

# Återhämtning hos skogsvegetation i Västra Götaland ett år efter torkan 2018

En satellitbaserad fjärranalysstudie



**Frida Hannerz  
Ylva Håkansson**

**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  
2020 B-1105**



**UNIVERSITY OF GOTHENBURG**

Faculty of Science

# Återhämtning hos skogsvegetation i Västra Götaland ett år efter torkan 2018

## En satellitbaserad fjärranalysstudie

Frida Hannerz  
Ylva Håkansson

ISSN 1400-3821

**B1105**  
**Bachelor of Science thesis**  
**Göteborg 2020**

## Sammanfattning

Ökande medeltemperaturer i norra Europa förväntas leda till en högre frekvens av extrema väderhändelser så som torka. I Sverige var sommaren 2018 varmare och torrare än normalt, vilket ledde till att skogen tog skada. Skogsstyrelsen rapporterar att det året efter torkan fortfarande fanns skog som inte återhämtat sig.

Att utvärdera konsekvenserna av torka är en fråga som berör såväl ekologer som skogsägare, och det finns därför ett behov av att undersöka skogars känslighet och dess risk för skogsdöd i samband med torrperioder. Denna studie använder sig av fjärranalys för att analysera grönska hos skog och annan vegetation, genom vegetationsindexet *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), i ett område i Västra Götalands län. Förändringar i indexet förväntas visa om vegetationen i området har återhämtat sig från den torra och varma sommaren 2018 eller inte, vilket är vad studien syftar till att ta reda på.

I studien framgår att skog och vegetation i Västra Götaland generellt har återhämtat sig efter torkan 2018, där en tidig vår år 2019 med gynnsamma väderförhållanden ser ut att ha påverkat vegetationen positivt. Den vegetationstyp som haft lättast att återhämta sig är vegetationstypen myr. Det finns dock flera skogspartier i studieområdet som trots det gynnsamma vädret tagit skada av torkan, även om dessa inte gett utslag på den genomsnittliga återhämtningen i området. Studien visar att skog som är belägen på hög höjd jämfört med omgivande topografi, ligger i sluttande söderläge och inte ligger på våtmark har svårare att återhämta sig efter torka. Lövskog utmärker sig även genom att vara något överrepresenterad i de områden som återhämtat sig dåligt.

**Nyckelord:** fjärranalys, NDVI, torka, Sentinel-2, boreonemoral skog

## **Abstract**

Increasing temperatures in northern Europe are expected to lead to an increased frequency of extreme weather events such as drought. The summer in Sweden in 2018 was warmer and drier than normal, and this caused damaged to forests in the country. The Swedish Forest Agency reported that there was still forests that had not recovered the year after the drought.

Evaluating the consequences of drought is an issue that concerns both ecologists and forest managers, and there is a need to examine drought sensitivity of forests and the risk of forest dieback in association with periods of drought. This study uses remote sensing to analyse vegetation greenness through the vegetation index *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), of an area in Västra Götaland County in Sweden. The changes in the index are expected to show if the vegetation has recovered after the warm and dry summer in 2018 or not, which is what this study intends to find out.

The study shows that forest vegetation in Västra Götaland in general has recovered since the drought in 2018. An early spring with favourable weather conditions in 2019 seems to have had a positive impact on the vegetation. The vegetation type that shows the best recovery is mire. However, there are several forest areas which, in spite of the favourable weather, have not been able to recover, although they have no impact on the general recovery of the area. It turns out that recovery is harder for forests in areas situated on a high altitude compared the surrounding topography, areas that are situated in steep south facing slopes, and areas that are not wetlands. It is also noted that deciduous forest is slightly overrepresented in areas which have not recovered well.

**Keywords:** remote sensing, NDVI, drought, Sentinel-2, boreonemoral forest

## Förord

Som bekant blir saker inte alltid som man tänkt sig, och ingen hade nog kunnat föreställa sig hur coronaviruset skulle dra fram över världen under våren 2020. För oss som geografistudenter serverades här något av ett antiklimax mot slutet på vårt tredje år av kandidatprogrammet. Tanken hade från början varit att vi skulle skriva en uppsats inom dendrokronologi, med fokus på torka. Vi insåg dock ganska snart att det skulle bli omöjligt att inhämta de trädprover som krävdes för ett sådant arbete, då inga fältstudier fick utföras vid Göteborgs universitet under coronapandemin. I detta skede vändes istället våra blickar mot fjärranalys, och hur torka kan studeras enligt fjärranalysens egen definition: genom insamling av information på avstånd. Det hade såklart varit önskvärt att även här utföra fältstudier, men under rådande omständigheter fick allt arbete helt enkelt ske på behörig distans. Resultatet visade sig bli nog så bra, och vi är väldigt glada att här kunna presentera en kandidatuppsats i geografi!

Vi vill börja med att rikta ett stort tack till vår handledare, docent Heather Reese, som tog oss under sina vingar helt oplanerat och som engagerat tagit sig tid att hjälpa oss, trots ett redan fullt schema. Vi vill också tacka Erica Flink och Ville Stålnacke som skrev den uppsats som det här arbetet kom att utgå ifrån, och som vänligt delade med sig av sin data. Tack lektor Kristina Seftigen för bra material och tips. Tack även till professor Sofia Thorsson och docent Jonas Lindberg för vägledning, och för en intressant och lärorik examenskurs med bra upplägg.

Slutligen, tack till våra kurskamrater för åsikter, kritik och förslag gällande uppsatsen – och för allt under de här tre åren!

Frida Hannerz och Ylva Håkansson

Göteborg, den 31 maj 2020

# Innehållsförteckning

<b>1. Introduktion .....</b>	<b>1</b>
1.1 Syfte och frågeställningar.....	2
<b>2. Teori .....</b>	<b>3</b>
2.1 Torkans påverkan på skog .....	3
2.1.1 Torkskador och växtöd .....	3
2.1.2 Skadegörare .....	4
2.1.3 Topografi.....	4
2.2 Kartläggning av torkans effekter.....	5
2.2.1 Fjärranalys .....	5
2.2.2 Sentinel-2.....	5
2.2.3 Elektromagnetisk strålning .....	7
2.2.4. Vegetationens reflektans .....	8
2.2.5 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) .....	8
2.2.6 Tidigare studie i Västra Götaland .....	10
<b>3. Studieområde .....</b>	<b>11</b>
<b>4. Data och metoder.....</b>	<b>15</b>
4.1 Datainsamling .....	15
4.1.1 Sentinel-2 satellitdata över Västra Götaland .....	15
4.1.2 Sentinel-2 satellitdata över Skogaryd och Västra Tunhem.....	16
4.1.3 Nationella marktäckedata .....	16
4.1.4 Höjddata.....	16
4.1.5 Klimatdata .....	16
4.2 Databearbetning.....	17
4.2.1. NDVI från Sentinel-2-bilder.....	17
4.2.2 NDVI 2017–2018–2019 i Skogaryd och Västra Tunhem .....	17
4.2.3 NDVI 2017–2018–2019 i Västra Götaland .....	18
4.2.4 Marktäcke och terräng .....	20
4.2.5 Generalisering av studieområdet .....	20
4.2.6 Klimatdata .....	21

<b>5. Resultat</b> .....	<b>22</b>
5.1 Återhämtning i Skogaryd och Västra Tunhem.....	22
5.1.1 Marktäcke och terräng i Skogaryd och Västra Tunhem .....	26
5.2 Skogsområden som inte återhämtat sig.....	27
5.2.1 Marktäcke och terräng i områden med dålig återhämtning.....	28
5.3 Generalisering av studieområdet .....	30
5.4 Klimatdata .....	31
<b>6. Diskussion</b> .....	<b>33</b>
6.1 Metoddiskussion .....	37
6.2 Fortsatta studier .....	38
<b>7. Slutsats</b> .....	<b>39</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>40</b>



# 1. Introduktion

Jordens medeltemperatur ökar och medför klimatförändringar på både lokal och global nivå (Allen m.fl., 2018; Solomon, Manning, Marquis & Qin, 2007). Dessa förändringar väntas leda till en ökad frekvens av extrema väderhändelser, så som stormar, översvämningar och torka (Seneviratne m.fl., 2012; Solomon m.fl., 2007). Bland klimatrelaterade händelser är just torka en av de mest skadliga företeelserna när det gäller vegetation (Reddy, Chaitanya & Vivekanandan, 2004). Extrem torka kan därför kopplas till flera negativa effekter på skogsbestånd, där skog skadas och minskar i utbredning (Bose m.fl., 2020). Om torkskador leder till storskalig skogsdöd, kan det i sin tur orsaka negativa konsekvenser för klimatet, till exempel genom att det kol som är bundet i skogen släpps ut i atmosfären i form av växthusgaser (Skogsstyrelsen, 2009; Puletti, Mattioli, Bussotti & Pollastrini, 2019).

