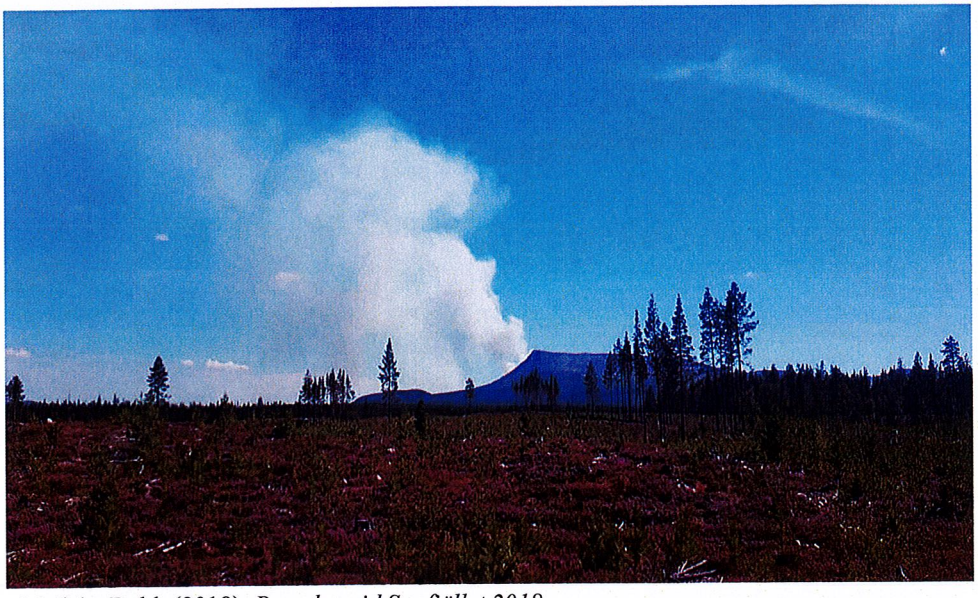
Bränder ovan gränsen för fjällnära skog i Sverige mellan 1998-2020



© Micke Dahl, (2018). *Branden vid Sonfjället 2018.*

Amy Eliasson
Emelie Lernbom

Degree of Bachelor of Science
with a major in Geography
15 hec

Department of Economy and Society, Human Geography &
Department of Earth Sciences
University of Gothenburg
2022 B-1182

Faculty of Science

UNIVERSITY OF GOTHENBURG

UNIVERSITY OF GOTHENBURG
Department of Economy and Society, Human Geography &
Department of Earth Sciences
Geovetarcentrum/Earth Science Centre

Bränder ovan gränsen för fjällnära skog i Sverige mellan 1998-2020

Amy Eliasson
Emelie Lernbom

ISSN 1400-3821

B1182
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2022

Mailing address
Geovetarcentrum
S 405 30 Göteborg

Address
Geovetarcentrum
Guldhedsgatan 5A

Telephone
031-786 19 56

Geovetarcentrum
Göteborg University
S-405 30 Göteborg
SWEDEN

Sammanfattning

Titel: Bränder ovan gränsen för fjällnära skog i Sverige mellan 1998-2020

Klimatförändringarna förväntas bidra till fler bränder på kalfjäll och i närliggande boreala skogar. Studier har visat på en ökning av antal och storlek på bränder i dessa miljöer där brandförekomst annars är ovanligt. Kalfjällsbränder kan även generera en brandbenägen vegetation och således fler bränder. Området ovan gränsen för fjällnära skog (GFS) i Sverige bedöms som sällsynt med urskogsliknande miljöer och värdefulla natur- och kulturvärden. Däremot finns en kunskapsbrist kring hur bränder beter sig här. Syftet med studien var att undersöka brandregimer ovan GFS i Sverige genom att analysera Myndigheten för samhällsskydd och beredskaps (MSB) databas över registrerade bränder i fjällänen mellan år 1998 och 2020. Vidare undersöktes förutsättningarna och intensiteten av branden vid Sonfjället 2018 genom fjärranalys och bearbetning av geodata i GIS. Slutligen studerades eventuell tillväxt av vegetation efter branden med hjälp av fjärranalys. Resultatet i studien visar att det har skett en ökning av antal registrerade bränder ovan GFS under den studerade perioden, men indikerar inte någon ökning av bränder på kalfjäll. Däremot har det skett flera stora bränder i den fjällnära skogen i anslutning till kalfjäll. Brandintensiteten i branden vid Sonfjället 2018 har spatiala variationer men brann huvudsakligen med *måttligt hög intensitet*. Tillväxten av vegetation var marginell tre år efter branden och det är svårt att dra vidare slutsatser om vegetationens tillväxt. Slutligen är platsegenskaper och vädrets tidsmässiga förhållanden betydande för en brands beteende. Att brandregimen är platsspecifik och beroende av lokal kontext gör det svårare att skapa en generaliserad bild av brandregimer ovan GFS, men branden vid Sonfjället visar potentialen av brand i den fjällnära skogen i nära anslutning till kalfjäll.

Nyckelord: Kalfjällsbrand, fjärranalys, skogsbrand, klimatförändringar

Abstract

Title: Wildfires above the mountainous forest land border in Sweden between 1998 - 2020

Climate change is expected to contribute to an increase of the extent and severity of wildfire on tundra and in the adjacent boreal forest. Studies show an expansion in both the number and size of fires in these environments, where the disturbance of wildfire are previously less common. Tundra fire could generate development of more fire-prone vegetation, thus leading to more frequent fires. The area above the mountainous forest land border is considered unique in Sweden with old-growth forest fragments and important natural and cultural values. However, there is a knowledge gap regarding the fire regimes in the mountain range. The aim of the study was to investigate the fire regimes above the mountainous forest land border in Sweden by analyzing a database of registered fires in the mountainous counties between 1998 and 2020 from the Swedish Civil Contingencies Agency. Further, the drivers and intensity of the fire in Sonfjället 2018 was examined through remote sensing and processing of geodata in GIS. Moreover, enhanced regrowth of vegetation within the fire affected area post fire was studied with remote sensing. Our results show an increase in the number of registered fires above the mountainous forest land border, but do not indicate an increase in tundra fires. Yet, there have been several large fires in mountainous forest land adjacent to the tundra landscape. The fire intensity in Sonfjället 2018 shows spatial variations but burned mainly with *moderate high intensity*. Regrowth of vegetation in the three years after the fire was sparse, and it is difficult to draw further conclusions regarding regrowth of vegetation. Lastly, characteristics of place and influence of temporal weather conditions are important drivers of fire and frame the fire regime. The fact that fire regimes are place-specific and dependent upon local context makes it difficult to form a generalized perception of fire regimes above the mountainous forest land border. However, the fire in Sonfjället shows the potential for fires in mountainous forest land adjacent to the tundra landscape.

Keywords: Tundra fire, remote sensing, wildfire, climate change

Förord

Efter tre år av studier på kandidatprogrammet för geografi har vår världsbild integrerats med djupare kunskaper om det ömsesidiga förhållandet mellan samhälle och natur. I stunder kan insikterna varit överväldigande samtidigt som vi blivit motiverade att lära oss mer för att hantera de problem som vi tillsammans står inför. Vi vill börja med att rikta ett stort tack till samtliga kursledare och gästföreläsare på programmet som genom engagemang och expertis bidragit till en större förståelse för vårt ansvar att förvalta naturen på ett hållbart sätt.

Ett gemensamt intresse för sambandet mellan människa och natur och med en ömhet för djur och artbestånd gör oss drivna i frågor som hotar dessa. Vi fastnade med en gång för den föreslagna uppsatsidén om att undersöka bränder i fjällmiljö med hjälp av fjärranalys. Vi blev trollbundna av skogsbrändernas komplexitet och dramatiska framförande och vi ville också lära oss mer om fjärranalys som metod, då vi tidigare inte har någon vidare erfarenhet av det. Uppsatsperioden har varit rolig och lärorik och vi tar med oss många nya kunskaper.

Ett särskilt stort tack går till doktor Robert Björk och doktor Heather Reese som med sin expertis om arktiska ekosystem och fjärranalys har gett oss handledning och värdefulla råd under skrivprocessen. Vi vill också tacka professor Sofia Thorsson för en strukturell och hjälpsam vägledning från uppsatsens begynnelse till slut.

Slutligen vill vi tacka våra familjer och stöttepelare Grim Almén och Viktor Ölund, samt våra stjärnor till kurskamrater Izabella Dehner och Louise Strofsköld som inspirerat oss och förgyllt vår tid under hela utbildningen.

Innehållsförteckning

1. INTRODUKTION ... 1
2. KUNSKAPSÖVERSIKT ... 3
2.1 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR SKOGSBRÄNDER OCH STYRANDE FAKTORER ... 4
2.2 BRÄNSLETS FUKTHALT OCH STRUKTUR ... 4
2.3 TOPOGRAFI OCH VIND ... 5
2.4 BRANDRISKVÄRDEN OCH FIRE WEATHER INDEX ... 6
2.5 BRANDREGIM ... 7
3. STUDIEOMRÅDE ... 8
3.1 FJÄLL OCH GRÄNSEN FÖR FJÄLLNÄRA SKOG ... 8
3.2 GEOLOGI, KLIMAT OCH VÄDER ... 9
3.3 VEGETATION OCH MARKANVÄNDNING ... 9
3.4 SONFJÄLLET ... 11
4. METOD OCH MATERIAL ... 13
4.1 METODVAL ... 13
4.2. DATA, INSAMLING OCH URVAL ... 14
4.2.1 MSB databas över registrerade bränder ... 14
4.2.2 Satellitbilder från Sentinel-2 ... 14
4.2.3 Geografisk data i GIS och FWI ... 14
4.3 BEARBETNING ... 15
4.3.1 Analys av databasen ... 15
4.3.2 Brandens intensitet och utbredning vid Sonfjället ... 16
4.3.3 Förutsättningar för branden vid Sonfjället ... 18
4.3.4 Tillväxt av vegetation efter branden vid Sonfjället ... 19
4.4 METODDISKUSSION ... 19
5. RESULTAT ... 22
5.1 BRANDREGIMER OVAN GFS 1998–2020 ... 22
5.2 BRANDINTENSITET OCH FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR BRANDEN VID SONFJÄLLET ... 26
5.3 TILLVÄXT AV VEGETATION EFTER BRAND VID SONFJÄLLET ... 30
6. DISKUSSION ... 32
7. SLUTSATSER ... 35
8. REFERENSER ... 36
9. BILAGOR ... 41

1. Introduktion

Klimatförändringar påverkar både naturliga och antropogena system och förväntas bidra till allvarliga konsekvenser för kalfjäll och boreala skogar på höga latituder (IPCC, 2018). Bränder i de allra nordligaste områdena är ovanligt, samtidigt verkar det som att stigande temperaturer till följd av klimatförändringarna har bidragit till fler och större bränder på kalfjäll och i den intilliggande boreala skogen. Den arktiska lufttemperaturen antas ha ökat trefaldigt i jämförelse med den globala medeltemperaturen de senaste fem decennierna (AMAP, 2021), vilket förmodas påverka brandregimer på kalfjäll (Higuera, Chipman, Barnes, Urban, Sheng Hu, 2011). Bränderna kan öka atmosfäriska utsläpp av exempelvis svartkol, partiklar ($PM_{2,5}$,) kväveoxid, kolmonoxid och svaveldioxid från arktisområden. Sedan år 2010 har framför allt utsläpp av svartkol från bränder ökat vid områden högre än 60^{o} N (McCarty m.fl., 2021). Det finns en brist på studier som undersöker brandregimer på det svenska kalfjället. Vegetationen ovan gränsen för fjällnära skog (GFS) i Sverige bedöms som unik, framför allt på grund av koncentrationen av urskogsliknande miljöer (SLU, 2021), och den är av omfattande natur- och kulturvärde på både nationell och global skala. De fjällnära skogarna är också betydelsefulla för klimatet, den biologiska mångfalden, rennäringen, den samiska kulturen och för turismen (Henriksson & Olsson, 2020).

Brandregimen, dvs. brandens karaktär, är komplex och svårförstådd på kalfjäll samtidigt som de kan skilja sig mellan olika platser (Higuera m.fl., 2011). Bränder på arktiska kalfjäll (vid latitud 66° N och uppåt) skiljer sig spatialt mellan regioner och ses som ett resultat av de biofysiska förhållandena som exempelvis rumsliga variationer i klimat och bränsletillgång (McCarty m.fl., 2021). En brand i naturen har stor potential till spridning till följd av en nästan ändlös tillgång till syre och stora bäddar av bränsle i form av vegetation. Eldens framfart påverkas av bränslets fuktighet och struktur, omgivningens topografi och vädret, framför allt av vindförhållandena (Daşdemir, Aydın & Ertuğrul, 2021; Granström, 2005). Vegetationens tillväxt efter en brand kan se olika ut beroende på miljömässiga förhållanden på platsen och vilken vegetationstyp som drabbats. Tillväxten kan även leda till en vegetation som gör sig beroende av brand vilket kan skapa en positiv återkoppling av successivt fler bränder i området (Coppoletta, Merriam & Collins, 2016). Sammantaget förväntas brandproblematiken i de arktiska områdena att öka på grund av klimatförändringarna, till följd av fler blixtoväder som kan fungera som antändningsorsak tillsammans med ändrade bränsleförutsättningar genom exempelvis torrare marker och mer vegetation. Även mänsklig antändning genom bland annat

utökad industri, markanvändning och turistaktiviteter förväntas orsaka fler bränder (McCarty m.fl., 2021).

Sommaren 2018 var en av de varmaste och torraste perioderna som uppmätts i Sverige och utmärker sig med de stora arealerna bränd mark. De stora bränderna dominerades av skogsbränder orsakade av blixtoväder under juni månad (MSB, 2020). Två bränder ovan GFS sticker ut i storlek sett till areal (MSB databas, 2021): Trängsletbranden i Älvdalens kommun kom att bli den fjärde största i landet under 2018 och har fått mycket uppmärksamhet av brandexperter (MSB, 2020). Branden i Sonfjällets nationalpark i Härjedalens kommun var den näst största ovan GFS samma år (MSB databas, 2021), men har inte undersökts i lika stor utsträckning. Att analysera bränder i fjällmiljö kan bidra till en ökad förståelse för en plats specifika förutsättningar att generera en brand, vilket kan gynna det preventiva arbetet mot bränder i dessa miljöer (Jones & Vaughan, 2010; McCarty m.fl., 2021). Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) tillhandahåller en databas över registrerade bränder i Sveriges fjällän; Dalarna, Jämtland, Norrbotten, Västerbotten och Västernorrland som sträcker sig från 1998 till 2020 (MSB databas, 2021).

Syfte

Syftet med denna studie är att undersöka brandregimer ovan gränsen för fjällnära skog i Sverige genom att analysera MSB:s databas över registrerade bränder mellan åren 1998 och 2020. Vidare kommer intensiteten av och förutsättningarna för branden vid Sonfjället 2018 undersökas med hjälp av GIS- och fjärranalys. Vegetationens tillväxt i det branddrabbade området vid Sonfjället kommer även att studeras genom fjärranalys.

Frågeställningar

- Hur har brandregimer sett ut ovan gränsen för fjällnära skog i Sverige mellan 1998 och 2020?
- Hur såg brandintensiteten och förutsättningarna ut för branden vid Sonfjället 2018?
- I vilken mån har det skett tillväxt av vegetation inom det branddrabbade området vid Sonfjället?

2. Kunskapsöversikt

Klimatförändringarna förväntas bidra till en ökad frekvens av bränder i kalfjäll och i den boreala skogen (AMAP, 2021). Det varmare klimatet kan leda till en upptorkning av marken i de arktiska miljöerna vilket ökar risken för bränder ytterligare, samtidigt kan det leda till upptining av permafrost i marken vilket i sin tur kan återfukta marken och således reducera brandrisken (McCarty m.fl., 2021). En smältande permafrost kan också leda till högre avrinning och därav troligtvis mindre fuktig mark i längden (De Blij, Muller, Burt & Mason, 2013). Den ökade utbredningen av vegetation i subarktiska miljöer till följd av ett mildare klimat (Parker, Subke & Wookey, 2015) kan fungera som ytterligare bränsle för eld (McCarty m.fl., 2021). Studier visar även att bränder i subarktiska miljöer kan leda till en tillväxt av buskvegetation (Heim m.fl., 2021).

