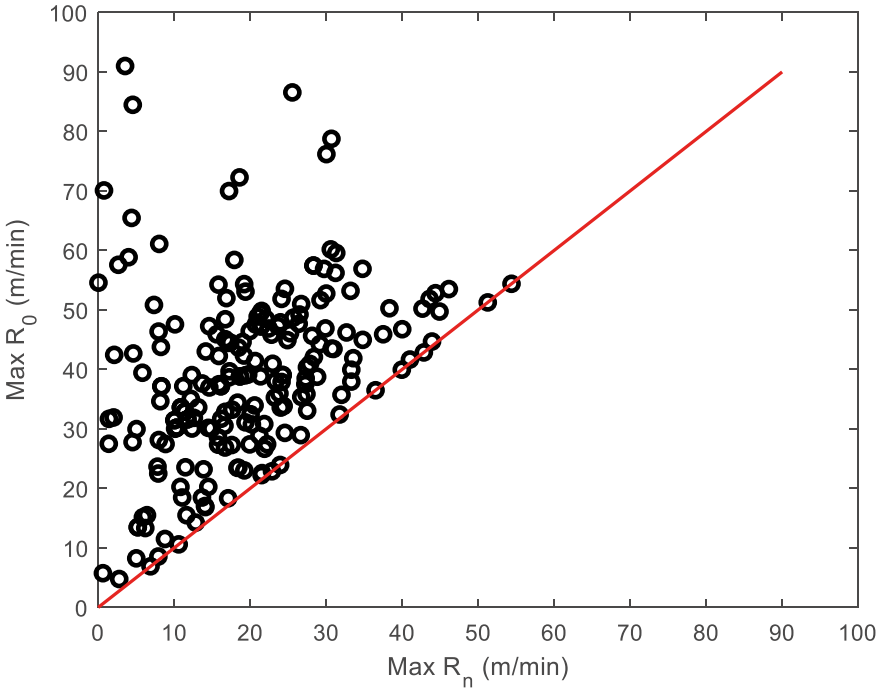


Figur 33. Kumulativ fördelning av modellens spridningshastighet för säsongerna 2019–2020: (höger, övre) värdet vid timman av larmsamtalet, (vänster, övre) maximala värdet under dygnet, (höger, nedre) värdet av R_0, spridningshastighet utan att beakta inväxten av årsgräs, (vänster, nedre) maximala R_0-värdet under dygnet.



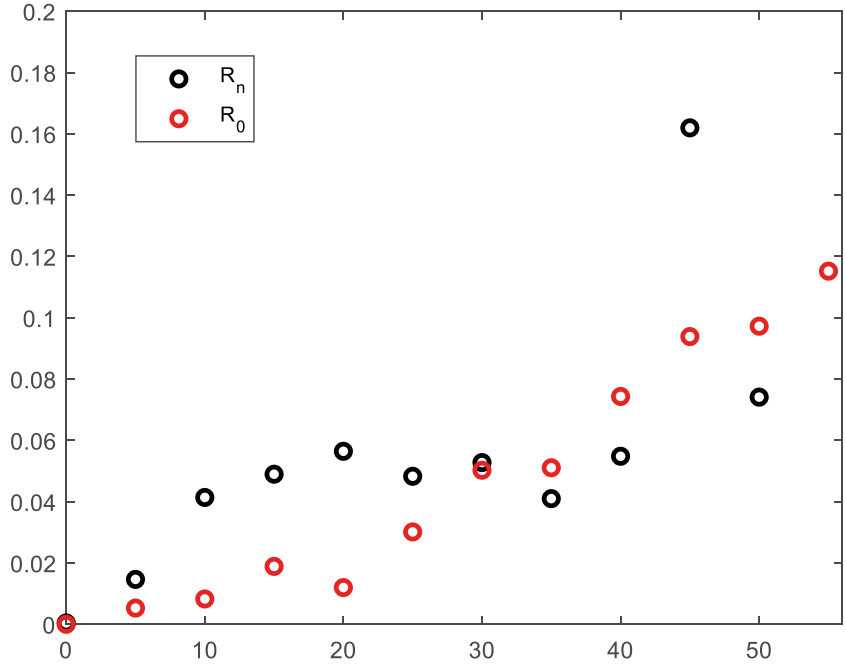
Svarta kurvor representerar de 206 gräsbränderna. Blå streckade kurvor är fördelningen av alla väderobservationer under säsongen och röda kurvor är observationernas fördelning för alla dagar som inte var helt blöta eller snötäckta.

Figur 34. Korrelation mellan Rn och R0 för 206 bränder under 2019–2020 (maxvärdet vid platsen under dagen för antändning).



Bränder som sker vid riktigt låga Rn motsvaras ofta av höga R0. Det innebär att det är torrt och blåsigt men inväxten av gräs är hög. Majoriteten av bränderna för Rn < 5 m/min har ett motsvarande R0-värde en faktor 15–25 högre. Detta innebär bränder utanför säsongen vid GDD = 240–285 °C.