Norra Europa är ett av de områden där extremhändelser som torka förväntas bli allt vanligare, då framtidens klimat i området karaktäriseras av ökade medeltemperaturer (Skogsstyrelsen, 2009). I Sverige var sommaren år 2018 torrare och varmare än normalt, och torka gjorde att mycket av landets skog tog skada (SMHI, 2018; Jordbruksverket, 2019). Enligt Skogsstyrelsens skaderapport (2020) fanns det år 2019 fortfarande många skogsbestånd i Sverige som inte återhämtat sig från torkan 2018, och träd fortsatte att dö till följd av skador. Träd som fått utstå stress från torka blir även extra sårbara för angrepp från skadegörare – angrepp som i sin tur gör skogen känslig för nya klimatrelaterade skador (Skogsstyrelsen, 2009).

Torkans påverkan på vegetation kan analyseras med hjälp av satellitdata, där ett index för vegetationens grönska, till exempel *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), indikerar om vegetationen tagit skada (NASA, 2000). En studie som analyserar just detta genomfördes år 2019 i Skogaryd och Västra Tunhem, beläget i Västra Götalands län. Studien visar på att både skog och andra vegetationstyper på platserna påverkades negativt under torkåret 2018 (Flink & Stålnacke, 2019). Då torka påverkar skog på många olika sätt finns dock osäkerhet kring hur skogens respons på denna visar sig i längden. Att utvärdera konsekvenserna av torka är därför en fråga som berör såväl ekologer som skogsägare, och det finns ett behov av att undersöka skogars känslighet och dess risk för skogsdöd i samband med torrperioder (Puletti m.fl., 2019). Någon uppföljning på hur återhämtningen hos vegetationen ser ut i Skogaryd och Västra Tunhem ett år senare har inte genomförts; inte heller någon



kartläggning över platser i det närliggande området som haft svårt att återhämta sig mellan 2018 och 2019. Genom att med satellitdata från 2019 bygga vidare på den tidigare studien, kan effekterna av torkan i Västra Götaland följas upp och bidra till att ge svar på vilken typ av skogsområden som har svårt att återhämta sig efter torka.

### ***1.1 Syfte och frågeställningar***

Syftet med den här studien är att undersöka hur vegetationsindexet *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ser ut för områden i Västra Götaland, och därigenom ta reda på hur vegetation och särskilt skog återhämtat sig från den ovanligt torra och varma sommaren 2018. Genom fjärranalys undersöks hur NDVI i juli månad varierat mellan åren 2017, 2018 och 2019. Studien ämnar bygga vidare på Erika Flink och Ville Stålnackes kandidatuppsats från 2019, vilken analyserade förändring hos skog och vegetation mellan 2017 och 2018 i Skogaryd och Västra Tunhem. Utöver Skogaryd och Västra Tunhem ämnas nu även en mer storskalig analys av ett område i Västra Götaland utföras, med fokus på att hitta skogsområden som haft svårt att återhämta sig. Temperatur- och nederbördsdata från närliggande meteorologisk station, marktäckedata samt höjddata har använts för att se om återhämtningen kan relateras till detta. För att uppnå syftet utgår arbetet från följande frågeställningar:

1. Hur ser återhämtningen ut hos vegetationstyperna *myr, barrskog på mineraljord, barrskog på dränerad organisk jord, kalhygge* och *lövskog* i Skogaryd och Västra Tunhem, sett till förändring i satellitbaserad NDVI för juli månad 2017, 2018 och 2019?
2. Hur ser skogens återhämtning ut i ett större område i Västra Götaland, sett till förändring i satellitbaserad NDVI under juli månad 2017, 2018 och 2019?
3. Vad karakteriserar områden som återhämtat sig dåligt efter 2018 års torka, sett till marktyp, topografi och vegetationens sammansättning?

## 2. Teori

I Sverige finns många skogsbestånd som fortfarande inte återhämtat sig från de torkskador de ådragit sig både direkt och indirekt under sommaren 2018. Nedan följer en beskrivning av torkans påverkan på skog, samt hur det genom fjärranalys går att upptäcka skogsområden som skadats av torka.

### 2.1 *Torkans påverkan på skog*

#### 2.1.1 Torkskador och växtöd

En ökad frekvens av torka kan i grunden påverka sammansättning, struktur och biogeografi hos skogar i flera regioner världen över (Allen m.fl., 2010). Torkskador uppträder när trädens rötter inte längre kan ta upp vatten ur marken i samma takt som trädkronan avdunstar det. När rötterna inte får tillräckligt med vatten signaleras detta till trädens blad som stänger sina klyvöppningar, genom vilka vattnet vanligtvis avdunstar. Genom att stänga klyvöppningarna vid torka kan trädet istället hålla kvar det vatten som finns. Det är också genom klyvöppningarna som koldioxid tas upp, och när dessa stängs avstannar således även fotosyntesen, vilket kan orsaka förändringar i trädets metabolism ned på molekylnivå (Reddy, Chaitanya & Vivekanandan, 2004). Här skiljer sig egenskaperna hos lövskog och barrskog något åt. Barr består av ett mycket tjockt ytskikt som klarar både kyla och torka bättre, samt har klyvöppningar nedsänkta under ytan (Föreningen Skogen, 2000), medan de tunnare löven har mer ytliga klyvöppningar.

Små plantor är mest känsliga för torka, medan större träd klarar sig bättre då de tar upp vatten från större markdjup. Yngre träd vars rötter skadats av torkan klarar inte av att ta upp vatten ordentligt, vilket gör att de skadas och riskerar att dö – men även äldre träd har svårt att återhämta sig (Skogsstyrelsen, 2009). Mest utsatt för torka är skog som växer på grunda jordar, där rötterna ligger närmare markytan (Skogsstyrelsen, 2020). Av våra vanligaste inhemska trädslag i Sverige tål tallen torka bäst. Björkar har förmågan att fälla löv som en skyddsåtgärd och kan därför undvika uttorkning, och kan sedan ofta återhämta sig till nästa växtsäsong (Skogsstyrelsen, 2009). Granar lider däremot stor risk att drabbas av torkdöd eller insektsangrepp, där granbarkborren är det största hotet (Skogsstyrelsen, 2020).

### 2.1.2 Skadegörare

Träd har förmågan att anpassa sig till klimatförändringar, men på grund av deras långa generationstid svarar de långsamt på förändringar av miljön. Skadegörare som insekter och svampar har däremot korta generationstider, och därmed större möjlighet att anpassa sig till ett förändrat klimat (Skogsstyrelsen, 2009). Skog som till följd av torka angripits av svampar eller skadeinsekter blir i sin tur känslig för nya klimatrelaterade skador, och en ond cirkel där effekten av torkskador och skadegörare förstärker varandra riskerar att uppstå (Skogsstyrelsen, 2009).

Bland skadeinsekter är i synnerhet den åttatandade granbarkborren (*ips typographus*) ett stort problem, vilket drabbade stora delar av Götaland under 2018 och 2019. Mest sårbara för granbarkborreangrepp är unga granskogar – särskilt på torra marker – samt dikade torvmarker som kan ha blivit alltför torra för granens ytliga rotsystem (Skogsstyrelsen, 2020). Den mest effektiva metoden för att kontrollera angrepp från granbarkborren är att avverka angripna träd, samt svaga eller skadade träd som annars skulle kunna bidra till granbarkborrens förökning (FAO, 2009). Angrepp från denna typ av skadeinsekter kan därför ge upphov till att skogsområden, eller delar av dem, snabbt måste avverkas.