Flertalet studier har undersökt bränder på den pan-arktiska tundran (ex. Hu m.fl., 2015; He, Loboda, Chen & French, 2021; Masrur, Petrov & DeGroote, 2018) men det finns fortfarande osäkerheter kring vad som driver bränderna (He m.fl., 2021) och det saknas systematiska studier av brandregimer i de pan-arktiska kalfjällsområdena (Justino, Bromwich, Wilson, Silva, Avila-Diaz, Fernandez & Rodrigues, 2021; McCarty m.fl., 2021). Däremot kan man se att väder med höga temperaturer och torra förhållanden spelar en stor roll för dessa bränders utveckling (He m.fl., 2021). Det finns studier som undersöker konsekvenser av de ovanliga bränderna i Subarktis som upptining av permafrost (ex. Zhang m.fl., 2015) och intrång av buskvegetation (ex. Heim m.fl., 2021). Studier som har gjorts på borealt skogsbeklädda öar i Norrbottens län antyder att en ökad frekvens av skogsbränder i längden kan minska den metansänkande funktionen som den boreala skogen erbjuder (McNamara m.fl., 2015). Fortsättningsvis har Kelly m.fl. (2021) analyserat effekter av den största branden i Sverige sommaren 2018 som inträffade i Ljusdal. Resultaten indikerar att markandningen minskade markant där branden härjat med hög intensitet, vilket antyder att den kolsänkande effekten avtar. Samtidigt visar studien att effekten på markandning formas av platsens brandhistorik, där framför allt upprepade brandstörningar leder till att jorden successivt bryts ner, och därav på sikt lägre kolsänka (Kelly m.fl., 2021). Det finns begränsat med studier om bränders förekomst i den svenska fjällen ovan GFS.

Kalfjällsbränder och bränder i den intilliggande boreala regionen har generellt blivit vanligare och brandsäsongerna längre (McCarty m.fl., 2021). Studier visar på att ökningen av arktiska

och pan-arktiska bränder framför allt är till följd av klimatförändringar och ökat antal blixtnedslag (McCarty m.fl., 2021; Masrur m.fl., 2018). Tidigare forskning visar att vegetation på kalfjäll generellt har ökat de senaste fyra decennierna och är ett resultat av ett varmare klimat med längre somrar (AMAP, 2021). Samtidigt associeras den ökade tillväxten med fler och mer extrema bränder till följd av förändringar i bränsletillgången vilket också har ett direkt samband med rekordhöga temperaturer och rekordlåg nederbörd (Higuera m.fl., 2011). Fortsättningsvis kommer kalfjällsbränder och bränder i den intilliggande boreala regionen sammantaget att benämnas som skogsbränder i vår studie, bortsett från när de explicit särskiljs.

2.1 Förutsättningar för skogsbränder och styrande faktorer

Skogsbränder induceras huvudsakligen av blixtnedslag eller antropogena orsaker genom exempelvis olyckor, skogs- och jordbruk och kulturella bränningar. McCarty m.fl. (2021) beskriver att de styrande faktorerna för skogsbränder generellt är klimat och väderförhållanden som i sin tur påverkar brandbenägenhet, bränsle samt bränsleförhållanden. Säsongsmässiga variationer i klimat samt väderförhållanden inkluderar temperatur, luftfuktighet, nederbörd och vind, samt bränslemängd och markfuktförhållanden (McCarty m.fl., 2021). Även Granström inkluderar vindhastighet och bränslets fuktkvot som styrs av väderförhållanden som grundläggande faktorer för en brands beteende, men ser också bränslets sammansättning samt markens lutning som styrande faktorer (Granström, 2005). He m.fl. (2021) menar dock att bränslets sammansättning och platsens topografiska förhållanden spelar en mindre roll för bränderna.

2.2 Bränslets fukthalt och struktur

Bränslets fukthalt är central i brandens beteende och kan ses som den primära faktorn som avgör spridning av eld. Huvudsakligen berörs det översta skiktet på marktäcket, som också kallas finbränsle. Finbränslet antänds snabbast och en god brandspridning sker vid fukthalter mellan 10–15 %. Emellertid är gränsvärdet för att elden ska dö ut till följd av bränslets fukthalt kring 22–25 %. Samtidigt kan ytterst små skillnader i fukthalt få avgörande konsekvenser för bränder, noterbart är att fukthalten är heterogen med stora variationer såväl i rummet, som i tid (Granström, 2005).

Vid beräkningar av brandrisk tenderar modeller att förlita sig enbart på brandbenägna klimat och gynnsamma väderförhållanden (Walker m.fl., 2020). Fortsättningsvis betonar Walker m.fl., (2020) även hur vegetationens sammansättning samspelar med bränslets fukthalt och menar att

bränsleegenskaper är en viktig drivkraft för skogsbränder. Hansen och Räddningsverket (2003) lyfter mossa, buskar, gräs och träd som de främsta grupperna av bränsle i skogsmark. Samtidigt redogör Granström (2005) för hur de olika växtarterna skiljer sig åt i uppbyggnaden av materialet och ger därmed upphov till olika typer av bränslebäddar med varierande förutsättningar för att upprätthålla en brand. Viktigast är att det översta skiktet på marktäcket är luckert för en god syresättning och att det utgörs av mossa och/eller förna. Humuslagret beskrivs i stället som för kompakt samt oftast för fuktigt för att tillgodose en brand. Likaså hämmas en brand av rena barrbäddar som ligger allt för kompakt på ytan, eller av en lövförna som kväver mosskiktet genom att syretillförseln stryps (Granström, 2005).

Resultat från tidigare forskning påvisar att brändernas intensitet i högre grad drivs av bränsletillgänglighet än av brandbenäget väder (Walker m.fl., 2020). Granström (2005) beskriver att risväxter bland de levande växterna såsom kråkbär, lingon och ljung generellt är mer brandbenägna till följd av dess låga fukthalt, medan levande örter och gräs i stället har en så hög fukthalt att vegetationen är mer brandresistent. Emellertid poängteras att det är stora säsongsvariationer i fukthalten, framför allt avseende gräs. En betydelsefull faktor är huruvida och i vilken omfattning marken varit täckt av snö som pressat ner bränslebädden och därmed resulterar i en mer brandresistent förna. Fortsättningsvis skriver Granström att träd kan erbjuda omfattande mängder bränsle vid optimala förhållanden för brandspridning. Träd som bränsle är mer platsspecifikt knutet där avståndet mellan mark och kronskikt är avgörande för om elden når upp till kronskiktet. Fukthalten i bladen är också betydelsefull för brandspridning där lövträd har en mycket högre fukthalt jämfört med barrträd vilket i sin tur minskar risken för kronbrand (Granström, 2005).

2.3 Topografi och vind

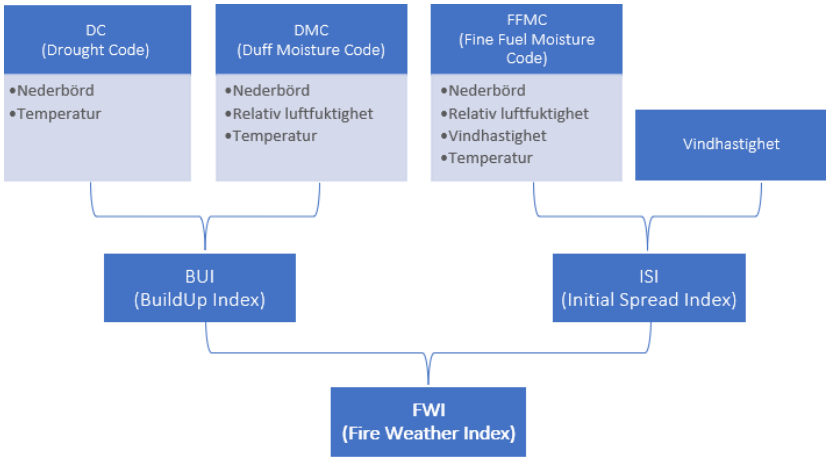
Vinden har en betydande effekt på brandbeteendet där även ett ytterst litet vinddrag kan öka spridningshastigheten i vindens riktning. Det är framför allt då eldslågan böjer sig över bränslet med vinden som resulterar i en snabbare uppvärmning av bränslebädden och frigör brännbara gaser, som leder till en högre intensitet i branden och längre flammor. Det är den marknära vinden, uppskattningsvis kring en meters höjd, som har en effekt på branden genom att direkt verka på eldslågorna. När branden når upp på högre höjder så kommer vindens inverkan vara större till följd av att vinden ökar med höjden. Skogsbeklädd mark fungerar vinddämpande där effekten är avhängig beståndets täthet och struktur, men kan ofta dämpa vinden med över 80 % jämfört med över öppen mark (Granström, 2005). De topografiska förhållandena har också en

ansenlig effekt på brandens utveckling och det återses starka samband mellan markens lutning och brandens spridningshastighet. Branden intensifieras och sprider sig snabbare uppför en sluttning jämfört med flacka ytor, och bromsas i stället in i terräng som lutar nedför (Granström, 2005).

2.4 Brandriskvärden och Fire Weather Index

Fire Weather Index (FWI) är ett kanadensiskt brandriskindex som berättar om en uppskattad brandrisk (MSB, 2022). FWI modellen används i flera studier för att undersöka platser och regioners risk för brand (Ellis, Bowman, Jain, Flannigan & Willamson, 2021; Jolly, Cochrane, Freeborn, Holden, Brown, Williamson & Bowman, 2015). FWI index är väl etablerat även i en svensk kontext och ingår bland annat i SMHI:s metod för att ta fram information om brandrisker och har använts hos MSB operationellt sedan drygt två decennier tillbaka (MSB, 2020). Samtidigt visar tidigare forskning att FWI med fördel kan kompletteras genom att ta hänsyn till vegetationens sammansättning, eftersom detta också anses påverka brandens förutsättningar (Walker m.fl., 2020).

Modellen (se Figur 1) bygger på beräkningar av fuktkvoten i bränslet på markytan, Fine Fuel Moisture Code (FFMC), i moss- och övre delen av humuslagret, Duff Moisture Code (DMC), samt i det tjockare humuslagret, Drought Code (DC), och baseras på dygnsdata från föregående dygn över: nederbörd, relativ luftfuktighet, vindhastighet samt temperatur. Initial Spread Index (ISI) avser ett relativt mått på brändernas spridningshastighet och tar hänsyn till aktuellt dygns vindhastighet och FFMC. BuildUp Index (BUI) som indikerar bränsletillgång baseras på ett viktat medelvärde av DC och DMC. Tillsammans genererar ISI och BUI brandriskvärdet FWI som representerar en uppskattad brandintensitet (MSB, 2022).



Figur 1. Flödesschema över beräkning av FWI. Källa: MSB (2022)

Figure 1. Flow chart for calculation of FWI. Source: MSB (2022)

Vidare finns det en omklassning av FWI till en svensk kontext (se Tabell 1) som klassificerar index utefter hur stor brandrisken bedöms vara (MSB, 2022).

Tabell 1. Svensk översättning av FWI brandriskvärde till brandriskindex. Ett högre värde indikerar större brandrisk. Källa: MSB (2022)

Table 1. Swedish translation of FWI fire risk values to fire risk index. A higher value indicates a greater risk of fire. Source: MSB (2022)

FWI-index	FWI Brandriskvärde
1. Mycket liten brandrisk	<5
2. Liten brandrisk	6–11
3. Måttlig brandrisk	12–16
4. Stor brandrisk	17–21
5. Mycket stor brandrisk	22–27
5E. Extremt stor brandrisk	>28

2.5 Brandregim

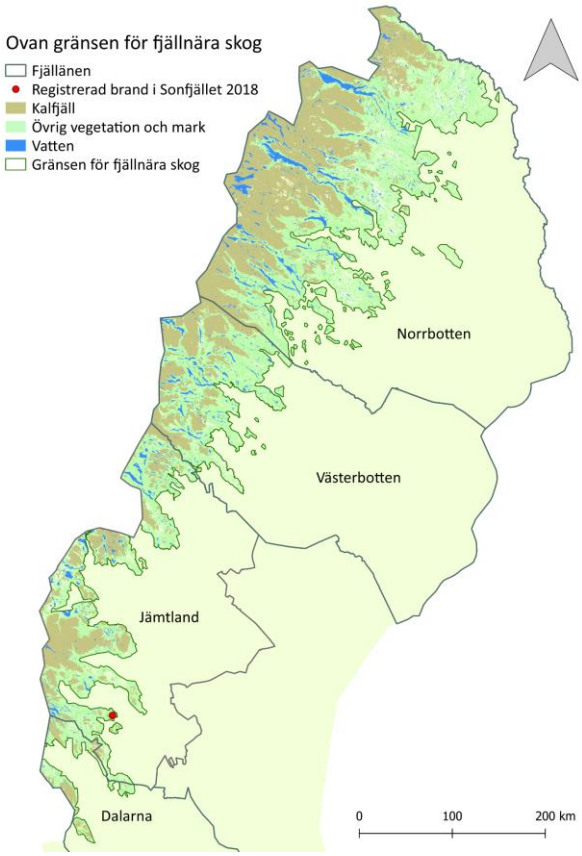
Brandregimen beskriver brandbeteendet på en given plats, dess förekomst och påverkan över tid och rum genom att se till dess egenskaper såsom; frekvens, brandorsak, storlek, säsong och bränd areal per år, typ av eld samt intensitet (McCarty m.fl., 2021; Hanes, Wang, Jain, Parisien, Little & Flannigan, 2019). Det är denna definition av brandregim som används i vår studie.

3. Studieområde

3.1 Fjäll och gränsen för fjällnära skog

Fjäll är enligt botanisk mening höga berg som saknar träd på toppen (kalfjäll) och som har ett utbrett bälte av mångsidig trädväxt. Eftersom denna gräns är dynamisk och kan förflyttas över tid handlar fjällens historia till stor del om denna trädgräns (Kullman, 2016).

GFS har en administrativ gräns framtagen av Skogsstyrelsen, se Figur 2, som till stor del sammanfaller med barrskogsgränsen och den sammanhängande produktiva skogen (SLU, 2021). Området ovan gränsen utgörs av fjällänen Norrbottens län som står för 59% av studieområdet, följt av Jämtlands län, 20%, Västerbottens län, 18%, samt Dalarnas län, 3%. Utbredningen av den fjällnära skogen definieras i förordningen (SKSFS 1991:3) om gränserna för fjällnära skog och är dynamisk och sträcker sig genom alla fyra förenämnda län, men är huvudsakligen koncentrerad väster om den administrativa gränsen.



Figur 2. Fjällänen i studieområdet ovan GFS. Källor: © Lantmäteriet, Skogsstyrelsen, registrerad brand från MSB databas (2021)

Figure 2. The mountainous counties in the study area above the mountainous forest land border. Sources: © Lantmäteriet, Skogsstyrelsen and registered fire from MSB databas (2021)

Den geografiska skogsgränsen formas vanligen av topografiska faktorer, vind och snötäcke. Altituden återspeglar olika gynnsamma växtförhållanden som avtar med höjden och som därmed skiljer sig platser emellan i terrängen och skogsgränsen bildar normalt en diffus övergångszon och gräns (Kullman, 2016).

3.2 Geologi, klimat och väder

Bergskedjan Skanderna sträcker sig 170 mil nedifrån den norska Skagerakkusten i syd, upp till Nordkap i norr (SLU, 2021). Fjällkedjan har ett starkt inflytande på landskapet och området. Temperaturen på den regionala skalan styrs framför allt av latitud, altitud och avstånd till havet (Bogren, Gustavsson, & Loman, 2008). Fjällregionen spänner sig från den nordligaste latituden 69° 18' 11.31" till den sydligaste latituden 60° 19' 27.61" (Naturvårdsverket, 2022), där man ser en temperaturgradient om ca 1,0°C per breddgrad. Höjden över havet reglerar temperaturen med en markant minskning med ökad höjd, i synnerhet under sommarmånaderna. Området som påverkas mest av närheten till havet är framför allt de västra delarna av fjällkedjan (Bogren m.fl., 2008).