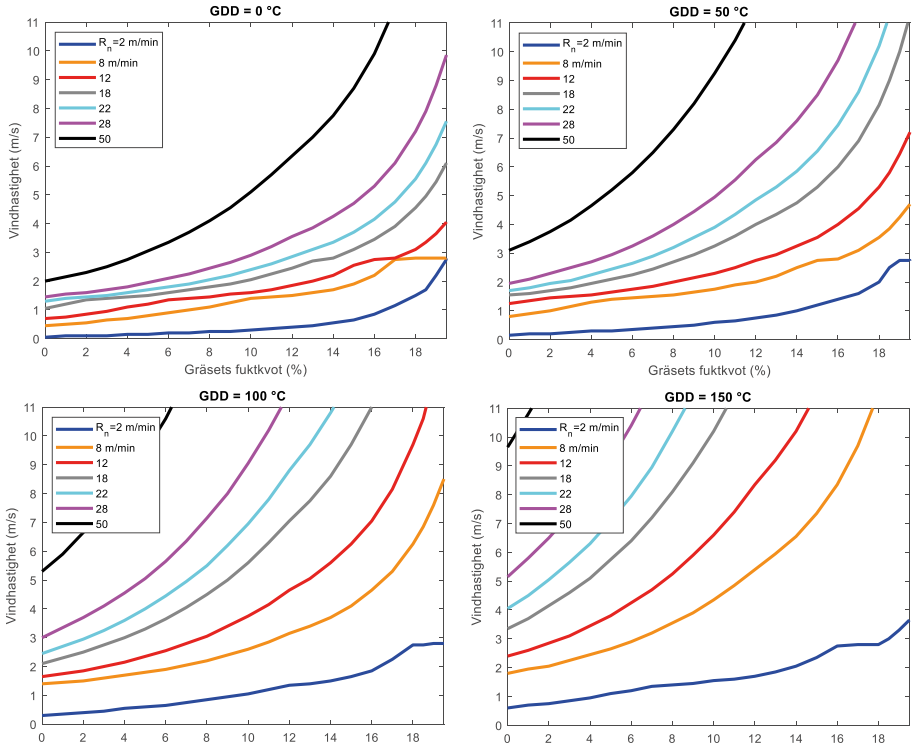
Figur 35. Kvoten av brändernas och observationernas fördelningar av R_n och R_0.