### 2.1.3 Topografi

En studie från iberiska halvön i medelhavsområdet visar att topografi i landskapet har stor betydelse när det kommer till torkans påverkan på skog. Bland annat höjd, lutning och lutningsriktning spelar roll för hur skog och annan vegetation påverkas (José Vidal-Macua, Ninyerola, Zabala, Domingo-Marimon & Pons, 2017).

Grundvattnen följer landskapets topografi, och vatten rör sig från höga grundvattennivåer till låga, så länge det inte finns mellanliggande topografiska hinder som stoppar vattnet. Branta sluttningar gör att avrinningen på markytan är högre, och att vatten då inte hinner tränga ned i de nedre jordlagren och nå grundvattnet, något som i högre grad sker i flackare sluttningar. Då den största drivkraften bakom erosion och transport av eroderat material är jordens gravitation, är branta sluttningar också mer utsatta för just detta. Den höga avrinningen i sluttningar bidrar till erosionen av marken, vilket gör jordlagret i sluttningar tunnare. Flackare områden där gravitationen inte har lika stor inverkan, och vatten istället kan rinna till, har större möjlighet att bilda tjocka jordlager. Sluttningars lutningsgrad och riktning

påverkar hur mycket solinstrålning som når platsen, och därför också hur mycket vatten som avdunstar från marken på grund av värme. Mark i skuggade sluttningar innehåller därför ofta mer vatten (De Blij, Muller, Burt & Mason, 2013).

## **2.2 Kartläggning av torkans effekter**

### **2.2.1 Fjärranalys**

I *Introduction to Remote Sensing* definierar Campbell och Wynne (2011) fjärranalys som ”insamling av information på avstånd” (s. 4, författarnas översättning). Insamlingen sker ofta genom flygfotografering eller med hjälp av satelliter, och är en effektiv metod för att samla in data över stora områden. Datan kan användas till att övervaka och kartlägga jordens miljö och samhällsstrukturer i form av städer, infrastruktur, mark, vatten och atmosfär (Harrie, 2013). Genom satellitbaserade fjärranalysmetoder täcks stora områden in regelbundet vilket gör det möjligt att upptäcka områden som förändrats på ett ovanligt sätt, till exempel områden med skadad skog (Olsson & Reese, 2018).

Insamlade bilder analyseras i regel med datorbaserade metoder och kan utgöra delar i geografiska informationssystem (GIS), där beräkningar av bildens egenskaper kan göras, så som kartering av pixlar och uträkningar av kvoten mellan två våglängdsband. Genom observationer i fält kan bilderna omvandlas till kartor eller skattningar av till exempel vegetationstyper i olika områden. En vanlig produkt av analysen är en förändringskarta som visar skillnader mellan fjärranalysdata från två eller flera datum (Olsson & Reese, 2018).

Fjärranalyssensorer kan delas in i två olika typer: passiva sensorer och aktiva sensorer. Passiva sensorer registrerar strålning i form av reflekterad solinstrålning eller värmestrålning från objekt på jorden, medan aktiva sensorer själva sänder ut signaler som reflekteras mot målet, där reflektansen av den egna signalen sedan registreras. Optiska sensorer, vilka används vid flygfotografering och framställningen av satellitbilder, är passiva sensorer som endast registrerar reflekterad strålning (Olsson & Reese, 2018). En typ av satellit som använder sig av just passiva sensorer för att framställa satellitbilder är Sentinel-2.

### **2.2.2 Sentinel-2**

Sentinel-2 består av två tvillingssatelliter – Sentinel-2A och Sentinel-2B – ställda 180 ° mot varandra. De två satelliterna skickades upp år 2015 respektive år 2017 (European Space

Agency, u.å.). Sentinel-2 är en del av observationsprogrammet Copernicus, ett projekt med uppdrag att observera jorden via satellit, vilket handhas av European Space Agency (ESA) och Europeiska Unionen (Copernicus, u.å.). Fokusområden för programmet inkluderar resurser och ekosystem, säkerhet, klimatförändringar, transport, regional och lokal planering, maritima frågor, jordbruk och hälsa (Copernicus, 2017). Bland satelliterna som ingår i Copernicusprogrammet är just Sentinel-2 den mest intressanta för skoglig fjärranalys (Olsson & Reese, 2018), då dess uppdrag är att leverera högupplösta, multispektrala bilder med regelbundna återbesök (Copernicus, 2017). Återbesökstiden är fem dagar vid ekvatorn och två till tre dagar vid mittlatituderna. Trots den höga besöksfrekvensen blir dock många av bilderna oanvändbara på grund moln (Olsson & Reese, 2018).

Sentinel-2 har totalt tretton band med en upplösning på mellan 10 och 60 meters pixlar (European Space Agency, u.å.) (tabell 1). Banden är uppdelade i intervall för vilken typ av strålning de representerar, det vill säga vilken våglängd det reflekterade ljuset i form av elektromagnetisk strålning har (Campbell & Wynne, 2011).

**Tabell 1.** Våglängdsband hos Sentinel-2. De band som har använts för analysen är band 4 och 8. Data: Olsson & Reese, 2018

**Table 1.** Wavelength bands of Sentinel-2. The bands used in the analysis are bands 4 and 8. Data: Olsson & Reese, 2018

Band	Central våglängd (µm)	Beskrivning	Pixelstorlek (m)
1	0,443	Aerosol	60
2	0,490	Blå (B)	10
3	0,560	Grön (G)	10
4	0,665	Röd (R)	10
5	0,705	Vegetation Red Edge 5	20
6	0,740	Vegetation Red Edge 6	20
7	0,783	Vegetation Red Edge 7	20
8	0,842	Nära infraröd (NIR)	10
8a	0,865	Smal nära infraröd	20
9	0,945	Vattenånga	60
10	1,375	Kortvågig infraröd (SWIR)	60
11	1,610	Kortvågig infraröd 1 (SWIR1)	20
12	2,190	Kortvågig infraröd 2 (SWIR2)	20

### 2.2.3 Elektromagnetisk strålning

De flesta fjärranalyssensorer använder sig av strålning i det elektromagnetiska spektrat vid insamling av data (Olsson & Reese, 2018). Det elektromagnetiska spektrat utgörs av elektromagnetisk strålning, där den mest välkända typen av strålning är synligt ljus. Det synliga ljuset utgör dock bara en liten del av hela spektrat, och den strålning som ligger utanför spannet för vad människans öga kan uppfatta som färg, kan ge helt andra typer av information (Campbell & Wynne, 2011).


Elektromagnetisk strålning kan beskrivas som en vågrörelse, där olika sorters strålning har olika våglängd över ett spektrum som sträcker sig från gammastrålning med våglängder på  $10^{-11}$  meter, till radiovågor med våglängder på över 1 meter (Campbell & Wynne, 2011). Våglängderna för synligt ljus ligger på 0,4 - 0,7 mikrometer (tabell 2), där solen är den mest uppenbara källan till strålning (Olsson & Reese, 2018).

Strålningens våglängder delas in i intervall, så kallade band, vilka representerar olika egenskaper hos strålningen. Den reflekterade strålningen som når en sensor kan lagras i pixlar (picture elements), i form av digitala numeriska värden för de olika banden, och bestämmer på så vis pixelns färg. Tillsammans utgör pixlarna satellitbilden (Campbell & Wynne, 2011). Variation i strålningens reflektans hos olika marktyper kan således användas för både manuell och datorbaserad tolkning av markytans egenskaper (Olsson & Reese, 2018).