Den fjällnära regionen har i stora delar ett subarktiskt klimat som enligt Köppen-Geiger klassificeras som ett vinterfuktigt kallt klimat (Dfc) med en dominerande kontinental polarluftmassa (cP) som är kall och torr. Vad som karaktäriserar denna klimattyp är en påtaglig årstidsväxling med en bred amplitud av temperaturen. Västvindarna, lågtryck och fronter har en stor påverkan på klimatet som för med sig varm och fuktig luft vilket ger upphov till ett ostadigt väder som kännetecknas av att fluktuera såväl emellan dagar som år. En rik nederbörd, som främst är frontal, från polarfronten och i viss mån arktikfronten, ger ett vattenöverskott under hela året men framför allt under sommarmånaderna. Fjällkedjan präglas av ett tundraklimat (ET). Tundraklimatet kännetecknas av en avsaknad av egentlig sommar med låg mängd nederbörd som huvudsakligen faller som snö. Snötäcket ligger på marken i snitt mer än 240 dagar om året. Däremot är evaporationen låg och vid snösmältning avges stora mängder vatten (Bogren m.fl., 2008). Samtidigt formar även slutna skogsbestånd ett eget klimat, oavhängig det regionala temperaturklimatet (Kullman, 2016)

3.3 Vegetation och markanvändning

GFS löper genom bältet av den nordligt boreala vegetationszonen som består av fjällbarrskog som gradvis övergår från produktiv skogsmark till fjäll (Hedenås, Christensen, & Svensson, 2016). Bestånden av barrträd i skogsmarken är främst gruppställda och bildar sällan slutna bestånd (SLU, 2021). Varje enskild trädart har en egen gräns där de har förutsättningar att växa på. Dessa är på varierande avstånd altitudinellt och därav kan begreppet skogsgräns tyckas vara för generaliserat, det förespråkas att i stället tala om trädgräns. Det är fjällbjörk som sträcker

sig högst upp över lag och är den trädart som möter kalfjället, följt av gran och därpå av tall (Kullman, 2016).

Ovanför den fjällnära skogen finns huvudsakligen tre vegetationszoner; den lågalpina, mellanalpina och högalpina vegetationszonen. Den lågalpina zonen tar vid där björkträdgränsen slutar och breder ut sig omkring 300–400 m över kalfjället, zonen är den mest framträdande av de tre vegetationszonerna i relation till dess storlek. Växttäcket är tätt och de nedre delarna av bältet består huvudsakligen av rishedar, videsnår, snölegor och myrmarker. Vindblottor, krön och ryggar som är starkt utsatta för vind, har en sparsam växtlighet av bland annat. krypljung, fjällgröna och fjällsippa. Gränsen där den lågalpina zonen slutar kantas generellt av blåbärsris och örter som skogsstjärna, gullris och fjällkåpa (Kullman, 2016). Den mellanalpina vegetationszonen är 200–300 m i höjdled (Nilsson & Sandberg, 1982) och här täcks inte marken helt av ett växttäcke och myrvegetation, till skillnad från den lågalpina zonen. Här finns det gott om stråväxter och en del lågvuxna risväxter, även om förekomsten av dessa risväxter minskar med fjällets höjd. Med höjden tilltar även snölegor (snötäckta ytor som smälter sent), tunna jordar, blockmarker och områden med jordflytning som fungerar som ett hinder för växtligheten att fortsätta upp mot fjällets topp. Där växtligheten av lingon slutar ses som slutgränsen för den mellanalpina zonen. Den högalpina vegetationszonen präglas av ett landskap med frostsprängda stenblock, snölegor och glaciärer. Vegetationen är sparsam och några få arter av kärlväxter kan förekomma, tillsammans med goda mängder mossor och lav i de lägre delarna av den högalpina zonen (Kullman, 2016).

Marktäcket ovan GFS utgörs till arealen av 48% kalfjäll, 37% skogsmark och 15% träd och buskmark som ligger utanför den sammanhängande skogsmarken, och drygt hälften av arealen av skogsmark är formellt skyddad. Det finns stora regionala skillnader i vegetationen, inte bara i vegetationszonsindelningen i höjdled, utan även utifrån latitud. Lövskog är den vanligast förekommande vegetationstypen i alla län ovan GFS men andelen tilltar generellt med ökad latitud. Den tydligaste skillnaden mellan länen är att tallskogen generellt sätt är obefintlig i den del av Västerbotten som ligger ovan GFS, andel granskog är mest sparsam i Norrbotten, och mängden lövskog är minst i de sydligare länen Jämtland och Dalarna. Mängden av blandskog är ringa och återses över lag inte i de fyra fjällänen (SLU, 2021).

Norra Sverige präglas av stora avstånd och gles befolkning, det är främst i städerna vid Bottenvikskusten som koncentrationen av befolkningen finns (Region Norrbotten, 2019).

Hela området ovan GFS ligger i Sápmi, samernas land (Samer, u.å.), och består huvudsakligen (99,6 %) av renskötselområde (Átjje, 2014). Renen rör sig gärna i den högalpina vegetationszonen under sommartid och påverkar troligtvis den sparsamma vegetationen genom bete och nedtrampning (Kullman, 2016). Även om renen har varit en stor del av det samiska kulturlandskapet under lång tid, kan kulturlandskapen skilja sig åt i utseende mellan olika samiska grupper då samer även historiskt har varit fiskare, jordbrukare, hantverkare med mera (Samiska landskap, 2022).

Mängden kontinuitetsskogar ovan GFS talar för storskalig orördhet i markanvändning som ett resultat av otillgänglighet och en låg produktionshastighet (SLU, 2021). Dessa skogar är särskilt viktiga för rennäringen, renskötseln och den samiska kulturen (Henriksson & Olsson, 2020). Ovan GFS återfinns omkring tre miljoner hektar skogsmark. Strax under 40 % av denna skog består av produktiv skogsmark, varav den största arealen finns i Norrbotten (SLU, 2021). Av Sveriges trettio nationalparker återfinns tio av dem ovan GFS (Sveriges nationalparker, u.å.). Av dessa nationalparker var Abisko den mest besökta 2015–2016, följt av Sarek, Fulufjället och Sonfjället (Naturvårdsverket, 2017).

3.4 Sonfjället

Sonfjället når 1278 meter över havet och är delvis klädd i lavrika fjällhedar (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018). Området tillhör Mittådalen sameby (Sametinget, 2021) och Sonfjället används kontinuerligt som en plats för återsamling av renar i april men även som reservbete under vintern. Sonfjället karaktäriseras av sina väl bevarade system av skvalrännor (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018), som är en svagt lutande erosionsränna orsakad av smältvatten (“Skvalränna”, u.å.). De skogsklädda sluttningarna består av gran och tallskog men även viss del blandskog. Marktäcket strax nedanför fjällets sluttning domineras av risvegetation som ljung och blåbär med ett bottenskikt av renlav. Det finns ett par mindre tjärn nedanför fjället men området präglas generellt av små mängder nederbörd och är snötäckt omkring halva året (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018). Utöver en mindre brand á 10 m^2 på Sonfjället 2016 orsakad av lägereld (MSB databas, 2021), kan man se äldre tecken på brand i tallskogen som uppskattas ha skett för omkring 200 år sedan (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018). De urskogsartade miljöerna har höga naturvärden och det är ovanligt med bränder i den fjällnära skogen här. Samtidigt finns det hotade arter i Jämtlands taiga som är beroende av brandförekomst för att kunna fortleva (Länsstyrelsen Jämtlands län, 2018).

Under sommaren 2018 drabbades ett skogsområde i Sonfjällets nationalpark av brand orsakad av blixtnedslag, arealen av branden blev enligt MSB:s databas ca 400 ha stor (MSB databas, 2021). Branden pågick mellan 16–19 juli och tog plats i skogsmarkerna vid Sonfjället och Stor-Ryvålen som ligger beläget öster om högfjällsmassivet Sonfjällets fot. Terrängen beskrivs som svårframkomlig och karaktäriseras av en ravin som delar brandområdet i två delar. Skog i varierande åldrar drabbades men framför allt brandhärjades äldre skog, enligt händelserapport från Räddningstjänsten i Jämtlands län som loggade brandens händelseförlopp på plats under 16–19 juli (Räddningstjänsten, 2018).

4. Metod och material

4.1 Metodval

Metoden utgår huvudsakligen från fjärranalys av satellitbilder samt bearbetning av geografiska data från Lantmäteriet i QGIS 3.20.1. Data från MSB:s databas över registrerade bränder i fjällänen 1998–2020 och FWI data från SMHI är grundpelare i studiens material.

Fjärranalys är en tidseffektiv och överskådlig metod för att identifiera bränder och brandeffekter i retrospektiv (McCarty m.fl., 2021; Eidenshink m.fl., 2007; Key & Benson, 2005; Withman m.fl., 2015), och ansågs vara lämpligt för att undersöka det branddrabbade området vid Sonfjället. Med satellitdata vill vi besvara frågeställningen "Hur såg brandintensiteten och förutsättningarna ut för branden vid Sonfjället 2018?". Genom att se till de temporala skillnaderna i den spektrala reflektansen i vegetationen före- och efter en brand går det att urskönja hur vegetationen har och fortsätter påverkas efter bränder (Nolè, Rita, Floriana & Borghetti, 2022). Således lämpar sig även fjärranalys för att undersöka frågeställningen "I vilken mån har det skett tillväxt av vegetation inom det branddrabbade området vid Sonfjället?" genom att ta fram en tidsserie av bilder över platsen och följa den spektrala reflektansens utveckling efter branden.

Förutsättningarna för branden vid Sonfjället kan estimeras genom att se till vegetationstyp och topografi över platsen i GIS, samt sammanställa brandriskvärden och mått på brandriskindex (FWI) över tid i Excel. Rapporten "Brandsommaren 2018 - Vad hände, och varför?" (MSB, 2020) ger en närmare beskrivning av orsakssamband för några av de allvarligaste bränderna under sommaren 2018 och har varit en inspirationskälla för metodvalet. Att kombinera brandriskindex med fjärranalys menar vi kan vara kompletterande eftersom FWI är ett teoretiskt mått baserat på analysdata från väderobservationer samt uppskattade värden av fuktkvot i marken (MSB, 2022), medan fjärranalys kan visa på en konkret rumslig utbredning av den faktiska branden. Eftersom branden inte är homogen i landskapet utan beter sig olika beroende på exempelvis bränsletillgång, topografi och väder (Fassnacht, Schmidt-Riese, Kattenborn & Hernández, 2021) anses kombinationen av de två metoderna ge ett mer fullständigt resultat som kan beskriva brandens förutsättningar. Genom att använda båda metoderna, så kan den faktiska brandens intensitet genom fjärranalys i viss mån bekräfta FWI, samtidigt som FWI kan ge en möjlig förklaring till brandens intensitet och utbredning genom att bidra med information om väder-, vind-, och fuktförhållanden innan och under brandens skede.

4.2. Data, insamling och urval

4.2.1 MSB databas över registrerade bränder

För att besvara frågeställningen "Hur har brandregimer sett ut ovan gränsen för fjällnära skog i Sverige mellan 1998 och 2020?" utgår studien från en databas tillhandahållen av MSB över registrerade bränder 1998 till 2020. Databasen är utformad i Excelformat och består av räddningstjänstens registrerade bränder i Sveriges fjällän. Totalt redovisas 15 076 registrerade bränder med tillhörande koordinater och berättar om; brandorsak, datum, län, kommun samt areal av mark som brunnit i kategorierna *produktiv skogsmark*, *annan trädbevuxen mark* samt *mark utan träd*. Ovan GFS återfinns 210 registrerade bränder (MSB databas, 2021). Datakälla är räddningstjänsten som har gjort bedömningar av brandtillfällen (J. Ekberg personlig kommunikation, 17 december 2021).

4.2.2 Satellitbilder från Sentinel-2

Satellitbilder från Sentinel-2:s multispektrala instrument (MSI) användes för att genomföra fjärranalyser i studien, i syfte att identifiera det branddrabbade området vid Sonfjället samt studera vegetationens tillväxt efter brand. Sentinel-2 tillhör den europeiska rymdorganisationens (ESA) uppdrag Copernicus (ESA, 2015), och data tillhandahålls via Copernicus nedladdningstjänst Copernicus Open Access Hub (Copernicus, u.å). Här går det att ladda ner satellitbilder inklusive Level-2 data, som är atmosfäriskt korrigerade (ESA, 2015). Atmosfärisk korrigerade bilder innebär att reflektansen erhålls vid jordytan i stället för ovan atmosfären och erbjuder därmed en klarare bild (ESA, u.å.). Sentinel-2 har tretton våglängder över den synliga till den infraröda delen av det elektromagnetiska spektrumet, och har pixelstorlekar av 10, 20 och 60 m beroende på våglängden. I studien används band 8 (Nära infraröd, 842 nm) med 10 m pixelstorlek samt band 12 (Kortvågig infraröd, 2190 nm) med 20 m pixelstorlek (ESA, 2015). Bilder som används i studien och som tillhandahålls från Sentinel-2 är insamlade från datumen 2 juli 2018, 27 juli 2019, 17 augusti 2020 och 28 augusti 2021.

4.2.3 Geografisk data i GIS och FWI

Gränsen för fjällnära skog är digitaliserad och framtagen av Skogsstyrelsen utifrån koordinater från förordningen (SKSFS 1991:3) om gränserna för fjällnära skog, fastighetskartan och historiskt kartmaterial, och uppdaterades 2018 för att utöka lägesnoggrannheten. Skogsvårdslagstiftningen reglerar användning av marken och fastställer området vilket definieras i samma förordning. FWI data samlas in per dygn och kommer från tjänsten

Brandrisk i skog och mark som tillhandahålls av SMHI på uppdrag av MSB (MSB, 2021), och data som används gäller för juli och augusti 2018. Den meteorologiska data som ligger till grund för FWI är analysdata från SMHI:s mesoskaliga analyssystem Mesan. Analysdata är baserad på väderobservationer och är heltäckande för Sverige och levereras en gång per år från SMHI med en rumslig upplösning á 2,8 km x 2,8 km (MSB, 2022). Höjddata som används för att se till områdets topografi och markens lutning är GSD-Höjddata, grid 2+ från Lantmäteriet. Data gäller för 2010 och är en terrängmodell (DTM) i gridform med en pixelupplösning på 2 m, som är producerad från LiDAR data (Lantmäteriet, 2020). Översiktskartan från Lantmäteriet används för att se till utbredning av kalfjäll, fjällvegetation, hydrografi och administrativa länsgränser (Lantmäteriet, u.å.).

Tabell 2. Översikt av inhämtade geografiska data som används i studien.
Table 2. Summary of gathered geographic data used in the study.

Data	Källa	Upplösning	Datum
Gränsen för fjällnära skog	Skogsstyrelsen	-	2018
Höjddata	Lantmäteriet	Grid 2+	2010
FWI	SMHI	2,8 km x 2,8 km	2018-07-01-2018-08-31
Kalfjäll	Lantmäteriet	Minsta yta 6 ha	-
Fjällvegetation Jämtland	Lantmäteriet	-	2012
Vattenyta	Lantmäteriet	-	2013
Länsindelning	Lantmäteriet	-	-

4.3 Bearbetning

4.3.1 Analys av databasen

För att utreda brandregimer ovan gränsen för fjällnära skog mellan 1998 till 2020 användes MSB:s databas över registrerade bränder och information om brändernas frekvens, storlek, brandorsak, säsong och bränd areal per år analyserades. Först importerades koordinaterna från Exceldatabasen till QGIS och uppenbart felaktiga koordinater som låg över exempelvis hav eller andra länder togs bort, totalt 89. De koordinater som föll inom skiktet för GFS extraherades. Därefter användes skikt över fjällänen samt kalfjäll, för att generalisera brändernas rumslighet och därmed kunna se till förhållandet mellan brandfrekvens, areal bränd mark per år, säsong, latitud och vegetation. Brändernas frekvens, utbredning och säsongsvariationer bearbetades genom att plotta ut information från databasen i diagram. För att se till andel bränd mark över tid per län inom studieområdet dividerades den totala arealen

bränd mark med ytan för varje län som ligger ovan GFS. Brandorsaker analyserades som helhet och gav information om frekvens av brandorsaker. Informationen sammanställdes i diagram och tabeller. Diagram och tabeller används för att enkelt bearbeta och komprimera större mängd kvantitativa data för att hantera information som i text riskerar att bli svår att tolka.

Vid analys av brandorsak kategoriserades alla databasens brandorsaker ovan GFS till tre kategorier; *antropogen*, *blixtnedslag* och *okänd*. För att sammanställa dessa tre kategorier slogs likartade brandorsaker ihop inom kategorierna *antropogen* samt o*känd* (se Tabell 3), medan kategorin *blixtnedslag* endast innefattar bränder orsakade av blixt. Klassindelningar resoneras vara lämpligt för att förse liknande brandorsaker med samma beteckning.