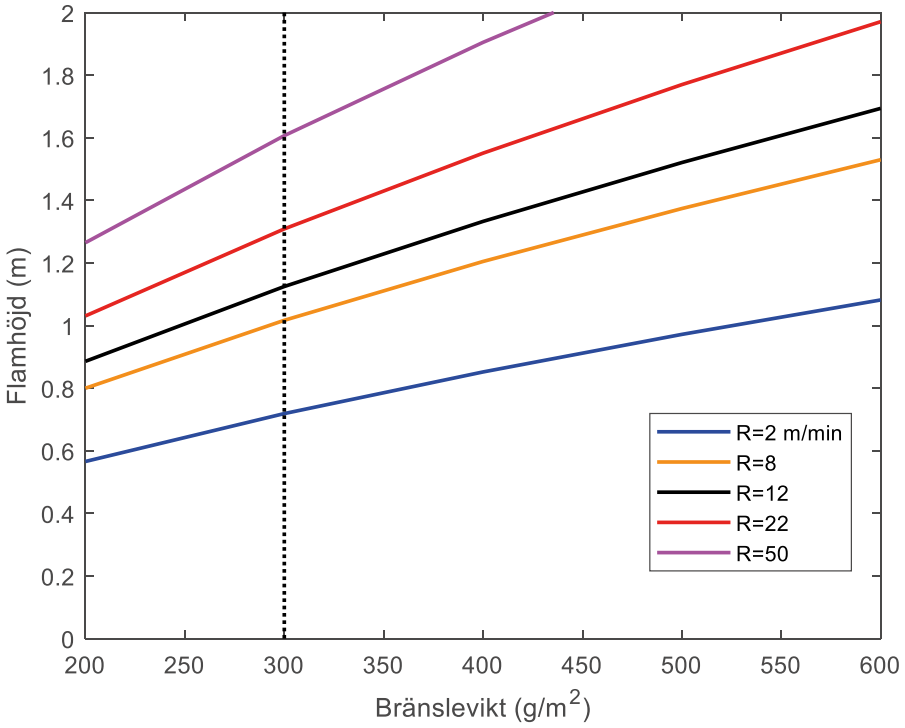
Bilaga 4

Bilaga 4: Brandbeteende

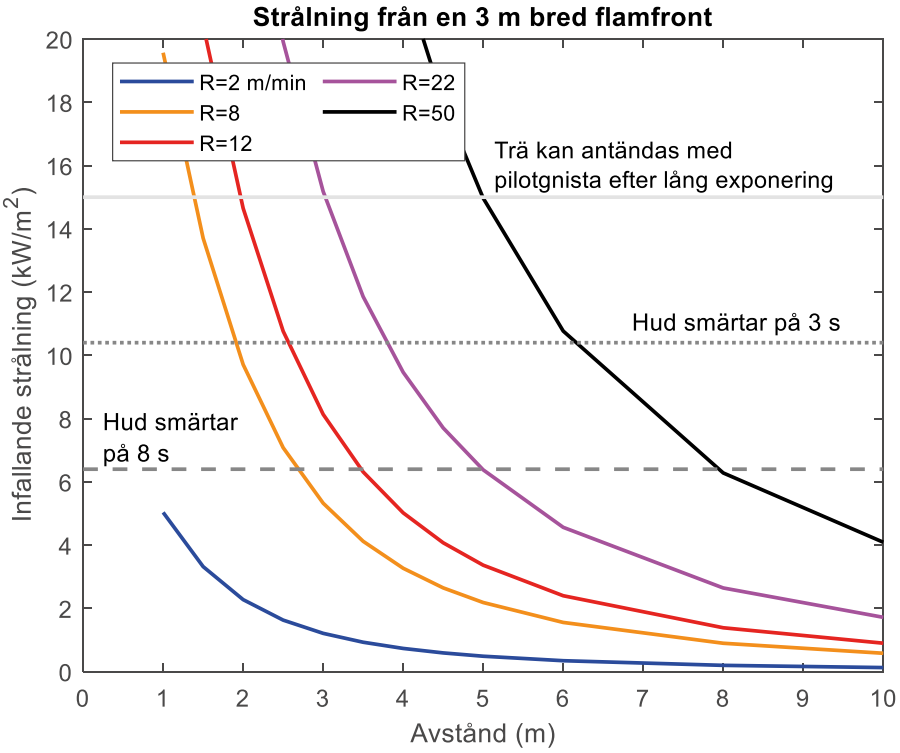
Figur 36. Kurvor med konstant spridningshastighet som funktion av gräsets fuktkvot (x-axel) och 10-meters medelvindhastighet (y-axel).



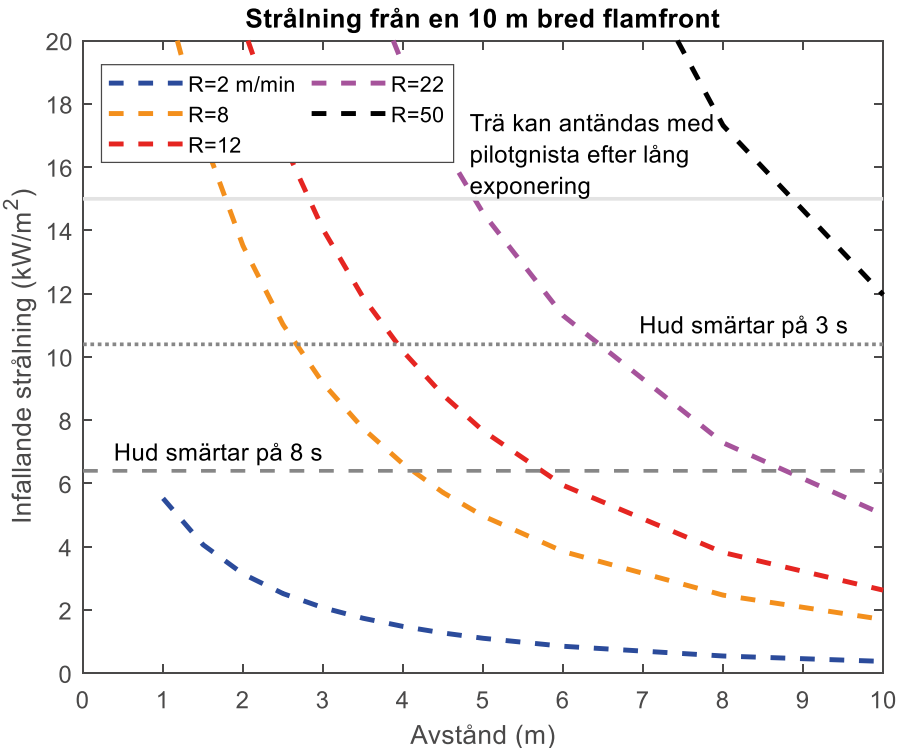
Figur 37. Beräkning av flamlängder som funktion av massan av dött gräs på marken och spridningshastighet enligt Cruz et al. (2018).



Figur 38. Strålningsnivåer på olika avstånd (vinkelrätt) från en flamfront som är 3 m bred, för sex olika nivåer av brandspridningshastighet.



Figur 39. Strålningsnivåer på olika avstånd (vinkelrätt) från en flamfront som är 10 m bred, för sex olika nivåer av brandspridningshastighet.



Myndigheten för
samhällsskydd
och beredskap

© Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB)
651 81 Karlstad Tel 0771-240 240 **www.msb.se**
Publ.nr MSB1721 - december 2022 ISBN 978-91-7927-121-3