*Tabell 2. Exempel på våglängdsband i det elektromagnetiska spektrat. Data: Olsson & Reese, 2018*

*Table 2. Example of wavelength bands of the electromagnetic spectrum. Data: Olsson & Reese, 2018*

Synligt ljus Blått	Synligt ljus Grönt	Synligt ljus Rött	NIR (nära- infraröd)	SWIR (kortvågig infraröd)	Mellan-infraröd	Mikrovågor
0,4 – 0,5 $\mu\text{m}$	0,5 – 0,6 $\mu\text{m}$	0,6 – 0,7 $\mu\text{m}$	0,7 – 1,4 $\mu\text{m}$	1,4 – 3,0 $\mu\text{m}$	3,0 – 14,0 $\mu\text{m}$	1 mm – 1 m



The diagram below the table shows a continuous wave pattern representing electromagnetic radiation. The left side of the wave is labeled 'Kortvågig strålning' (short wavelength radiation) and the right side is labeled 'Långvågig strålning' (long wavelength radiation). The wave has a high frequency and short wavelength on the left, which gradually decreases in frequency and increases in wavelength towards the right, illustrating the transition from visible light to radio waves.

#### **2.2.4. Vegetationens reflektans**

Solens elektromagnetiska strålning kan när den når jorden delas upp i tre komponenter: *reflekterad* strålning, *absorberad* strålning och *transmitterad* strålning. *Transmitterad* strålning är den strålning som går genom objekt och når ut på andra sidan. Den *reflekterade* strålningen innefattar synligt ljus, medan strålning som *absorberas* omvandlas till energi och – när det kommer till gröna växter – används vid fotosyntes. Fotosyntesen använder sig mest av strålning i form av rött och blått ljus. Det är således – i det synliga spektrat – strålning i form av grönt ljus som reflekteras och gör att vegetation uppfattas som grön (Olsson & Reese, 2018). Dessa tre komponenter gör att det inte bara är våglängd som påverkar vilken strålning som reflekteras, utan också egenskaper så som bladens struktur, vegetationens täthet, ålder och vatteninnehåll (Jones & Vaughan, 2010).

Vegetationens tillväxt och utveckling samt stressfaktorer förändrar bladens kemi och struktur, en förändring som således också kan registreras i vegetationens spektrala signatur. Fotosyntetiskt aktiv vegetation har hög reflektans i det nära infraröda våglängdsbandet, vilket är starkt påverkat av vegetationens vatteninnehåll. Bandet motsvarar våglängder på något längre än 0,7 mikrometer, vilket inte kan uppfattas av det mänskliga ögat (Jones & Vaughan, 2010). Våglängderna kan däremot registreras av optiska sensorer hos en satellit, och med hjälp av ett datorsystem presenteras i form av en färgbild (Campbell & Wynne, 2011). På så vis kan egenskaper hos vegetationen, som inte kan registreras med blotta ögat, registreras och analyseras med hjälp av ett datorprogram, och ett vegetationsindex kan skapas.

#### **2.2.5 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**

NDVI är ett mått på grönska hos vegetation, som baseras på en kvot mellan det nära infraröda och det röda våglängdsbandet. På grund av sättet som gröna växter absorberar och reflekterar ljus under växtsäsongen kommer förhållandet mellan dessa våglängdsband att variera beroende på hur aktiv fotosyntesen är hos en växt (Peters m.fl, 2002; NASA, 2000).

Av flera vegetationsindex som finns är NDVI det mest använda (Volcani, Karnieli & Svoray, 2005). Det används bland annat för övervakning av torka, prognoser inom jordbruk och prognostisering av skogsbränder. Indexet är bra för att få en överskådlig bild av vegetationens status, då det hjälper till att kompensera för förändringar bland annat i ljus och lutningsprofil (Mróz & Sobieraj, 2004). Förändringsanalys av NDVI från flera olika



tidpunkter har visat sig vara användbart för att studera vegetationens dynamik och marktäckets vatteninnehåll (Peters m.fl, 2002; Volcani m.fl., 2005). Fysiologiska förändringar hos skog under dess växtsäsong kan kopplas till förändring i NDVI, där effekter av stress, så som torka, demonstreras väl genom sjunkande NDVI-värden (Volcani m.fl., 2005).

Vid förändringsanalyser med mål att identifiera avvikelser från skogens normala utveckling är det att föredra att de satellitbilder som jämförs är från mitten eller senare delen av sommaren. Vegetationens grönska är då som mest stabil, och en korrekt jämförelse av dess spektrala reflektans vid olika tidpunkter kan göras. I Sverige uppskattas denna period inträffa ungefär mellan den 15e juni och den 31a augusti. Bilder från andra tider på året riskerar att innehålla färgvariationer som kan misstas för förändringar (Olsson & Reese, 2018).

Skalan för NDVI går mellan -1 och +1, där ett värde nära +1 innebär mest grönska; minusvärden indikerar generellt moln, vatten eller snö och värden nära noll representerar berg och annan vegetationsfri mark (NASA, 2000; ESRI, 2016) (tabell 3).

Tät och frisk vegetation genererar således ett högre NDVI-värde än gles eller skadad vegetation (Volcani m.fl., 2005). För uträkning av NDVI används formeln:

$$NDVI = ((NIR - R) \div (NIR + R)) \quad (1)$$

det vill säga differensen hos det ljus som reflekteras i det röda (R) bandet och det nära-infraröda (NIR) bandet, delat med summan av dessa (Mróz & Sobieraj, 2004).

**Tabell 3.** NDVI-värden med motsvarande marktyper. Data: ESRI, 2016

**Table 3:** NDVI values with corresponding land cover. Data: ESRI, 2016

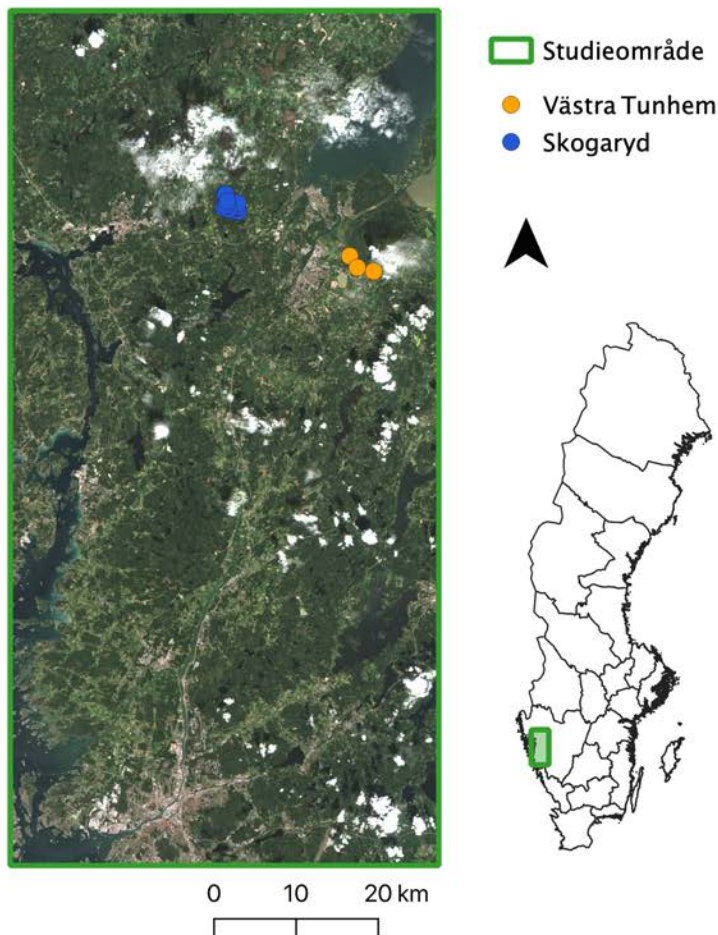
NDVI-värde	Typ av marktäcke
< 0	Moln, vatten, snö
0 — 0,1	Bar mark med berg, sand eller snö
0,2 — 0,3	Gräs och buskvegetation
0,6 — 0,8	Tempererade och tropiska skogar

### **2.2.6 Tidigare studie i Västra Götaland**

År 2019 genomförde Erica Flink och Ville Stålnacke studien *Torkan 2018 och dess påverkan på skogsvegetation i Skogaryd och Västra Tunhem, Västra Götaland*, där NDVI hos flera vegetationstyper – däribland barrskog och lövskog – i Skogaryd och Västra Tunhem analyserades. Studien visar att NDVI-värdena i de olika vegetationstyperna generellt sett var lägre under den torra och varma sommaren 2018, jämfört med under en mer normal sommar så som 2017. Den tydligaste effekten av torkan syns i juli månad, då vegetationen normalt sett skulle ha nått sina maximala NDVI-värden (Flink & Stålnacke, 2019). Genom att mäta vegetationens förändring med två olika vegetationsindex – NDVI och NDWI (Normalized Difference Water Index) – framgick det även att barrskog och lövskog återger torra tydligast genom mätningar av NDVI, och att NDVI generellt är en bättre indikator på torkans påverkan på vegetationen i det undersökta området än NDWI (Flink & Stålnacke, 2019). Studien är ett exempel på hur satellitbilder kan användas för att kartlägga torkans påverkan på vegetation i Västra Götaland.