Tabell 3. Översikt av klassificering av brandorsaker. Källa: MSB databas (2021)
Table 3. Summary of the classification of fire ignition causes. Source: MSB databas (2021)

Antropogen	Okänd	Blixtnedslag
Barns lek med eld	Okänd	Blixtnedslag
Avsiktlig brand	Annan eldning	
Grillning eller lägereld	Annan	
Heta arbeten	Självantändning - biologisk eller kemisk	
Rökning		
Tågbromsning		
Övriga gnistor		

Orsaksbeskrivning *återantändning av brand från tidigare räddningsinsats* i databasen klassificeras som antingen *blixtnedslag* eller *okänd*. Hänsyn togs till orsaken till den brand som var registrerad i anslutning till branden i samma område (dagen innan eller två dagar innan), eftersom vi vill fokusera på brändernas ursprungliga antändningsorsak.

4.3.2 Brandens intensitet och utbredning vid Sonfjället

De spektrala banden i satellitbilder mäter reflektans från objekt på jordytan där reflektansen beror på objektens egenskaper som marktäckestyp, vatteninnehåll, vegetationstruktur, och vegetationshälsa. När värden från flera spektrala våglängder kombineras i matematiska algoritmer går det att utröna isolerad information om dessa värden som i sin tur kan analyseras (Key & Benson, 2006). För att undersöka intensiteten och utbredningen av branden vid Sonfjället beräknades Normalized Burn Ratio (NBR) och differenced Normalized Burn Ratio (dNBR) med fjärranalys. NBR är ett index som visar en brands intensitet och redovisar hur den

på ett heterogent sätt breder ut sig i rummet. Intensitet innebär i det här fallet magnituden av ekologisk förändring som orsakats av eld, med fokus på den dominanta vegetationen i studieområdet (Key & Benson, 2006). NBR tas fram genom en formula (se beskrivning i sektionen nedan) där reflektans från de nära infraröda (NIR) och kortvågiga infraröda (SWIR) banden används. NBR indexet är känsligt för brandstörningar, därför kan branddrabbade områden upptäckas eftersom marken avger en minskad NIR och högre SWIR reflektans efter en brand. Samtidigt antyder en ökad NIR och en minskad SWIR reflektans att vegetationens täckning på marken har ökat, vilket kan ske efter branden (Nolè m.fl., 2022).

Satellitbilder valdes ut som var så nära brandens startdatum (2018-07-16) och slutdatum (2018-07-19) som möjligt, med hänsyn till att molntäckningen behövde vara minimal över brandområdet för att kunna analysera brandens effekt på marken. Pixelstorleken på band 12 omsamplades från 20 m/pixel till 10 m/pixel för att banden ska ha samma upplösning som band 8, för att kunna genomföra vidare analys. Därefter maskerades uppenbara vattenytor i nära anslutning till brandkoordinaten eftersom det inte finns vegetation i vattnet som kan ha brunnit. Sedan genomfördes NBR med band 8 och band 12 för satellitbilderna före samt efter branden (se ekvation 1). För att isolera de brända områdena från de obrända samt att få ett kvantitativt mått av förändringen beräknades skillnaden mellan en NBR-bild före brandtillfället med en NBR-bild efter brandtillfället, man får då fram dNBR (Key & Benson, 2006), se ekvation 2.

$$NBR = \frac{(\mathrm{NIR} - \mathrm{SWIR})}{(\mathrm{NIR} + \mathrm{SWIR})}$$

(Ekv. *1*)

$$dNBR = NBR_{\text{före brand}} - NBR_{\text{efter brand}}$$

(Ekv. *2*)

Därefter klassificerades dNBR enligt Key och Bensons (2006) för att utröna hur intensivt det har brunnit i vegetationen samt för att se till vegetationens eventuella tillväxt (se Tabell 5) (Key & Bensons, 2006).

Tabell 5. Klassificering av dNBR enligt Key och Benson (2006)

Table 5. Classification of dNBR according to Key and Benson (2006)

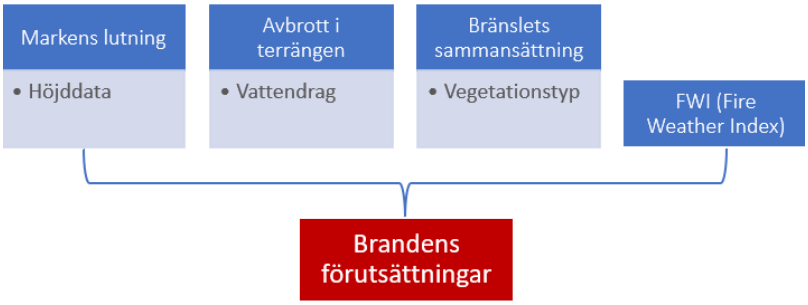
Intensitetsnivå	dNBR klassificering
Förhöjd tillväxt (hög)	-0,5 till -0,251
Förhöjd tillväxt (låg)	-0,25 till -0,101
Obränd	-0,1 till 0,099
Låg intensitet	0,1 till 0,269
Måttlig låg intensitet	0,27 till 0,439
Måttlig hög intensitet	0,44 till 0,659
Hög intensitet	0,66 till 1,3

4.3.3 Förutsättningar för branden vid Sonfjället

Markens lutning, avbrott i terrängen såsom vattendrag, bränslets sammansättning och FWI kan sammantaget ge information om förutsättningarna för bränder och förklara brandens beteende (Granström, 2005). Data för detta vid Sonfjället analyserades och bearbetades i GIS och Excel (se Figur 3). För att ta reda på bränslets sammansättning för brand användes skiktet fjällvegetation från Lantmäteriet som ger information om vegetationstyp, vilket återger en mer detaljerad beskrivning av sammansättningen av arter, där olika arter är mer eller mindre brandbenägna. För att beräkna hur brandens intensitet sammanfaller med vegetationstyp för varje cellvärde inom de branddrabbade områdena användes verktyget Zonstatistik för att inhämta värden ur dNBR rastret (Documentation QGIS 2.18, u.å.). Höjddata bearbetades med verktygen Lutning och Lutningsriktning för att se till markens höjd, lutning och väderstreck. Resultatet studerades därefter okulärt för att analysera hur topografin kan ha påverkat brandens utbredning.

Data över FWI, från SMHI:s tjänst *Brandrisk i skog och mark*, importerades från Excel till QGIS för att tydligare se den rumsliga fördelningen av data som bestod av tio beräkningspunkter inom 20 km från koordinaten där branden vid Sonfjället registrerats. Därefter exporterades beräkningspunkten som låg närmast det branddrabbade området till Excel för att generera ett diagram över FWI brandriskvärden under juli och augusti månad med fokus på datumen 16–19 juli då branden pågick. Eftersom det branddrabbade området ligger cirka 2,6 km från den närmaste beräkningspunkten som har en upplösning på 2,8 x 2,8 km (MSB, 2022), resonerades det att denna beräkningspunkt var tillräcklig för att undersöka FWI

för branden. FWI brandriskvärden avrundades till heltal för att överensstämma med klassificeringarna av FWI-indexet. Vindens riktning för de dagar som branden härjade togs också ut och beaktades vid analys av resultat.



Figur 3. Flödesschema över faktorer som undersöks för att se till brandens förutsättningar.
Figure 3. Flow chart of the factors examined to investigate the conditional drivers of the fire.

4.3.4 Tillväxt av vegetation efter branden vid Sonfjället

Satellitbilder över Sonfjället ett, två samt tre år efter brandtillfället användes för att generera dNBR för att se till eventuell tillväxt av vegetation inom det branddrabbade området. En reflektans med högre NIR och mindre SWIR efter ett brandtillfälle antyder att fotosyntetisk aktivitet i vegetationen har ökat (Nolè m.fl., 2022). DNBR beräknades i QGIS med hjälp av Rasterkalkylator mellan satellitbild för 2018 (året för branden) och 2019, mellan 2018 och 2020 samt mellan 2018 och 2021. Key och Bensons (2006) klassificering av dNBR användes även denna gång för att undersöka de två indexkategorierna *förhöjd tillväxt (hög)* samt *förhöjd tillväxt (låg)*. Därefter klipptes de tre dNBR bilderna utefter det branddrabbade området i Sonfjället för att kunna kalkylera hur många rasterceller av varje indexkategori som fanns inom området per år. Sedan multiplicerades antal pixlar per år med 100 för att få fram den sammanlagda arean i m^2, då en rastercell motsvarar 10 m x 10 m.

4.4 Metoddiskussion

Validiteten i databasen är bristfällig vilket framför allt avser koordinaterna, dels med ett visst bortfall av koordinater, dels på grund av systematiska fel i indata som delvis har bidragit till att vissa koordinaters exakta plats inte stämmer. Till följd av detta generaliserar vi brändernas lokalisering länsvis för att till viss del ta vara på koordinaternas rumslighet, enskilda koordinater tas ej hänsyn till såvida de inte kan bekräftas genom exempelvis fjärranalys. Ett undantag görs för de koordinater som faller inom skiktet över kalfjäll då detta bedömdes vara det enda sättet att ta hänsyn till kalfjällsbränder utifrån databasen och då det var svårt att hitta molnfria

satellitbilder över dessa områden. Det stora antalet av kategoriseringen *okänd* som brandorsak gör det svårt att veta vad den ursprungliga antändningsorsaken var, vilket kan betyda att det kan ha skett fler bränder av *antropogena* orsaker såväl som av *blixtnedslag* än vad som redovisas i resultatet. En fortsatt beskrivning av databasens begränsningar ges i bilaga 1. Sammantaget anses databasen ändå vara värdefull och användbar för denna studie då beräkningar och analyser inte nödvändigtvis är beroende av exakta koordinater. Valet grundade sig i att det är en omfattande databas med information om de registrerade brändernas karaktärer vilket kan användas för att undersöka brandregimer (McCarty m.fl., 2021; Kasischke & Turetsky, 2006). Samtidigt verkar det inte finnas annan motsvarande data över brandförekomster inom studieområdet. Däremot innefattar inte databasen information om intensitet eller typ av brand, vilket också anses vara relevant för att undersöka en brandregim (McCarty m.fl., 2021).

Till följd av validitetsproblematiken i databasen samt hög molnkontaminering i satellitbilder var det svårt att närmare identifiera bränder som förekommit på kalfjäll, vilket skulle vara nödvändigt för att få en större förståelse för brandregimer i kalfjällsmiljö. Noterbart är även att den minsta redovisningsytan för kalfjäll är sex hektar i dataskiktet som används för kalfjäll. Detta kan innebära att registrerade bränder ovan GFS kan behandlas som att de är utanför kalfjäll i vår studie, även om de kanske inte är det i verkligheten.

Det togs ett aktivt beslut om att klassificera bränder som återantändes till följd av blixtnedslag som orsakade av *blixtnedslag* eftersom vårt fokus ligger på den ursprungliga antändningsorsaken. Detta blir en subjektiv tolkning av databasens information. Det bör uppmärksammas att resultatet ska tolkas som antal bränder orsakade av blixtnedslag och inte nödvändigtvis som antal blixtnedslag som har orsakat bränder.

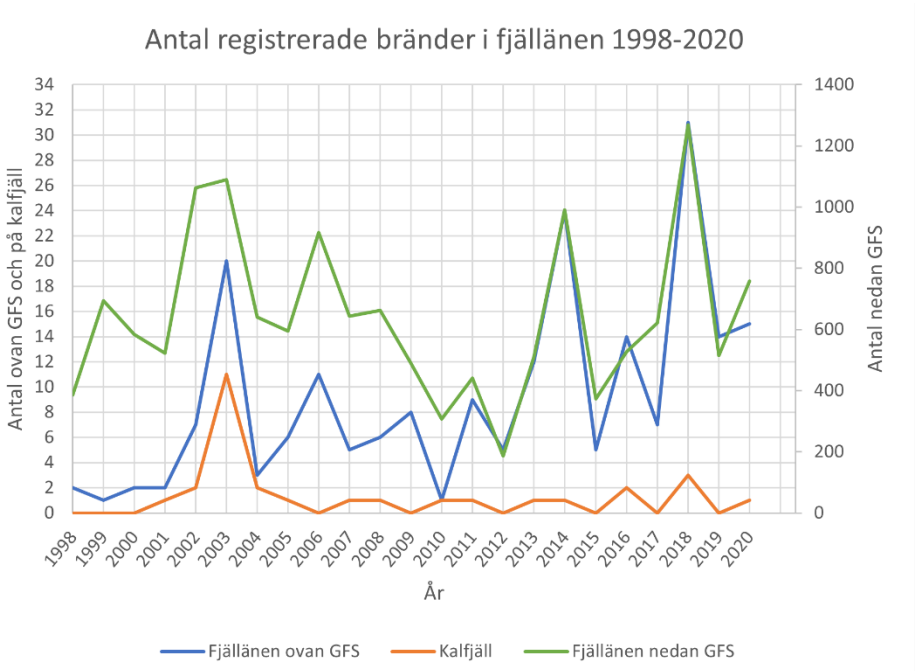
Klassificeringen av dNBR som används i studien fokuserar på bränd vegetation och följer Key och Bensons (2006) kategoriseringsexempel. Däremot lyfter de att klassificeringarna är flexibla och belyser vikten av att bland annat anpassa klassificering efter vegetationen i det branddrabbade området, för att få en metod som är designad utefter den lokala kontexten (Key & Benson, 2006). Kategoriseringsexemplet motiverades vara ett bra alternativ för studien då vi inte hade möjlighet att besöka Sonfjället i fält för att samla in information om vegetationen. Vidare hade det varit bra att titta på satellitbilderna i falska färger för att med ännu en metod styrka brandens utbredning (Key & Benson, 2006).

Avseende indata i FWI modellen och återgivning av de faktiska förhållandena vid brandtillfället så bör det beaktas att indata baseras på uppskattade värden för den specifika platsen. Den rumsliga upplösningen är 2,8 km x 2,8 km och kan innebära att lokalskaliga fenomen som är mindre än detta kan vara svåra att uppmärksamma, samt om det rör sig om fenomen med liten tidsskala exempelvis konvektiv nederbörd som sommarskurar (Stefan Andersson, Meteorolog/Handläggare naturolyckor - skogsbrand, personlig kommunikation, 26 april 2020). Gällande data över fuktkvot i marken så ska denna tolkas som en indikation, dels då den inte är baserad på faktiska mått i marken utan en uppskattning, dels då fukthalten skiljer sig åt både på djupet och över tid (Granström, 2005). Walker m.fl. (2020) lyfter även hur jordmånstyp kan vara en viktig styrande faktor för brandspridning då avrinningen skiljer sig jordmån emellan samtidigt som de kan erhålla olika mängder vatten. FWI data tar däremot inte hänsyn till jordmånstyp. Data från SMHI som används i FWI modellen är inhämtad vid tio meters höjd (MSB, 2022) vilket därmed inte återger en fullkomlig återspegling av vindförhållanden i relation till brandspridning. Det är framför allt den marknära vinden, uppskattningsvis på en meters höjd, som har en effekt på branden. Samtidigt anses SMHI data ge en god uppskattning och kan representera den marknära vinden vid beräkning av FWI (Granström, 2005). Vidare utgår vi i studien från dygnsmodellen som samlar in data och sammanställer FWI per dygn. Ett alternativ hade varit att använda timmodellen i stället som tydligare skildrar brandriskvärdens variationer under ett dygn, i stället för ett sammanslaget värde per dygn som med dygnsmodellen. Däremot är timmodellen inte lika bra på att redovisa uttorkning i marken som dygnsmodellen och innebär en väldigt mycket större mängd data att behandla (MSB, 2022).

5. Resultat

5.1 Brandregimer ovan GFS 1998–2020

Resultatet i studien antyder en ökning av antal registrerade bränder i fjällänen ovan GFS under den undersökta tidsperioden 1998–2020 (se Figur 4). Antal registreringar ovan GFS sticker ut år 2003 med 20 bränder, år 2014 med 24 bränder och 2018 med 31 bränder. Antal registrerade bränder åren emellan dessa toppar har fluktuerat mellan en brand upp till fjorton bränder per år. Kalfjällsbränder är generellt få i antal och rör sig inom ett spann mellan noll och tre bränder per år, däremot sticker år 2003 ut med elva registrerade bränder på kalfjäll. Totalt har 29 kalfjällsbränder skett och 181 registrerade bränder finns i den fjällnära skogen. Även i fjällänen nedan GFS har näst flest bränder registrerats år 2003 med ett antal om 1089. Ett högt antal registrerade bränder nedan GFS syns även år 2014 samt 2018 med 990 respektive 1268 bränder.

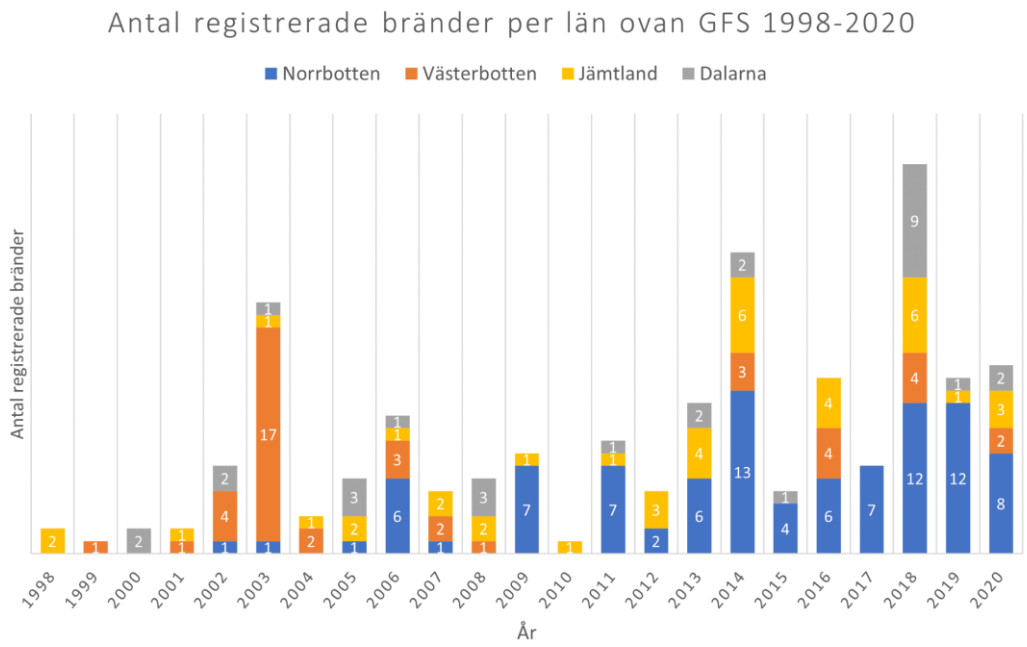


Figur 4. Registrerade antal bränder 1998–2020 utifrån MSB databas över registrerade bränder. Källa: MSB databas (2021)

Figure 4. Number of registered fires during 1998–2020 from the Swedish Civil Contingencies Agency database of registered fires. Source: MSB databas (2021)

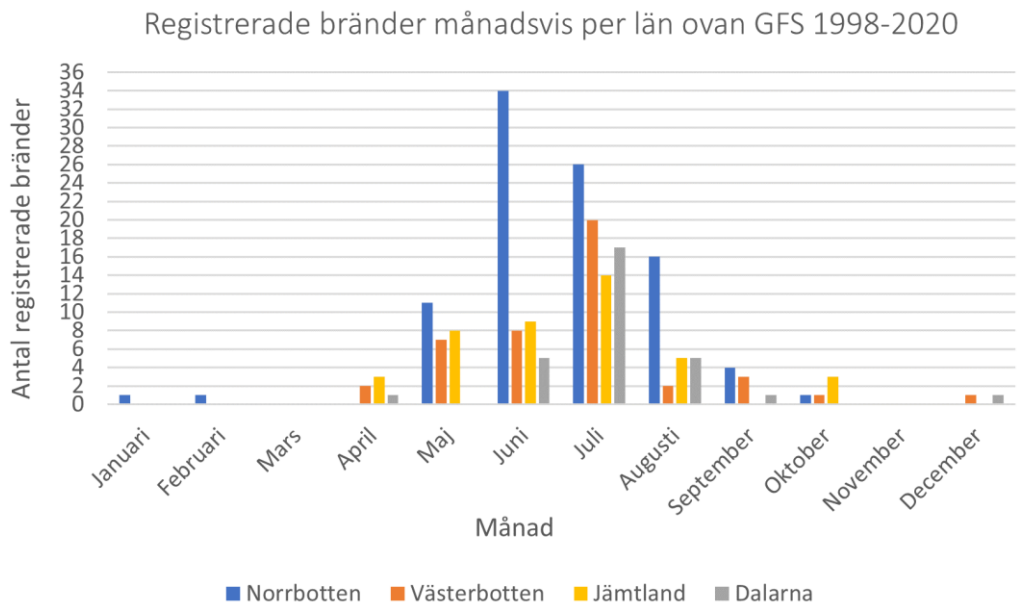
Antal registrerade bränder per län ovan GFS mellan 1998–2020 har varit växlande framför allt under de första tio åren av perioden och en tydlig koncentration av antal registreringar syns det sista decenniet (se Figur 5). Mängden registreringar i Västerbotten under de första tio åren

varierar men har en tydlig topp under 2003 med 17 registreringar. Totalt registrerades 44 bränder under hela perioden. Norrbottens län ovan GFS har inga registrerade bränder under periodens första fyra år, för att sedan pendla mellan en till noll registrerade bränder bortsett från 2006 och 2009 då sex respektive sju bränder registrerades. Från 2011 fram till 2020 ökar antal registrerade bränder i Norrbotten ovan GFS vilket leder till att de sammantaget får en dubbelt så hög brandfrekvens i jämförelse med de andra länen ovan GFS med sina 94 registrerade bränder. Antal registrerade bränder per år ökar generellt under det sista decenniet även i Jämtlands län ovan GFS som landar på totalt 42 registreringar. Dalarnas län ovan GFS har minst antal registrerade bränder under perioden med totalt 30 där 2018 sticker ut med nio registreringar.



Figur 5. Antal registrerade bränder per län ovan GFS mellan 1998–2020. Källa: MSB databas (2021)
Figure 5. Registered fires per county above the mountainous forest land border between 1998–2020. Source: MSB databas (2021)

Säsongsmässigt är bränderna i länen ovan GFS under hela tidsperioden 1998–2020 utspridda från april-oktober, men har huvudsakligen skett under maj-augusti. Flest antal bränder har sammantaget skett i juli i alla län ovan GFS, med undantag från Norrbottens län där flest har förekommit i juni (se Figur 6). Under januari och februari finns endast en brand registrerad i Norrbottens län ovan GFS för vardera månaden. I mars och november förekom inga registrerade bränder. I december förekom två registrerade bränder totalt, fördelat på Västerbottens län ovan GFS samt Dalarnas län ovan GFS.



Figur 6. Registrerade bränders distribuering fördelat på månad och län ovan GFS under 1998–2020. Källa: MSB databas 2021

Figure 6. The distribution of the registered fires per month and county above the mountainous forest land border during 1998-2020. Source: MSB databas (2021)

Dalarna har störst andel bränd mark över tid i förhållande till yta ovan GFS, följt av Jämtland, Västerbotten och Norrbotten. Samtidigt har Norrbotten störst andel bränder som är mellan 100–50 000 m^2 stora och Dalarna minst andel bränder som är 100–50 000 m^2 stora. Det är huvudsakligen bränder under 2018 som bidrar till den stora arealen bränd mark i Dalarna. Även i Jämtland är en stor koncentration av arealen bränd mark koncentrerad till år 2018. Arealen bränd mark i Västerbotten är framför allt mellan 2001–2003. I Norrbotten koncentreras arealen av bränd mark från år 2017 och framåt (se Tabell 7) och för mer utförlig redovisning se Bilaga 2.

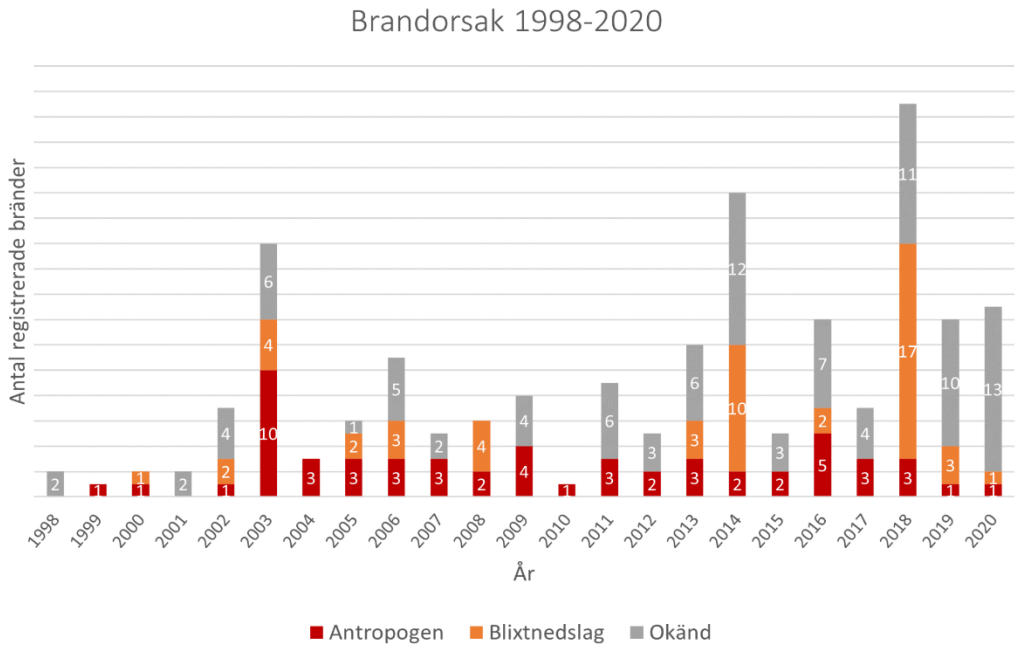
Tabell 7. Total bränd mark per län ovan GFS 1998–2020. Källa: MSB databas (2021)

Table 7. Total burned area per county above the mountainous forest land border 1998–2020.

Source: MSB databas (2021)

Total andel bränd mark per län %	**Total bränd areal m^2**	**Areal/brand i m^2**		
		<100	*100–50000*	*>50 000*
Norrbotten	0,0009	477 337	36	58	2
Västerbotten	0,001	170 598	24	18	2
Jämtland	0,02	4 286 149	13	26	3
Dalarna	1,4	36 522 885	10	15	4

Brandorsaker i fjällänen ovan GFS mellan åren 1998–2020 varierar över tid och rum (se Figur 7). Sammantaget var *okänd* vanligast (101 bränder), följt av *antropogena* (57) och sist *blixtnedslag* (52). Under det senaste decenniet syns en tydlig ökning av bränder antända av *okänd* anledning, i jämförelse med 1998–2009. En markant minskning av *antropogent* orsakade bränder återses under hela perioden samt en svag ökning av bränder orsakade av *blixtnedslag* (se Figur 4). Den vanligaste brandorsaken i Norrbotten ovan GFS är *okänd* och är dubbelt så vanligt förekommande som *antropogena*. Minst förekommande är bränder till följd av *blixtnedslag*. Även i Västerbotten ovan GFS är en *okänd* brandorsak vanligast följt av *antropogena* som i sin tur är tre gånger så vanligt som *blixtnedslag*. I Jämtland ovan GFS förekommer huvudsakligen bränder av *okänd* brandorsak som är dubbelt så vanlig som *antropogena* som i sin tur är minst förekommande. Antal bränder orsakade av *blixtnedslag* återses däremellan. *Blixtnedslag* är den vanligaste brandorsaken i Dalarna ovan GFS följt av *okända* orsaker, *antropogen* är minst vanlig (MSB databas, 2021).

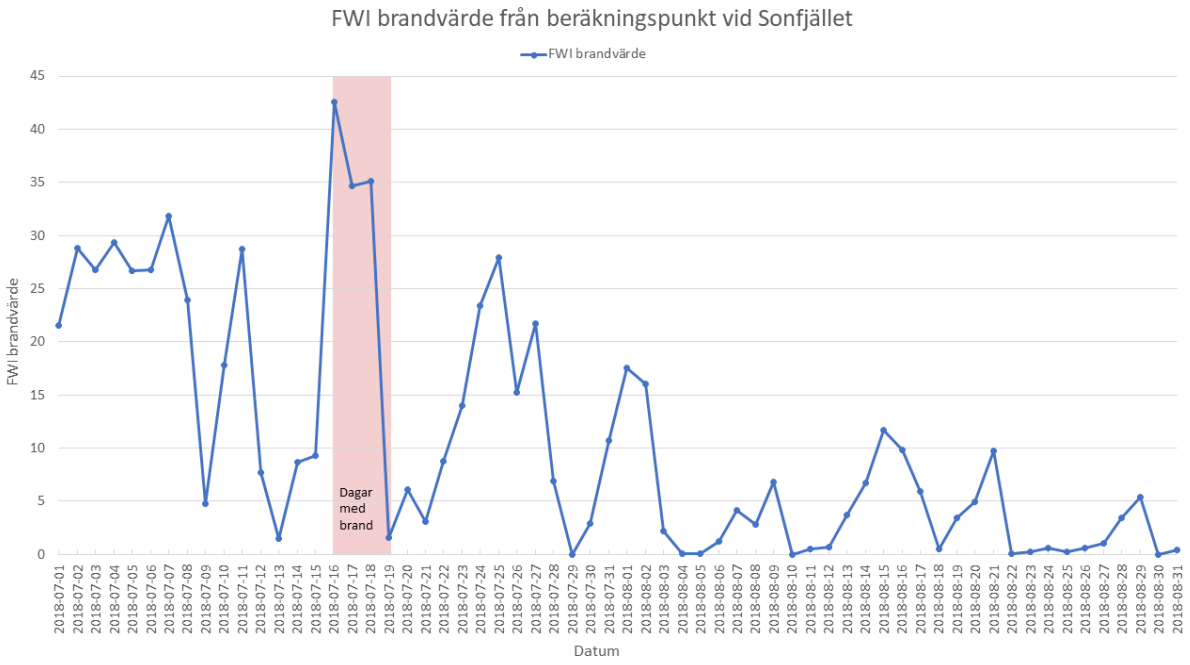


Figur 7. Brandorsaker ovan GFS fördelat på; antropogen, blixtnedslag och okänd anledning. Källa: MSB databas (2021)

Figure 7. Fire causes above the mountainous forest land border categorized into; anthropogenic, stroke of lightning and unknown cause. Source: MSB databas (2021)