### 3. Studieområde

Det fullskaliga studieområdet omfattar en area på 50 x 100 kilometer och är beläget i västra delen av Västra Götalands län (figur 1). Området inkluderar även två mindre fokusområden som innefattar Skogaryd och Västra Tunhem, där olika vegetationstyper tidigare studerats av Flink och Stålnacke (2019). Avgränsningen av studieområdet har i första hand gjorts enligt dimensionerna hos en så kallad *granule* – en satellitbild från Sentinel-2 – vilken mäter 100 x 100 kilometer. Då satellitbilderna som använts för de olika åren har olika koordinatsystem, har det slutgiltiga området dock valts utifrån den överlappande delen hos bilderna, vilket gett ett studieområde som mäter 50 x 100 kilometer.

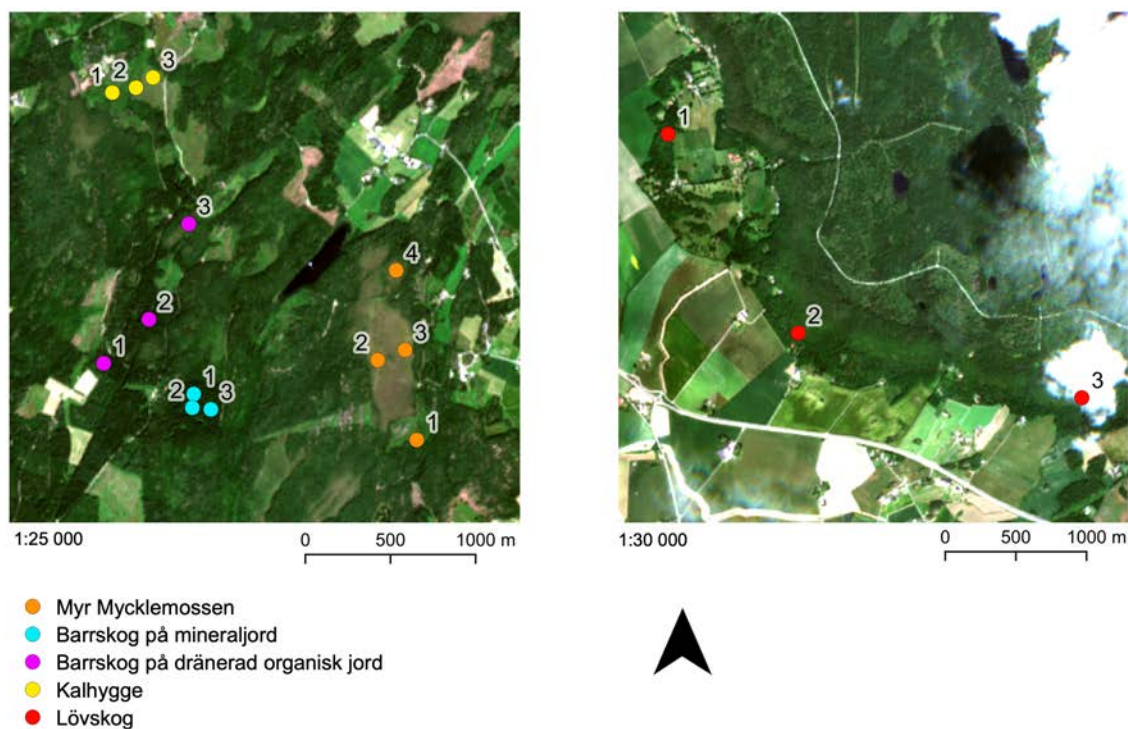


**Figur 1.** Studieområdet som Sentinel-2 satellitbild (juli 2019) i sannfärg, samt områdets läge i Sverige och Västra Götalands län. Mätpunkter från Västra Tunhem och Skogaryd syns i den norra delen av området. Data: Diva-GIS, Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

**Figure 1.** The study area as a satellite image from Sentinel-2 (July 2019) in true color, and the location of the study area in Sweden and Västra Götaland County. Measurement points from Västra Tunhem and Skogaryd can be seen in the northern part of the area. Data: Diva-GIS, Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

Området tillhör den södra barrskogsregionen, även kallad den boreonemorala vegetationszonen. Typiskt för skogar i regionen är att de domineras av barrskog, men de har även inslag av lövskog, med bland annat björk och al, samt ädellövträd som ek, lind och hassel (Moen, 1998). Utöver dessa typer av vegetation finns, enligt nationella marktäckedatan och Lantmäteriets översiktskarta, i studieområdet även andra marktyper såsom sankmark, berg i dagen, större och mindre tätorter och jordbruksmark.

Den analys som genomförts på mindre skala för vegetationstyperna *myr*, *barrskog på mineraljord*, *barrskog på dränerad organisk jord*, *kalhygge* samt *lövskog* har utgått från NDVI-värden som registrerats hos olika vegetationstyper av Flink och Stålnacke (2019). Vegetationstyperna är belägna i Skogaryd och Västra Tunhem i Vänersborgs kommun i Västra Götalands län (figur 2; tabell 5).



**Figur 2.** Satellitbild från 2019 med mätpunkternas placering i Skogaryd till vänster och Västra Tunhem till höger. Se figur 1 för punkternas placering i studieområdet. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

**Figure 2.** Satellite image from 2019 with the measure position in Skogaryd (left) and Västra Tunhem (right). For the location of the points in the study area, see Figure 1. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

**Tabell 5.** Lista över de olika vegetationstyperna i Skogaryd och Västra Tunhem samt hur punkterna benämns. Observera att fältstudier ej genomförts för lövskog punkt 2 och 3, varför de saknar detaljerade beskrivningar av vegetationen. Data: Flink & Stålnacke (2019)

**Table 5.** The different types of vegetation in Skogaryd and Västra Tunhem along with descriptive names. Note that no field study was conducted for the points 2 and 3 in the lövskog/deciduous forest category, which is why they lack detailed descriptions of the vegetation. Data: Flink & Stålnacke (2019)

Vegetationstyp	Trädslag	Dominerande markvegetation
<b>SKOGARYD</b>		
<b>Myr Mycklemossen</b>		
Myr 1	Ungbjörk	Gräsbevuxen mossa
Myr 2	(inget)	Mossa
Myr 3	Låg tall	Mossa
Myr 4	Låg tall	Gräsbevuxen mossa
<b>Barrskog på mineraljord</b>		
Mineral 1	Hög gran	Mossa
Mineral 2	Hög gran	Gräsbevuxen mossa
Mineral 3	Låg gran	Gräsbevuxen mossa
<b>Barrskog på dränerad organisk jord</b>		
Dränerad 1	Hög gran	Mossa
Dränerad 2	Gran	Mossa
Dränerad 3	Tall	Gräs; mossa
<b>Kalhygge</b>		
Kalhygge 1	Ungbjörk	Gräs
Kalhygge 2	Ungbjörk	Gräs; mossa
Kalhygge 3	Ungbjörk	Gräs; mossa
<b>VÄSTRA TUNHEM</b>		
<b>Lövskog</b>		
Lövskog 1	Ek	Nedfallna löv
Lövskog 2	-	-
Lövskog 3	-	-

Skogaryd inkluderar marktyper som myr, dränerad skog, kalhygge, sjöar och vattendrag (SITES, u.å.). Från att till största delen ha varit våtmark, började man under andra halvan av 1800-talet dika ut och använda marken till jordbruk. På 1950- och 1960-talet gjordes skogsplantering av gran (Göteborgs universitet, 2015), vilket är det trädslag som idag är dominerande (Flink & Stålnacke, 2019). I Skogaryd finns en forskningsstation som drivs av

Göteborgs universitet och är en del av Swedish Infrastructure for Ecosystem Science's (SITES) infrastruktur för mark- och vattenbunden forskning (Göteborgs universitet, 2019). Forskningen i Skogaryd är fokuserad på utsläpp av växthusgaser från dränerad organisk skogsmark (SITES, u.å.).