5.2 Brandintensitet och förutsättningar för branden vid Sonfjället

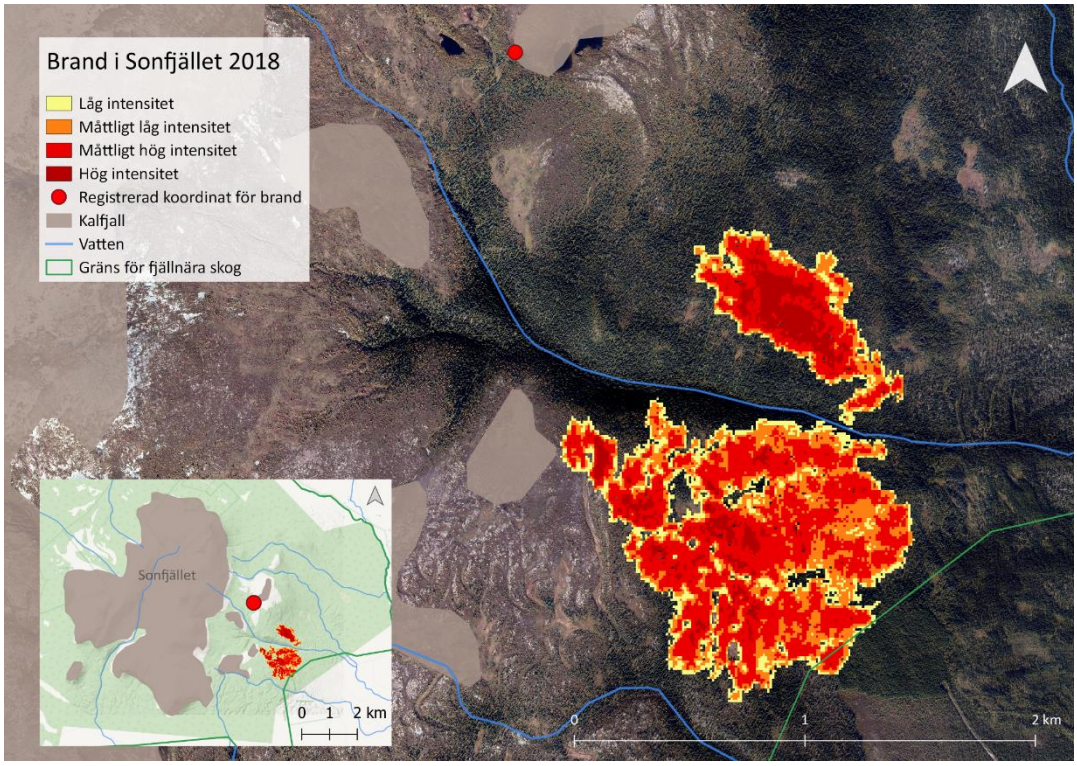
Den första veckan i juli inleddes med ett ihållande högt brandriskvärde på 22–27 som indikerar *mycket stor brandrisk* (se Tabell 1 och Figur 8), däribland nådde brandriskvärdet upp till extremt stor brandrisk under tre av dagarna samma vecka med en kulm på ett värde av 32 den 7 juli. Veckan därpå sjunker brandrisken något till värden som indikerar *mycket liten* eller *liten brandrisk*, bortsett från den 8 och 11 juli som sticker ut med värde 24 respektive 29 som tyder på *mycket stor* eller *extremt stor brandrisk*. Veckan därefter inleds med ett värde om 9 som tyder på *liten brandrisk*, följt av tre dagar den 16 till 18 juli som har de högsta brandriskvärdena under hela tvåmånadersperioden med värden på 43–45 som tyder på *extremt stor brandrisk*. Det var under dessa dagar som branden i Sonfjället bröt ut (MSB databas, 2021). Den 19 juli avslutade räddningstjänsten släckningsarbetet av branden i Sonfjället (Räddningstjänsten, 2018), samma sjönk brandriskvärdet markant till 2 som pekar på en *mycket liten brandrisk*. Följande dagar hade *mycket liten* och *liten brandrisk* för att sedan stiga gradvis till *mycket stor* och *extremt stor brandrisk* den 25 juli. Däremot har ingen brand registrerats i området dessa dagar (MSB databas, 2021). Därefter fluktuerar brandriskvärdet med en tydlig topp i början av augusti som når upp som högst till brandriskvärden 18 och 16 som tyder på *stor brandrisk*. Därefter blir de högsta brandriskvärdena generellt lägre och lägre.



Figur 8. FWI brandvärde per dygn under juli och augusti 2018 från beräkningspunkt ca 2,6 km öst om det branddrabbade området i Sonfjället. Källa: SMHI (2018)

Figure 8. FWI fire value per day during July and August 2018 from a calculation point 2,6 km east of the burned area in Sonfjället. Source: SMHI (2018)

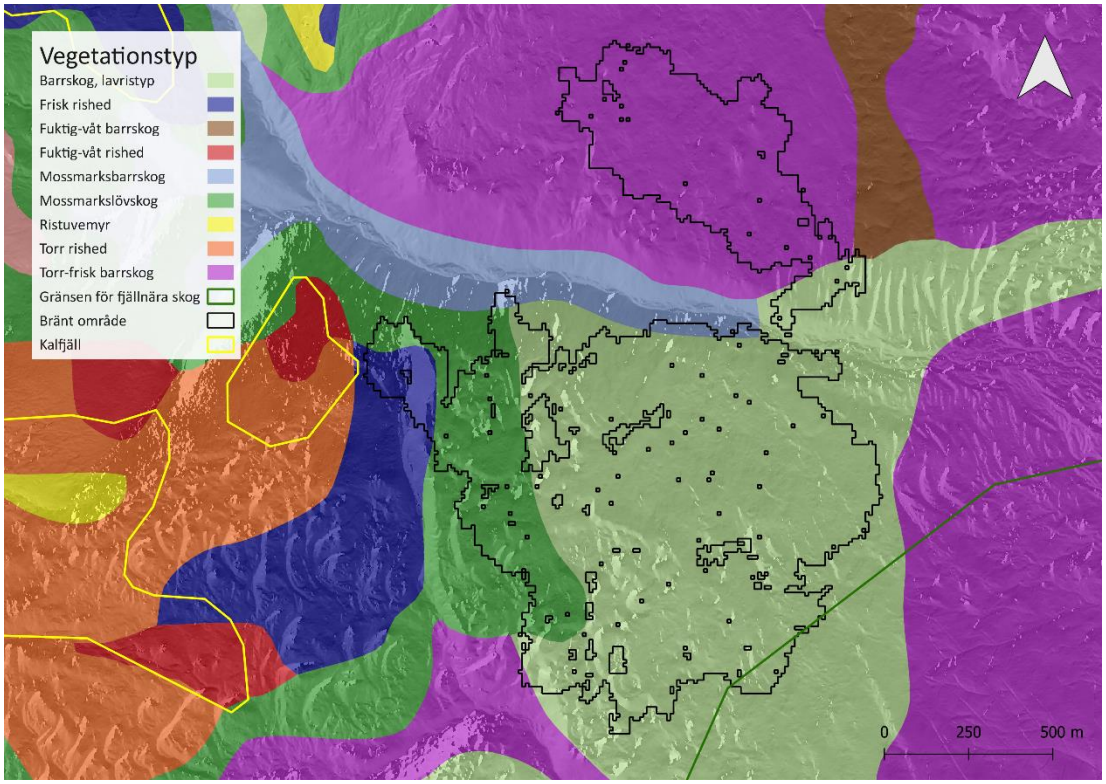
Resultatet av dNBR (se Figur 9) visar att utbredningen av branden öster om Sonfjället 2018 sammantaget var 142,2 ha (1 422 000 m^2) stor och breder ut sig i skogsgränsen nedanför fjället. Branden är uppdelad i två sektioner norr och söder om ravinen där det även rinner vatten. Den södra delen av brandområdet är av större yta än den norra delen och sträcker sig upp mot kalfjället i väster, medan den i sydöst precis sträcker sig utanför den administrativa gränsen för GFS. Alla av brandindexets fyra intensitetskategorier inkluderas i branden. Det brann huvudsakligen med *måttligt hög intensitet* med 64,8 ha, därefter kommer i storleksordning *måttligt låg intensitet* med en yta av 38,5 ha. Elden brann med *låg intensitet* på en yta av 23,7 Nha och slutligen brann 15 ha med *hög intensitet*. Trots att branden norr om ravinen var mindre i area brann det mer intensivt här i större utsträckning än i den södra delen av branden. Den södra delen av branden har i större utsträckning brunnit med *låg* och *måttligt låg intensitet*. Vindens riktning under dagarna det brann var framför allt en sydostlig vind, där vindriktningen den 16 juli var 168°, den 17 juli 136°, den 18 juli 133° och den 19 juli 28°.



Figur 9. Brandens intensitet och utbredning öster om Sonfjället. Källor: Brandens intensitet är bearbetad data från Sentinel-2 via Copernicus (2018 & 2019), koordinat för brand MSB databas (2021), Vatten (2013), Ortofoto (2013, 2016 & 2017) och Kalfjäll © Lantmäteriet, Gräns för fjällnära skog (SKSFS 1991:3)

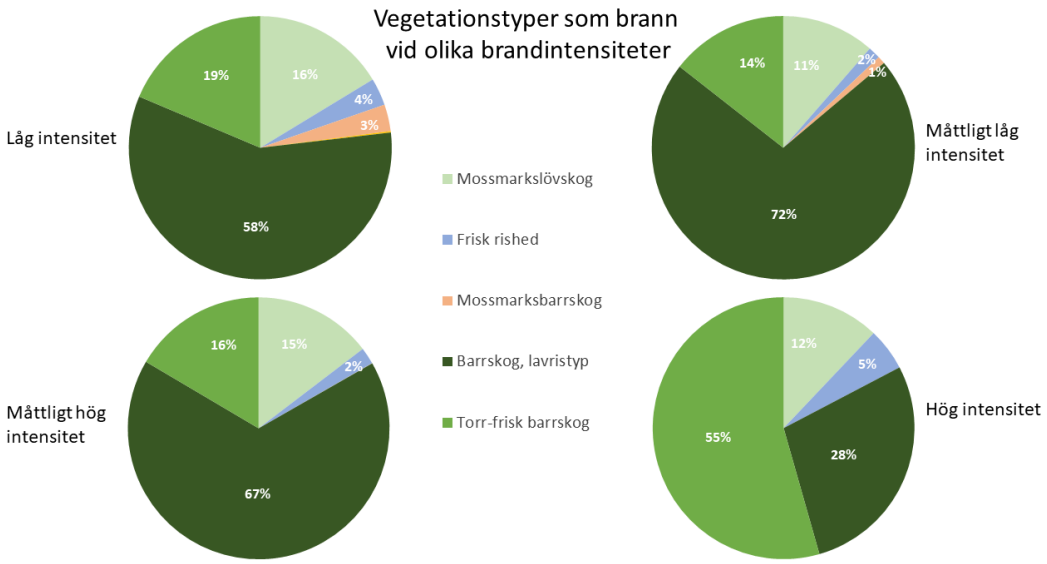
Figure 9. Location and intensity of the fire east of Sonfjället. Sources: The fire intensity is processed data from Sentinel-2 through Copernicus (2018 & 2019), registered coordinate of the fire MSB databas (2021), Water (2013), Orthopfoto (2013, 2016 & 2017) and Tundra © Lantmäteriet, Mountainous forest land border (SKSFS 1991:3)

De vegetationstyper som fanns inom det branddrabbade området (se Figur 10) var i storleksordning; barrskog av lavristyp (89 ha), torr-frisk barrskog (29 ha), mossmarkslövskog (20 ha), frisk rished (3 ha), mossmarksbarrskog (1 ha) och slutligen fuktig-våt barrskog (0,04 ha). Vegetationstypen som huvudsakligen blev drabbad där elden brann med *låg-*, *måttligt låg-* , samt *måttligt hög intensitet* var barrskog av lavristyp. Däremot stod torr-frisk barrskog för majoriteten av den vegetationstyp som brann mest med *hög intensitet*, och brann mellan 14–19 % i de andra lägre intensitetsklasserna. Mossmarkslövskog brann mellan 11–16 % i alla de fyra olika intensitetsklasserna. Frisk rished brann mellan 2–5 % i de olika intensitetsklasserna. Mossmarksbarrskog utgjorde 3 % av den vegetation som brann med *låg intensitet* och bara 1 % av vegetationen som brann med *måttligt låg intensitet*, mossmarksbarrskog brann inte med *måttligt hög- eller hög intensitet* (se Figur 11). Vidare brann det 456 m^2 av fuktig-våt barrskog, varav 400 m^2 brann med *låg intensitet* och resterande med *måttligt låg intensitet*. Däremot syns inte detta i pajdiagrammen eftersom det var en för liten andel i procent i jämförelse med de andra vegetationstyperna som brann.



Figur 10. Utbredning av vegetationstyper inom och utanför det branddrabbade området. Källa: Vegetationstyper (2012) och Kalfjäll © Lantmäteriet, Utbredning av brand är bearbetad från Sentinel-2 via Copernicus (2018 & 2019), Gräns för fjällnära skog (SKSFS 1991:3)

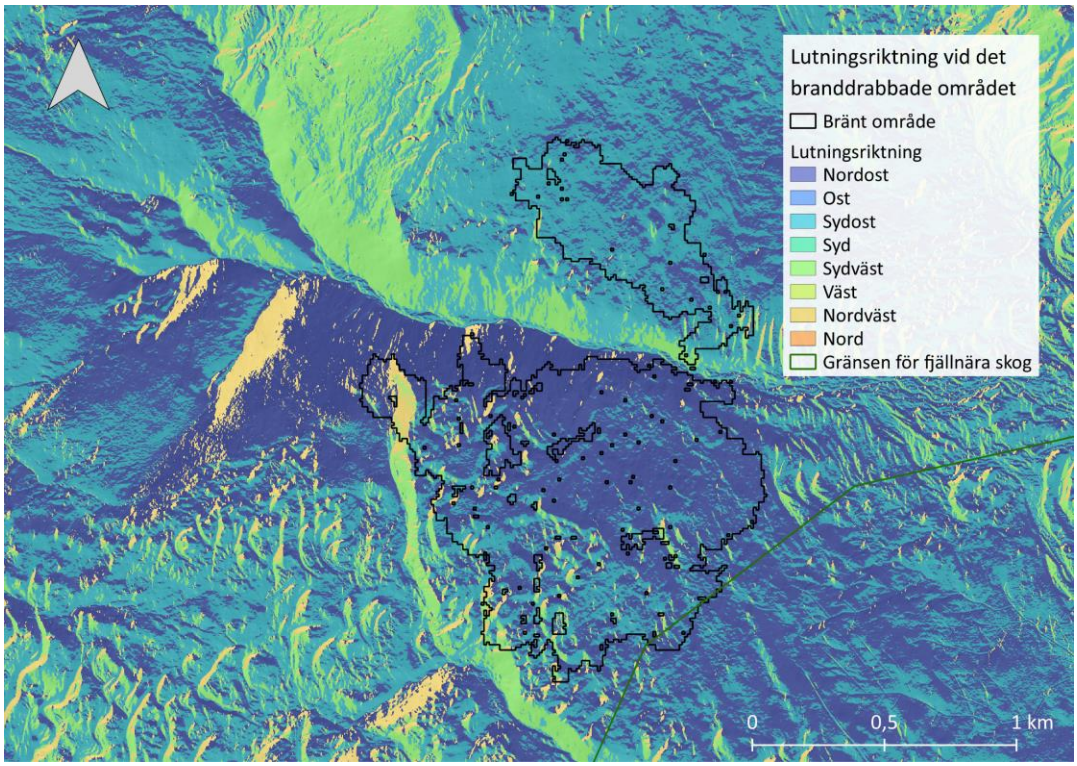
Figure 10. The extent of vegetation types inside and outside of the burned area. Sources: Vegetationtypes (2012) and Tundra © Lantmäteriet, Area of fire is processed data from Sentinel-2 through Copernicus (2018 & 2019), Mountainous forest land border (SKSFS 1991:3)



Figur 11. Vegetationstyper som brann i Sonfjället 2018 i eldens olika intensitet. Källor: Bearbetad satellitdata från Sentinel-2 via Copernicus (2018 & 2019), vegetationsdata © Lantmäteriet (2012)

Figure 11. Vegetation types burned at different fire intensity during the fire in Sonfjället 2018. Sources: Processed satellite data from Sentinel-2 through Copernicus (2018 & 2019), Data of vegetation from © Lantmäteriet (2012)

Det branddrabbade området ligger öster om Sonfjällets höjd i en generell lutning i östlig riktning (se Figur 12). Lutningen norr om ravinen ligger huvudsakligen i sydostlig riktning med inslag av nordostliga avbrott till följd av en den ojämna terrängen. I området söder om ravinen ligger lutningsriktningen framför allt i nordostlig riktning. Ravinen delar upp terrängen med en brant lutning som är mer markant i ravinens västra del och som avtar i höjd i östlig riktning där de två sidorna norr och söder om ravinen sammansluts i ett smalt band. I brandområdet söder om ravinen återses en skarp brant i västlig riktning som skär igenom området. Branten är upp emot 50 meter hög och löper längs brandområdets västra gräns.