Västra Tunhem är beläget på en moränplatå öster om Vänersborg tätort. I området finns både naturlandskap och kulturhistoriska miljöer, och marken tros ha nyttjats för jordbruk sedan järnåldern – gravar i området har daterats till mellan 500 f.Kr och 500 e.Kr. (Länsstyrelsen Västra Götaland, u.å.). Västra Tunhem är skyddat som naturreservat, och vegetationen består till största delen av lövträd (Flink & Stålnacke, 2019).

## 4. Data och metoder

### 4.1 Datainsamling

#### 4.1.1 Sentinel-2 satellitdata över Västra Götaland

Alla satellitbilder i studien är från Sentinel-2 och är 100 x 100 km stora. Satellitbilderna är från olika år men från närliggande datum i juli månad, vilket är den månad då vegetationen är som grönast och som mest stabil, och därför mest lämplig att analysera (Olsson & Reese, 2018). Flink och Stålnackes (2019) studie visar även på att förändringen i NDVI i studieområdet är störst under juli månad.

Satellitdata från 2019 som inkluderar områden kring Skogaryd och Västra Tunhem i Västra Götaland har inhämtats för att kunna göra jämförelser av dessa områden mot år 2019, och för att kunna göra en fristående mer storskalig förändringsanalys av NDVI. Datan har hämtats via tjänsten EO-browser, som är länkad till Copernicus Open Access Hub, vilken tillhandahåller öppen satellitdata från ESAs projekt Copernicus (Sinergise, u.å.). Den bild som använts är från 2019-07-12. Bilden valdes då det är den bild med minst andel moln, tagen vid ungefär samma datum i juli som bilderna från 2017 och 2018, som finns att tillgå (tabell 4).

*Tabell 4. Översikt över de satellitbilder som använts i studien.*

*Table 4. An overview of the satellite images used in the study.*

	Datum	Moln (%)
<b>Data från tidigare studie</b>		
Sentinel-2	2017-07-04	2,9
Sentinel-2	2018-07-27	0,1
<b>Data från Open Access Hub</b>		
Sentinel-2	2019-07-12	0,6

För åren 2018 samt 2019 fanns bilder av god kvalitet i referenssystemet WGS84 32 att använda till analysen över hela studieområdet. Någon molnfri bild från 2017 med samma referenssystem fanns dock inte att tillgå, varför en bild med WGS84 33 istället fick användas för detta år. På grund av satellitbildernas olika referenssystem överlappar de inte varandra helt, vilket gjort att studieområdet begränsats till ett område på 50 x 100 km – det område där satellitbilderna överlappar varandra.



#### **4.1.2 Sentinel-2 satellitdata över Skogaryd och Västra Tunhem**

Data från Flink och Stålnackes (2019) studie har tillhandahållits i form av behandlade satellitbilder från Sentinel-2, innehållande NDVI över Skogaryd och Västra Tunhem från 2017-07-04 och 2018-07-27, ursprungligen hämtade från Copernicus Open Access Hub (tabell 4). Även det punktlager som i den tidigare studien använts för att ta fram specifika NDVI-värden för 2017 och 2018 har här använts för att ta fram NDVI för 2019. Lagret består av sexton punkter belägna i fem olika vegetationsområden: myr; lövskog; barrskog på mineraljord; barrskog på dränerad organisk jord; kalhygge, där fältstudier också utförts i den tidigare studien (Flink & Stålnacke, 2019).

#### **4.1.3 Nationella marktäckedata**

För att utföra en NDVI-analys som fokuserar på endast skog i ett större område behövs kännedom om vilka områden som består av skogsmark. Dessa områden har identifierats med hjälp av nationella marktäckedata, vilket är en rikstäckande kartering av Sveriges marktäcke (Naturvårdsverket, 2019a) i form av ett raster med 10 meters upplösning (Naturvårdsverket, 2019b). Datan är från 2018 och innehåller kartering över skog, öppen våtmark, åkermark, övrig öppen mark, exploaterad mark och vatten – flera med tillhörande undergrupper. Kategorin skog innehåller sexton undergrupper, vilka talar om skogstyp och om skogen växer på våtmark eller ej (Naturvårdsverket, 2019b). Dessa undergrupper har använts för att sammanställa egenskaper hos skogen i studieområdet.

#### **4.1.4 Höjddata**

För att få information om topografien, i form av höjd, lutning och lutningsriktning, i studieområdet har Lantmäteriets *Höjddata grid 50+ nh raster* (2015) använts, vilket har en upplösning på 50 meter. Datan har hämtats via SLU:s nedladdningstjänst Geodata Extracion Tool.

#### **4.1.5 Klimatdata**

Klimatdata från SMHI:s väderstation 82230 i Vänersborg, vilket är den väderstation som ligger närmast Skogaryd och Västra Tunhem och som även användes av Flink och Stålnacke (2019), har hämtats via SMHI:s tjänst för öppna data. Datan består av månadsmedelvärden

för nederbörd och lufttemperatur, samt nederbörd och lufttemperatur för den nuvarande normalperioden (1961-1990) (SMHI 2019). Klimatdatan används främst för att analysera NDVI-förändringar i Skogaryd och Västra Tunhem, men anses även vara representativ för det fullskaliga studieområdet.

## **4.2 Databearbetning**

Valet att ha NDVI som indikator på vegetationens status har gjorts baserat på resultaten i Flink och Stålnackes studie (2019), då detta visat sig vara ett lämpligt sätt att analysera vegetationen i området.

Då arbetet är begränsat till enbart distans-studier har inga observationer i fält kunnat genomföras. Istället har marktäckedata i kombination med satellitbilder och Google Earth Pro använts för att närmare undersöka studieområdet. De program som använts för att genomföra analyser och göra beräkningar är GIS-programvaran QGIS och kalkylprogrammet Numbers. Vid enstaka moment där specifika verktyg varit nödvändiga har även GIS-programvaran ArcMap använts.

### **4.2.1. NDVI från Sentinel-2-bilder**

För att räkna ut NDVI-värden för juli 2019 användes det röda (R) och det nära infraröda (NIR) bandet från Sentinel-2-bilden från 2019. I QGIS:s rasterkalkylator räknades NDVI ut genom formel 1. Detta gav en ny rasterbild bestående av pixlar med NDVI-värden. NDVI för satellitbilderna från juli 2017 och 2018 var sedan innan uträknat av Flink och Stålnacke (2019).

### **4.2.2 NDVI 2017–2018–2019 i Skogaryd och Västra Tunhem**

Jämförelsen mellan NDVI-värden hos vegetationen i juli 2017, 2018 och 2019 i Skogaryd och Västra Tunhem gjordes genom att först extrahera NDVI-värden från 2017 och 2018 års NDVI-bilder. Värdena hämtades från de punktkoordinater som satts ut i vegetationen i den tidigare studien, genom extrahering i QGIS med hjälp av plug in:et *Point Sampling Tool*. Plugin:et hämtar pixelvärden från rastret under de aktuella punkterna (GitHub, 2020). Värdena lades in i programmet Numbers, där de kontrollerades mot resultaten i den tidigare studien, för att försäkra att det inte uppstått något fel vid behandlingen av datan.