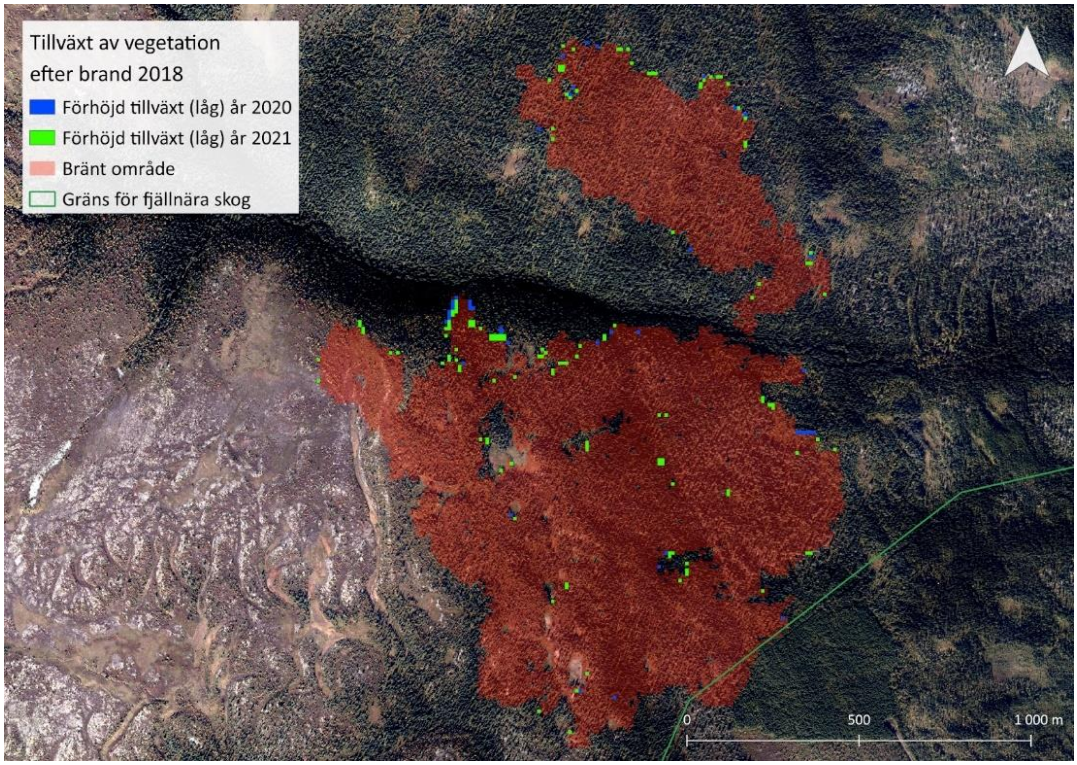


Figur 12. Lutningsriktning över det branddrabbade området. Källa: Höjddata © Lantmäteriet (2010), Utbredning av brand är bearbetad från Sentinel-2 via Copernicus (2018 & 2019). Gräns för fjällnära skog (SKSFS 1991:3)
Figure 12. Aspect of the burned area. Source: Elevation data © Lantmäteriet (2010), Area of fire is processed data from Sentinel-2 through Copernicus (2018 & 2019), Mountainous forest land border (SKSFS 1991:3)

5.3 Tillväxt av vegetation efter brand vid Sonfjället

Tillväxt av vegetation inom det branddrabbade området under 2019 kunde inte upptäckas. Tillväxten av vegetation var lägre år 2020 med 4300 m^2 i jämförelse med tillväxten 2021 som var 17 000 m^2. Sammantaget har tillväxt skett på 1,8 ha (18 000 m^2) under 2020 och 2021 efter branden 2018, om man även ser till överlappande områden av tillväxt inom det branddrabbade området som är 142,2 ha (se Figur 13). Av de två tillväxtkategorierna f*örhöjd tillväxt (hög)* och *förhöjd tillväxt (låg)* återfanns endast tillväxt enligt den senare kategorin. Tillväxt har framför allt skett i ytterkanterna av det branddrabbade området där brandintensiteten var *låg* alternativt *måttligt låg* (se Figur 9). Det har inte skett någon tillväxt av vegetation där brandintensiteten var *måttligt hög* eller *hög*. Tillväxt har huvudsakligen skett där det tidigare funnits barrskog av lavristyp följt av torr-frisk barrskog, dessa två vegetationstyper var också de mest förekommande inom det branddrabbade området. Tillväxt har till viss del skett där det tidigare funnits mossmarkslövskog som var den tredje vanligaste inom området, samt

mossmarksbarrskog som var den femte vanligaste vegetationstypen. Minst tillväxt har skett där det växt frisk rished som var den fjärde vanligaste vegetationstypen i det branddrabbade området. Ingen tillväxt återses där det växer fuktig-våt barrskog, den minst förekommande vegetationstypen i det branddrabbade området.



Figur 13. Rumslig fördelning av vegetationens tillväxt efter brand. Sammantaget har tillväxt av vegetation skett på 1,8 ha av 142,2 ha bränd mark. Källor: Bearbetad data från Sentinel-2, Gräns för fjällnära skog (SKSFS 1991:3)

Figure 13. Spatial distribution of the vegetational regrowth after the fire. The total area of regrowth was 1,8 hectares out of 142,2 hectare burned land. Sources: Processed data från Sentinel-2, The mountainous forest land border (SKSFS 1991:3)

6. Diskussion

Resultatet visar att sommaren 2018 sticker ut med en avsevärd ökning av frekvens, individuell brandstorlek och total andel bränd mark, och att blixtnedslag var den huvudsakliga antändningsorsaken. Studien indikerar en generell ökning av antal bränder ovan GFS sedan 1998. Vårt resultat visar att den totala arealen av bränd mark i m^2 var lägst i Västerbotten som präglas av en generell avsaknad av tallskog, samtidigt som den totala arealen av bränd mark i m^2 var avsevärt störst i Jämtland och Dalarna där lövskogen är mer sparsam. Resultatet samstämmer med Granströms (2005) beskrivning om hur vegetationens sammansättning påverkar brandspridning, där tallskog är mer brandbenägen än lövskog som i stället är mer brandresistent. Brandorsakerna över lag har skiftat över tidsperioden. Under det första årtiondet dominerades bränder av *antropogena* orsaker, medan det under periodens sista decennium i stället är *okänd* brandorsak som är mest förekommande, följt av *blixtnedslag*. Det framgår att *blixtnedslag* är den dominerande orsaken i Dalarnas län ovan GFS under hela den undersökta tidsperioden. Här påvisas också största areal bränd mark trots att området har minst antal registrerade bränder bland fjällänen ovan GFS. Detta mönster samstämmer med en kanadensisk studie som visar att antal bränder främst är antropogent orsakade medan de bränder som orsakas av blixtnedslag genererar större bränder (Hanes m.fl., 2018). Samma studie visar också att antalet bränder orsakade av blixtnedslag ökar medan antropogena antändningar minskar. Även McCarty m.fl (2021) förutspår att blixtbränder kommer att öka, men menar på att de antropogent orsakade bränderna också kommer att bli fler till följd av utökad industri, turistaktiviteter och förändringar i markanvändning. Resultatet i vår studie kan inte bekräfta att *antropogena* brandorsaker ökar, däremot visar den att största gruppen är av *okänd* brandorsak, vilket kan innebära såväl mänskligt antända bränder som naturligt orsakade bränder som exempelvis av blixtnedslag. Vidare har det registrerats fler bränder den senare halvan av databasens tidsperiod, framför allt från 2013–2020, men det är okänt om ökningen beror på att fler bränder faktiskt har skett alternativt att fler bränder har rapporterats in till räddningstjänsten.

Branden i Sonfjället den extremt varma och torra sommaren 2018 (MSB, 2020) orsakades av blixtnedslag (MSB databas, 2021), och i vår studie påvisas att detta skedde under dagar med brandriskvärden långt över gränsen för *extremt stor brandrisk* enligt FWI index. Resultatet samstämmer med trender som Higuera m.fl. (2011) har sett i arktiska Alaska där fler och mer extrema bränder sammanfaller med rekordhög temperatur och rekordlåg nederbörd. He m.fl. (2021) ser också att höga temperaturer och torra förhållanden påverkar pan-arktiska bränder.

Studier pekar på att det förekommer positiva återkopplingar mellan klimat, blixtnedslag samt ökade bränder (Veraverbeke, Rogers, Goulden, Jandt, Miller, Wiggins & Randerson, 2017). Blixtnedslag anses spela en kritisk roll i vad som driver bränder på höga latituder (He m.fl., 2021), vilket vårt data från Sonfjället överensstämmer med och det är därför viktigt att ta hänsyn till blixtnedslag i framtida brandriskmodellering.

Att kombinera metoderna dNBR med att se till brandförutsättningar med hjälp av FWI, vegetationens sammansättning samt topografi har varit fördelaktigt för att få en bredare förståelse för utvecklingen av branden vid Sonfjället. Elden brann mer intensivt söder om ravinen på den västra sidan där topografin lutar uppåt i jämförelse med den västra sidan, vilket samstämmer med Granströms (2005) beskrivning om att elden intensifieras uppför en sluttning. Samtidigt brann den mindre brandbenägna mossmarkslövskogen och den mer brandbenägna barrskogen av lavristyp generellt lika intensivt i denna sydvästra del av brandområdet. Detta går i linje med He m.fl., (2021) som menar att vegetationens sammansättning spelar en marginell roll i en brands beteende. Däremot visar vårt resultat att majoriteten av området som brann med *måttligt hög intensitet* huvudsakligen bestod av brandbenägna vegetationstyper, förutom vid ovan nämnda brant som framför allt utgjordes av mossmarkslövskog som generellt är mindre brandbenägen. Brandens inbromsning längs med eldens västra kant som sträcker sig upp emot 50 m mot marken nedanför skulle kunna tolkas som att det är den skarpa branten som förhindrat elden från att sprida sig längre västerut över kalfjället, trots vindens riktning åt nordväst. Detta betonar hur topografin på platsen kan forma brandens beteende, i och med att lutningar i nedåtgående riktning hämmar brandspridning (Granström, 2005), vilket kan sättas i kontrast till He m.fl., (2021) som även menar att topografin, utöver vegetationens sammansättning, spelar en marginell roll. Vårt resultat antyder att brandens intensitet och spridning vid Sonfjället 2018 påverkades av topografin och vegetationstyper under dagar då FWI brandriskindex var extremt högt.

Vårt resultat visar på liten tillväxt av vegetation efter brand vilket speglar en låg produktionshastighet i dessa områden generellt (SLU, 2021). De enstaka och spridda rastercellerna som klassificerats som *förhöjd tillväxt (låg)* skulle kunna tyda på brus i data och inte nödvändigtvis tillväxt i alla rasterceller. Vidare går det inte att med hjälp av dNBR se vilken vegetationstyp som kan ha vuxit upp på platsen utan endast om det har skett tillväxt. Därav kan vi inte med studien styrka Heim m.fl (2021) som menar att buskvegetation kan öka efter bränder

i subarktiska miljöer. Det är svårt att dra vidare slutsatser av resultatet om tillväxt av vegetation efter branden och en tidsperiod längre än tre år vore fördelaktigt.

Resultatet tyder på en ökning av antal bränder ovan GFS mellan 1998–2020, framför allt från år 2010 och framåt vilket tycks samstämma med påståendet om att bränder i den boreala regionen i närheten av kalfjäll blir allt vanligare (McCarty m.fl., 2021) med hänsyn till de bränder som skett i den fjällnära skogen. Vad som påvisas i vårt resultat är att brandförekomst i kalfjällsområden i Sverige generellt är sällsynt men att det har skett stora bränder i kalfjällsnära miljöer. Vi kan inte bekräfta det generella påståendet om att kalfjällsbränder har blivit fler (McCarty m.fl., 2021). Däremot försvårar osäkerheter i koordinaterna i MSB:s databas möjligheten att säkerställa brändernas positionering. Kalfjällets stora arealer med avskild mark bör heller inte underskattas vilket kan medföra att det förekommit bränder som inte noterats. Samtidigt redovisas inte områden med kalfjäll mindre än sex hektar i dataskiktet över kalfjäll vilket ytterligare medför en osäkerhet kring brandförekomsten. Vår studie belyser att förekomsten av kalfjällsbränder skulle kunna vara underskattad och betonar vikten av data med hög validitet och lägesnoggrannhet avseende skikt över vegetationstyper samt en systematik i inrapportering av bränder.

En djupare förståelse för brandregimer ovan GFS kan vara värdefullt för att förstå hur dessa komplexa fenomen påverkas av klimatförändringar och hur brandförekomsten i sin tur påverkar kalfjället och den fjällnära skogen med dess unika natur- och kulturlandskap samt kapacitet för kollagring. MSB:s databas över registrerade bränder kan fungera som ett värdefullt verktyg i arbetet med att fortsätta undersöka bränder ovan GFS, med förutsättning att de validitetsproblem som finns med den ses över. Det vore även lämpligt om bränderna vid registrering bekräftades med polygoner i stället för med koordinater för att kunna undersöka den rumsliga utbredningen närmare. Vidare bör det undersökas varför branden i Sonfjället registrerades som 400 ha stor i databasen medan resultatet från fjärranalysen visar att den var 142,2 ha. Resultatet av brandens utbredning genom dNBR följer tydligt de kanter som brandärret visar på satellitbilder, vilket antyder på att databasen kan ha överestimerat brandens utsträckning. För en mer ingående undersökning av brandregimer vore det även fördelaktigt att ta hänsyn till tidsmässiga variationer i brandförekomsten per år och säsong då Higuera m.fl, (2011), lyfter att brandsäsonger blivit längre på den arktiska kalfjäll. Vidare vore det nödvändigt att ta hänsyn till bränder i Norge för en större förståelse för brandregimer i kalfjällsmiljöer då naturfenomen inte tar hänsyn till administrativa landsgränser.

7. Slutsatser

Vårt resultat visar att det skett ett fåtal kalfjällsbränder i Sverige under den undersökta perioden. Däremot kan vi se att brandregimer ovan GFS i Sveriges fjällän generellt har ändrat karaktär genom en ökad frekvens, arealen bränd mark per år har tilltagit och enskilda bränder har blivit allt större. Bränderna i alla fyra län ovan GFS koncentreras huvudsakligen till juli under hela tidsperioden som undersöks. Vidare har brandorsaker kommit att skifta från att domineras av *antropogena* till att *okänd* blivit den mest framträdande följt av *blixtnedslag*. Enligt vår studie är MSB:s databas över registrerade bränder i de svenska fjällänen mellan 1998–2020 av varierande kvalitet. Exempelvis visade en analys med Sentinel-2 satellitdata innan och efter branden 2018 att branden vid Sonfjället hade en utbredning som var 142,2 ha stor medan samma brand var 400 ha enligt MSB:s databas.

Enligt analys av dNBR index brann området vid Sonfjället 2018 framför allt med *måttligt hög intensitet* under dagar med *extremt stor brandrisk* enligt FWI index. Det var huvudsakligen brandbenägna vegetationstyper som drabbades förutom längs med brandärrets sydvästra kant där den mindre brandbenägna vegetationstypen mossmarkslövskog brann uppe på branten. Vidare antas denna brant ha bromsat brandspridningen upp mot kalfjället. Tillväxt av vegetation efter branden var liten, men det är svårt att dra vidare slutsatser av en tidsserie på endast tre år i ett område med generellt låg produktionshastighet (SLU, 2021). Trots att 2018 var ett extremt och ovanligt varmt och torrt år (MSB, 2020) skulle branden i Sonfjället kunna ses som en förvarning inför framtidens bränder då klimatförändringarna förväntas leda till ett varmare och torrare klimat som gynnar skogsbränder (He m.fl., 2021; McCarty m.fl., 2021). Resultatet i studien visar att platsegenskaper och vädrets tidsmässiga förhållanden spelar roll för en brands beteende. Att brandregimen är platsspecifik och beroende av lokal kontext gör det svårare att skapa en generaliserad bild av brandregimer ovan GFS, men branden i Sonfjället visar potentialen av brand i den fjällnära skogen i nära anslutning till kalfjäll. Samtidigt är en brandregim komplex (McCarty m.fl., 2021) och vidare studier om bränder ovan GFS är nödvändigt för att fördjupa kunskapen om hur dessa fungerar. För en mer fullständig förståelse för brandregimer i Skanderna bör även hänsyn tas till typ av brand, brandintensitet samt inkludera bränder som skett i Norge.

8. Referenser

AMAP. (2021). *Arctic Climate Change Update 2021: Key Trends and Impacts. Summary for Policy-makers. Arctic Monitoring and Assessment Programme.* Hämtad från AMAP: AMP12592 AMAP - CCU SPM v12 AW v2.indd

Áttje. (2014). *Det samiska kulturlandskapet: Program för att bevara, bruka och utveckla samiska kulturlandskap 2015–2020.* Hämtad från Áttje: https://www.ajtte.com/wp-content/uploads/2009/05/Det-samiska-kulturlandskapet.pdf

Bogren, J., Gustavsson, T., & Loman, G. (2008). *Klimat och väder*. Lund: Studentlitteratur AB.