Med hjälp av Point Sampling Tool registrerades NDVI-värden även för 2019, för att ta reda på vegetationens status ett år efter torkan. Dessa värden lades till i Numbers tillsammans med värdena från 2017 och 2018. Därefter kunde förändringar i NDVI hos de olika vegetationstyperna analyseras.

#### 4.2.3 NDVI 2017–2018–2019 i Västra Götaland

Den storskaliga NDVI-analysen som ämnar identifiera platser i Västra Götaland där skogen inte återhämtat sig sedan torkan 2018, utgår från samma NDVI- och satellitbilder som använts i momentet ovan.

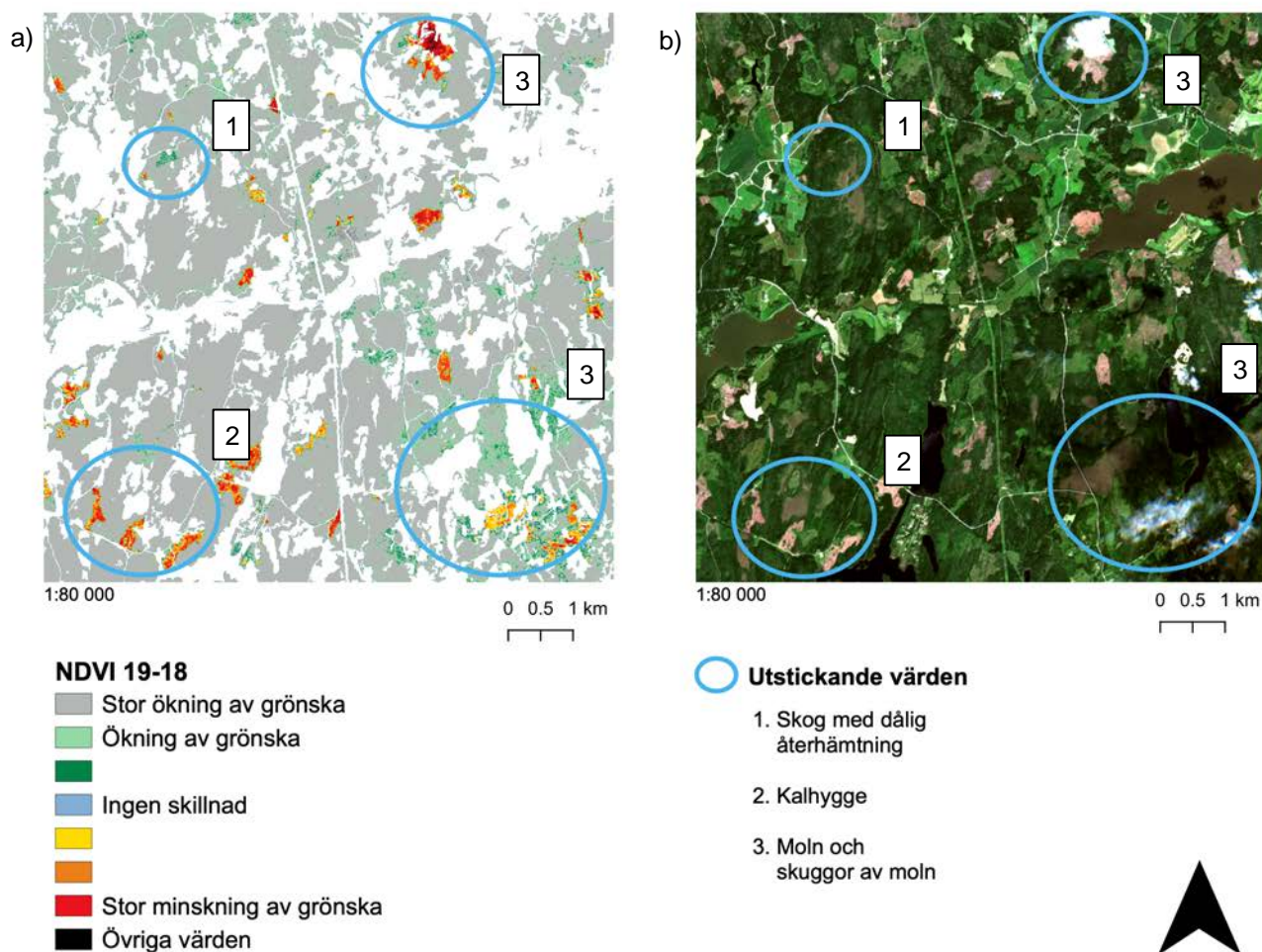
För att i första hand identifiera skogsområden relevanta för vidare analys framställdes med hjälp av nationella marktäckedatan ett masklager bestående av enbart skog. Till skillnad från de andra processerna utfördes detta moment i ArcMap med verktyget *Reclassify*, där rastret delades in i två klasser, ett för skog och ett för resterande typer av marktäcke. Det omklassade rastret användes sedan för att i QGIS maskera bort allt annat än skog ur NDVI-bilderna från 2017, 2018 och 2019.

Skillnaden i NDVI-värde mellan åren räknades sedan ut med hjälp av rasterkalkylatorn enligt formlerna:

$$NDVI_{19-18} = NDVI_{2019} - NDVI_{2018} \quad (2)$$

$$NDVI_{19-17} = NDVI_{2019} - NDVI_{2017} \quad (3)$$

Beräkningarna genererar två skillnadsbilder där NDVI 19-18 illustrerar skillnaden i NDVI mellan 2018 och 2019 och NDVI 19-17 illustrerar skillnaden i NDVI mellan 2017 och 2019. Positiva värden innebär då att vegetationen har ett högre NDVI år 2019 än det år det jämförs mot, och att den därmed återhämtat sig. Nollvärden innebär att NDVI är det samma mellan åren och att ingen förändring har skett hos skogen. Minusvärden innebär att NDVI är lägre 2019 än året det jämförs mot, och därmed att vegetationen kan ha skadats. Förändringsvärdena i skillnadsbilden har därför delats in i olika färgklasser (figur 3) för att värden i spannet 0,1 till -0,3 enkelt skall kunna lokaliseras. Valet av just detta spann har gjorts för att kunna identifiera vegetation som återhämtat sig väldigt lite ( $0,1 > 0$ ), inte alls (0) eller där återhämtningen uteblivit ( $0 < -0,3$ ).



**Figur 3.** Exempel på hur områden med dålig återhämtning identifierats. Karta a) visar en förändringsbild med förändringen i NDVI mellan 2018 och 2019, där allt som inte är skog maskerats bort och därför är vitt i bilden. Karta b) är satellitbilden från 2019 där utstickande värden så som moln och kalhyggen kan identifieras, vilket visas som exempel 2 och 3. Exempel 1 visar ett skogsområde med låg till ingen återhämtning, värt att undersöka vidare. Data: Open Access Hub, Nationella marktäckedata

**Figure 3.** Example of how areas which poor recovery has been detected. Map a) shows a change analysis image, with the change in NDVI between 2018 and 2019, where everything that is not forest has been masked, and is seen as white in the image. Map b) shows the satellite image from 2019, where extreme values such as clouds and clear-cut areas can be identified, which is shown in example 2 and 3. Example 1 shows an area with forest with low to no recovery, worth further investigation. Data: Open Access Hub, Nationella marktäckedata

Skillnadsbilden NDVI 19-18 analyserades först, för att identifiera områden där NDVI endast ökat lite, var det samma eller hade minskat år 2019. Värdena i de områden som identifierats i skillnadsbilden NDVI 19-18 jämfördes sedan mot värdena i NDVI 19-17. Detta gjordes för att se hur förändringen i NDVI i dessa områden sett ut mellan 2017 och 2019, och således om värdet har återgått till det samma som innan torkan, eller inte. Möjligheten fanns då även att

identifiera om NDVI varit oförändrat över alla tre år, och således inte påverkats av torkan 2018.