Copernicus. (u.å.). *Copernicus Open Access Hub.* Hämtad 2022-04-20 från https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home

Coppoletta, M., Merriam, K, E., & Collins, B. M. (2016). Post-fire vegetation and fuel development influences fire severity patterns in reburns. *Ecological Applications, 26*(3), 686-699. https://www.jstor.org/stable/24701978

Daşdemir, I., Aydın, F., & Ertuğrul, M. (2021). Factors Affecting the Behavior of Large Forest Fires in Turkey. *Environmental Management, 67*, 162–175. https://doi.org/10.1007/s00267-020-01389-z

De Blij, H. J., Muller, P. O., Burt, J. E., & Mason, J. A. (2013). Physical Geography: The Global Environment (Fjärde uppl.). New York: Oxford University Press.

Documentation QGIS 2.18. *Zonal Statistics Plugin.* Hämtad 2022-04-17 från https://docs.qgis.org/2.18/en/docs/user_manual/plugins/plugins_zonal_statistics.html#figure-zonal-statistics

Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z-L., Quayle, B., & Howard, S. (2007). A Project for Monitoring Trends in Burn Severity. *Fire ecology, 3*(1), 3-21. https://doi.org/10.4996/fireecology.0301003

Ellis, T. M., Bowman, D. M. J. S., Jain, P., Flannigan, M. D., & Williamson, G. J. (2021). Global increase in wildfire risk due to climate-driven declines in fuel moisture. *Global Change Biology*, *28*(4), 1544-1559. https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1111/gcb.16006

ESA. (u.å.). *Level-2*. European Space Agency. Hämtad 2022-04-01 från User Guides - Sentinel-2 MSI - Level-2 Processing - Sentinel Online - Sentinel Online (copernicus.eu)

ESA. (2015). *Sentinel-2 User Handbook.* Hämtad från European Space Agency: https://sentinel.esa.int/documents/247904/685211/sentinel-2_user_handbook

Fassnacht, F. E., Schmidt-Riese, E., Kattenborn, T., & Hernández, J. (2021). Explaining Sentinel 2-based dNBR and RdNBR variability with reference data from the bird's eye (UAS) perspective. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *95*, 2-19. https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102262

Granström, A. (2005). *Skogsbrand. Brandbeteende och tolkning av brandriskindex*. Räddningsverket. Hämtad från MSB: https://rib.msb.se/dok.aspx?Tab=2&dokid=28450

Hanes, C. C., Wang, X., Jain, P., Parisien, M-A., Little, J. M., & Flannigan, M. D. (2019). Fire-regime changes in Canada over the last half century. *Canadian journal of forest research, 49*(3), 256–269. https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1139/cjfr-2018-0293

Hansen, R., & Räddningsverket (2003). *Skogsbrandsläckning.* Hämtad från MSB: https://www.msb.se/RibData/Filer/pdf/18960.pdf

He, J., Loboda, V. T., Chen, D., & French, N., & (2021). Cloud-to-Ground Lightning and Near-Surface Fire Weather Control Wildfire Occurrence in Arctic Tundra. *Geophysical research letters, 49*(2), 1–11. https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1029/2021GL096814

Hedenås, H., Christensen, P., & Svensson, J. (2016). *Changes in vegetation cover and composition in the Swedish mountain region*. Environmental Monitoring and Assessment, volym(188), 1–15. https://doi.org/10.1007/s10661-016-5457-2

Heim, R. J., Bucharova, A., Brodt, L., Kamp, J., Rieker, D., Soromotin, A. V., … & Hölzel, N. (2021). Post-fire vegetation succession in the Siberian subarctic tundra over 45 years. *The Science of the total environment, 760*, 2–11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143425

Henriksson, S., & Olsson, B. (2020). *Kunskapssammanställning fjällnära skog - Redovisning av underlag till Skogsutredningen 2019*. Hämtad från statens officiella utredningar: Rapport/meddelande (gov.se)

Higuera, E. P., Chipman, L. M., Barnes, L. J., Urban, A. M., & Sheng Hu, F. (2011). Variability of tundra fire regimes in Arctic Alaska: millennial-scale patterns and ecological implications. *Ecological Applications, 21*(8), 3211-3226. https://doi.org/10.1890/11-0387.1

Hu, F-S., Higuera, P. E., Duffy, P., Chipman, M. L., Rocha, A. V., Young, A. M., … Dietze, M. C. (2015). Arctic tundra fires: natural variability and responses to climate change. *Frontiers in ecology and the environment, 13*(7), 369–377. https://www.jstor.org/stable/44000864

IPCC, 2018: *Global Warming of 1.5°C.An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

Jolly, W. M., Cochrane, M. A., Freeborn, P. H., Holden, Z. A., Brown, T. J., Williamson, G. J., & Bowman, D. M. J. S. (2015). Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature communications, 6*(1), 7537–7537. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143425

Jones, H. G., & Vaughan, R. A. (2010). *Remote Sensing of Vegetation: principles, techniques, and applications.* Oxford: Oxford University Press.

Justino, F., Bromwich, D., Wilson, A., Silva, A., Avila-Diaz, A., Fernandez, A., & Rodrigues, R. (2021). Estimates of temporal-spatial variability of wildfire danger across the Pan-Arctic and extra-tropics. *Environmental Research Letters*, *16*(4), 1-14. https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf0d0

Kasischke, E. S., Turetsky, M. R. (2006). Recent changes in the fire regime across the North American boreal region—Spatial and temporal patterns of burning across Canada and Alaska. *Geophysical Research Letters*, *33*(9), 1-5. https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1029/2006GL025677

Kelly, J., Ibáñez, T. S., Santín, C., Doerr, S. H., Nilsson, M-C., Holst, T., Lindroth, A., & Kljun, N. (2021). Boreal forest soil carbon fluxes one year after a wildfire: Effects of burn severity and management. *Global change biology*, *27*(17), 4181–4195. https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1111/gcb.15721

Key, C.H., & Benson, N. (2005). Landscape Assessment (LA) Sampling and Analysis Methods. I D.C. Lutes, R.E. Keane, J.F. Caratti, C.H. Key, N.C. Benson, S. Sutherland & L.J. Gangi (Red.), *FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System* (s. 1-51). Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT: USDA Forest Service.

Kullman, L. (2016). Fjällen, klimatet och människan - naturhistoria i skarven mellan två istider. *Svensk botanisk tidskrift (110)*3-4, 132-272.

Lantmäteriet. (u.å.). *Översiktskartan*. Hämtad 2022-05-08 från Översiktskartan | Lantmäteriet (lantmateriet.se)

Lantmäteriet. (2020). *Produktbeskrivning: GSD-Höjddata, grid 2+*. Hämtad från Lantmäteriet: https://www.lantmateriet.se/globalassets/kartor-och-geografisk-information/hojddata/hojd2_plus_2.8.pdf

Länsstyrelsen Jämtlands län. (2018). *Sonfjället SE0720029: Bevarandeplan för Natura 2000-område.* Hämtad från Länsstyrelsen Jämtlands län: https://www.lansstyrelsen.se/download/18.4e0415ee166afb59324293d7/1629974994436/Sonfj%C3%A4llet%20SE0720029.pdf?fbclid=IwAR2kNAYIbgaEojt8TCe_qEMchFpnnsMUWEMnMKDSSyui3E0Zr6NBzpQ6B3g

Masrur, A., Petrov, A. N., & DeGroote, J. (2018). Circumpolar spatio-temporal patterns and contributing climatic factors of wildfire activity in the Arctic tundra from 2001-2015. *Environmental research letters*, *13*(1), 2-11. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9a76

McCarty, J. L., Aalto, J., Paunu, V-V., Arnorld, S. R., Eckhardt, S., Klimont, Z., … Wilson, S. (2021). Reviews and syntheses: Arctic fire regimes and emissions in the 21st century. *Biogeosciences*, *18*(18), 5053–5083. https://doi.org/10.5194/bg-18-5053-2021

McNamara, N. P., Gregg, R., Oakley, S., Stott, A., Rahman, Md. T., Murrell, J. C., Wardle, D. A., Bardgett, R. D., & Ostle, J. J. (2015). Soil Methane Sink Capacity Response to a Long-

Term Wildfire Chronosequence in Northern Sweden. *PloS one*, *10*(9), 1–12. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129892

MSB. (2020). *Brandsommaren 2018 - Vad hände, och varför?*. Hämtad från MSB: Brandsommaren 2018 : Vad hände, och varför? Utvärdering (msb.se)

MSB databas över registrerade bränder. (2021). *Insatser till skog och mark i fjällänen 1998–2020.*

MSB. (2022). *Brandrisk skog och mark – Fakta och modeller*. Hämtad från MSB: https://www.msb.se/contentassets/319560083841487f84dbbad048c84152/brand-fakta.pdf

Naturvårdsverket. (2017). *Varumärket Sveriges nationalparker.* Hämtad från Naturvårdsverket: https://www.naturvardsverket.se/contentassets/f12416b48c1a4e3283f6bbe38304bddb/varumarket-sveriges-nationalparker-webbpanel.pdf

Naturvårdsverket. (2022). *Nationella marktäckedata 2018; tilläggskikt låg fjällskog.* Hämtad 2022-04-26 från Nationella marktäckedata 2018; tilläggsskikt låg fjällskog - MetadataKatalogen (naturvardsverket.se)

Nilsson, E., & Sandberg, G. (1982). *Det blommande fjället - fjällväxter berättar*. Stockholm: Bonnier fakta.

Nolè, A., Rita, A., Floriana, M., & Borghetti, M. (2022). Biogeographic variability in wildfire severity and post-fire vegetation recovery across the European forests via remote sensing-derived spectral metrics. *Science of The Total Environment, 823*, 1-11. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153807

Parker. T., Subke. J-A., & Wookey, P. A. (2015). Rapid carbon turnover beneath shrub and tree vegetation is associated with low soil carbon stocks at a subarctic treeline. *Global change biology, 21*(5), 2070–2081. https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1111/gcb.12793

Region Norrbotten. (2019). *Regional utvecklingsstrategi Norrbotten 2030.* Hämtad från region Norrbotten: https://www.norrbotten.se/publika/lg/regio/2019/Regional%20utvecklingsstrategi%20Norrbotten%202030_webb%20(Utskrift%20A4).pdf

Räddningstjänsten Jämtlands län händelserapport. (2018). *Händelserapport Sonfjället 2018.*

Samer. (u.å.). *Karta över Sápmi.* Hämtad 2022-05-08 från https://www.samer.se/karta

Sametinget. (2021). *Mittådalen*. Hämtad 2022-04-29 från https://www.sametinget.se/8828

Samiska landskap. (2022). *Om programmet.* Hämtad 2022-05-08 från https://samiskalandskap.se/om-programmet/#programmet

SKSFS 1991:3. *Förordning om gränserna för fjällnära skog.* SKSFS 1991:3 Förordning om gränserna för fjällnära skog.doc (skogsstyrelsen.se)

Skvalränna. (u.å.). I *Nationalencyklopedin.* Hämtad 2022-04-29 från https://www-ne-se.ezproxy.ub.gu.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/skvalr%C3%A4nna

SLU. (2021). *Skogsdata 2021*. SLU Institutionen för skoglig resurshållning. Hämtad från SLU: Skogsdata | Externwebben (slu.se)

Sveriges nationalparker. (u.å.) *Välj nationalpark*. Hämtad 2022-04-21 från https://www.sverigesnationalparker.se/park/

Veraverbeke, S., Rogers, B. M., Goulden, M. L., Jandt, R. R., Miller, C. E., Wiggins, E. B., & Randerson, J. T. (2017). Lightning as a major driver of recent large fire years in North American boreal forests. *Nature Climate Change (7)*, 529–534. https://doi.org/10.1038/nclimate3329

Walker, X. J., Rogers, B. M., Veraverbeke, S., Johnstone, J. F., Baltzer, J. L., Barret, K., … Mack, M. C. (2020). Fuel availability not fire weather controls boreal wildfire severity and carbon emissions. *Nature climate change, 10*(12), 1130–1136. https://doi.org/10.1038/s41558-020-00920-8

Withman, E., Batllori, E., Parisien, M-A., Miller, C., Coop, J. D., Krawchuk, … Haire, S. L. (2015). The climate space of fire regimes in north-western North America. *Journal of Biogeography, 42*(9), 1736-1749. https://www.jstor.org/stable/44002335

Zhang, Y., Wolfe, S. A., Morse, P. D., Olthof, I., & Fraser, R. H. (2015). Spatiotemporal impacts of wildfire and climate warming on permafrost across a subarctic region, Canada. *Journal of geophysical research, 120*(11), 2338–2356. https://doi-org.ezproxy.ub.gu.se/10.1002/2015JF003679

9. Bilagor

Bilaga 1.

Insatsrapporter saknas från Vännäs och Bjurholm för 2005, Lycksele för 2004–2013, Malå för 2004–2012 samt åren 2016–2017 och Norsjö för 2016 (J. Ekberg personlig kommunikation, 17 december 2021). Dessa kommuner ligger utanför gränsen för fjällnära skog men antyder avsaknad av data inom databasen som helhet. Utöver detta saknas koordinater för enstaka skogs- och markbränder som har utlösts i nära anslutning till en byggnad på grund av sekretesskäl. Det ställdes krav på att rapportera in insatsers koordinater först från 2018 och framåt, ett resultat av detta är att det helt saknas koordinater för en del tidigare insatser. Koordinaterna i databasen har konverterats till SWEREF99 TM men en konsekvens av systematiska fel i indata har bidragit till att en del koordinater är obrukbara. Från 2010 och framåt har koordinater löpande rapporterats in med aktuellt referenssystem. Det är dock inte känt huruvida koordinaterna visar platsen som har rapporterats in av SOS Alarm, där brandbilen parkerades, eller om det är en uppskattning om brandens startpunkt (J. Ekberg personlig kommunikation, 17 december 2021).

Bilaga 2.

Bilaga 2. Areal bränd mark i m^2 per län ovan GFS. Sammanlagd areal bränd mark av kategorierna; areal produktiv skogsmark, areal annan trädbevuxen mark samt areal mark utan träd. Källa: MSB databas (2021)

	Norrbotten				Västerbotten				Jämtland				Dalarna			
	Areal/år m^2	Areal/brand m^2			Areal/år m^2	Areal/brand m^2			Areal/år m^2	Areal/brand m^2			Areal/år m^2	Areal/brand m^2		
År		**<100**	**100-50000**	**>50000**		**<100**	**100-50000**	**>50000**		**<100**	**100-50000**	**>50000**		**<100**	**100-50000**	**>50000**
1998	0	0	0	0	0	0	0	0	13000	0	2	0	0	0	0	0
1999	0	0	0	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000	0	2	0
2001	0	0	0	0	4000	0	1	0	1000	0	1	0	0	0	0	0
2002	250	0	1	0	1923	2	2	0	0	0	0	0	2570	1	1	0
2003	400	0	1	0	81149	12	4	1	70000	0	0	1	5	1	0	0
2004	0	0	0	0	400	0	2	0	100	0	1	0	0	0	0	0
2005	7500	0	1	0	0	0	0	0	321	1	1	0	153010	0	1	1
2006	38410	0	6	0	60750	1	1	1	9	1	0	0	10	1	0	0
2007	3000	0	1	0	150	1	1	0	6420	0	2	0	0	0	0	0
2008	0	0	0	0	50	1	0	0	1001	1	1	0	1421	1	2	0
2009	86862	2	4	1	0	0	0	0	3500	0	1	0	0	0	0	0
2010	0	0	0	0	0	0	0	0	200	0	1	0	0	0	0	0
2011	2179	4	3	0	0	0	0	0	100	0	1	0	1	1	0	0
2012	2508	1	1	0	0	0	0	0	1250	1	2	0	0	0	0	0
2013	207	5	1	0	0	0	0	0	45850	0	4	0	22500	0	2	0
2014	79268	4	11	0	20010	1	2	0	9425	3	3	0	756	1	1	0
2015	23400	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0		2	1	0	0
2016	1031	5	1	0	330	2	2	0	41210	1	3	0	0	0	0	0
2017	112727	2	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	27431	5	7	0	1810	1	3	0	4090062	4	0	2	36322608	1	5	3
2019	80806	3	9	0	0	0	0	0	100	0	1	0	1	1	0	0
2020	11358	5	3	0	16	2	0	0	2601	1	2	0	10001	1	1	0
Total	**477337 (48 ha)**	**36**	**58**	**2**	**170598 (17 ha)**	**24**	**18**	**2**	**4286149 (429 ha)**	**13**	**26**	**3**	**36522885 (3652 ha)**	**10**	**15**	**4**