Alla områden kunde inte jämföras mot 2017, då moln i 2017 års satellitbild täckte flera av platserna. Några exakta NDVI-värden för områdena har heller inte tagits ut, då områdena är relativt stora och innehåller många olika värden, samt flera olika typer av skog och marktyp. Ett NDVI-värde från en pixel på endast 10 x 10 meter anses därför inte ge så mycket användbar information om området. Här konstateras således endast att de identifierade områdena inte återhämtat sig, vilket anses vara tillräckligt för att fullfölja analysen.

#### **4.2.4 Marktäcke och terräng**

Nationella marktäckedatan har använts för att ta reda på vilken skogstyp och vilken marktyp som finns på platser i området. För att få fram höjd över havet, lutning och lutningsriktning har även höjddatan från lantmäteriet använts. Lutningen och lutningsriktning har tagits fram med hjälp av verktygen *Lutning* och *Lutningsriktning*. Lutningsriktningen motsvaras av graderna hos en cirkel, där norr är 0 ° och 360 °, öst är 90 °, syd är 180 ° och väst är 270 °. Från vektorpunkterna i Skogaryd och Västra Tunhem, samt från de punkter som satts ut i områden med dålig återhämtning, extraherades värdena för marktäcke och terräng med hjälp av *Point Sampling Tool*. Värdena exporterades till Numbers för statistisk analys och framställning av tabeller och diagram.

#### **4.2.5 Generalisering av studieområdet**

Ett lager med 500 slumpmässigt utsatta punkter skapades för att kunna ta fram en generaliserad bild av skogen i studieområdet. Punkterna sattes ut med minst 50 meters mellanrum, med hjälp av verktyget *Slumpmässiga punkter inuti polygoner*, där polygonen bestod av ett vektoriserat lager av skogens utbredning. Efter att punkter som hamnat på moln tagits bort kvarstod 290 punkter, från vilka värden från NDVI 19-18, NDVI 19-17, marktäcke, höjd över havet och lutningsgrad extraherades. Resultaten exporterades till Numbers för vidare statistisk analys och jämförelse mot övriga resultat. Genomsnittlig lutningsriktning för hela området har inte räknats ut då detta inte anses vara nödvändigt för att fullfölja analysen.

#### **4.2.6 Klimatdata**

Klimatdatan har delats in i perioder om tre månader med start i augusti och slut i juli. Vanligtvis brukar analyser av vattentillgång i marken utgå från det hydrologiska året, vilket sträcker sig från den första oktober till den sista september. Anledningen till detta är att den nederbörd som faller under höst- och vintermånaderna också den kan påverka vattenbalansen i marken. Påverkan sker huvudsakligen genom snö som faller under vintern, men smälter ned i marken först under våren (SMHI, 2018). Då den här analysen dock fokuserar på faktorer som påverkar en specifik månad – juli – har en annan indelning av året gjorts, med start i augusti och slut i juli. Klimatanalyserna i studien följer således den här indelningen, vilket gör att till exempel juli 2017 analyseras med hjälp av klimatdata från första augusti 2016 till och med sista juli 2017.

## 5. Resultat

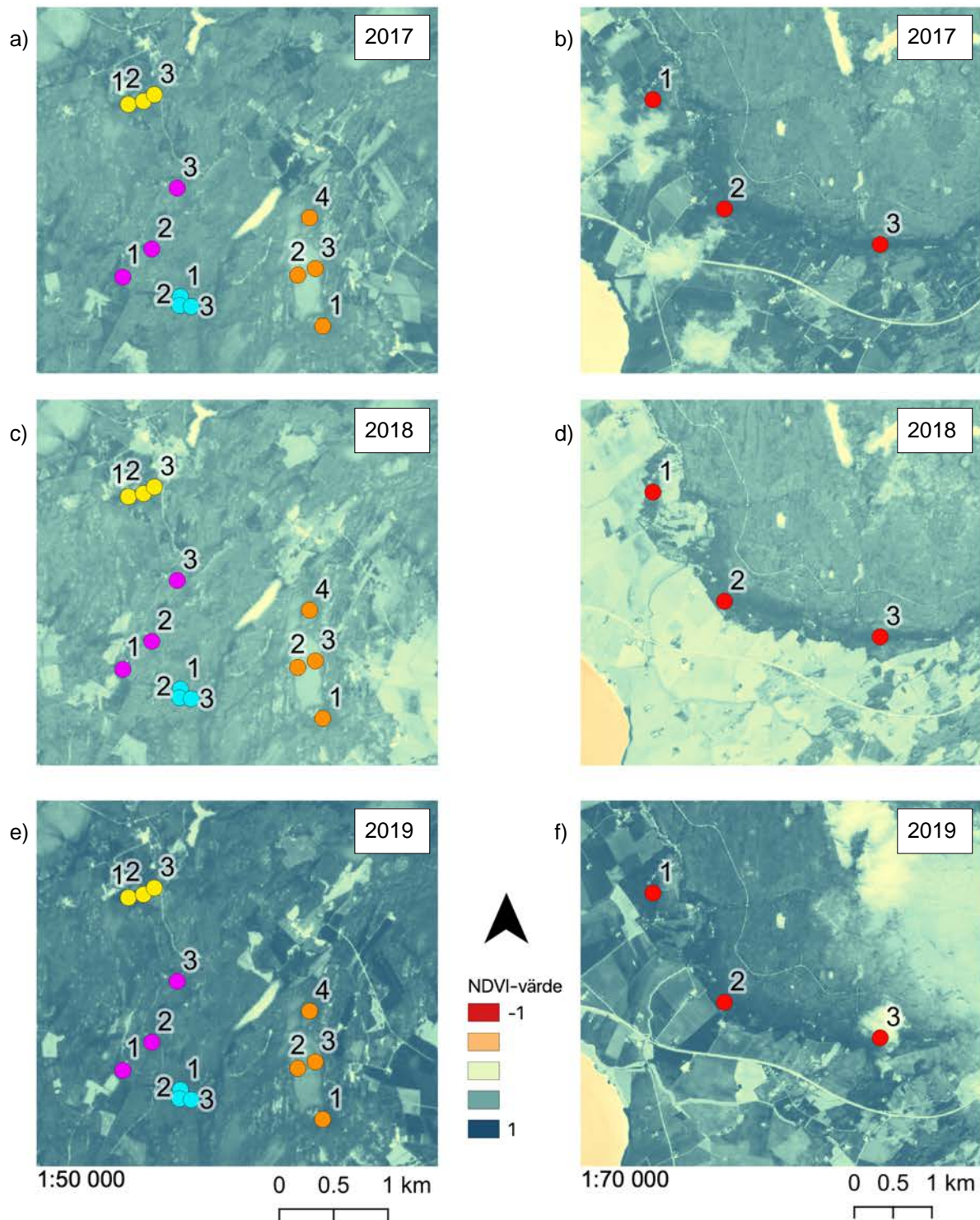
Nedan presenteras först återhämtning, marktäckelse och terräng för vegetationen i Skogaryd och Västra Tunhem. Därefter presenteras resultatet från analysen av skog i hela studieområdet, innefattande platser som inte återhämtat sig från torkan 2018, samt marktäckelse och terräng på dessa platser. Som referens till resultaten presenteras även en generalisering av hela studieområdet utifrån återhämtning, marktäckelse och terräng. Klimatdata i relation till NDVI-värden i Skogaryd och Västra Tunhem redovisas också.

### *5.1 Återhämtning i Skogaryd och Västra Tunhem*

NDVI-värden från juli månad för vegetationstyperna i Skogaryd och Västra Tunhem har jämförts mellan åren 2017, 2018 och 2019 för att ta reda på om vegetationen återhämtat sig efter torkan år 2018. Samtliga vegetationstyper visar ett ökat genomsnittligt NDVI både mellan åren 2018 och 2019 samt mellan 2017 och 2019. Ökningen tyder på att vegetationen överlag återhämtat sig, även om skillnader finns mellan de enskilda mätpunkterna.

Återhämtningen visas i första hand genom de färgsatta NDVI-kartorna i figur 4 nedan. Färgerna återger hur torkan påverkat områdena negativt år 2018, samt hur vegetationen år 2019 har högre NDVI än både 2017 och 2018.



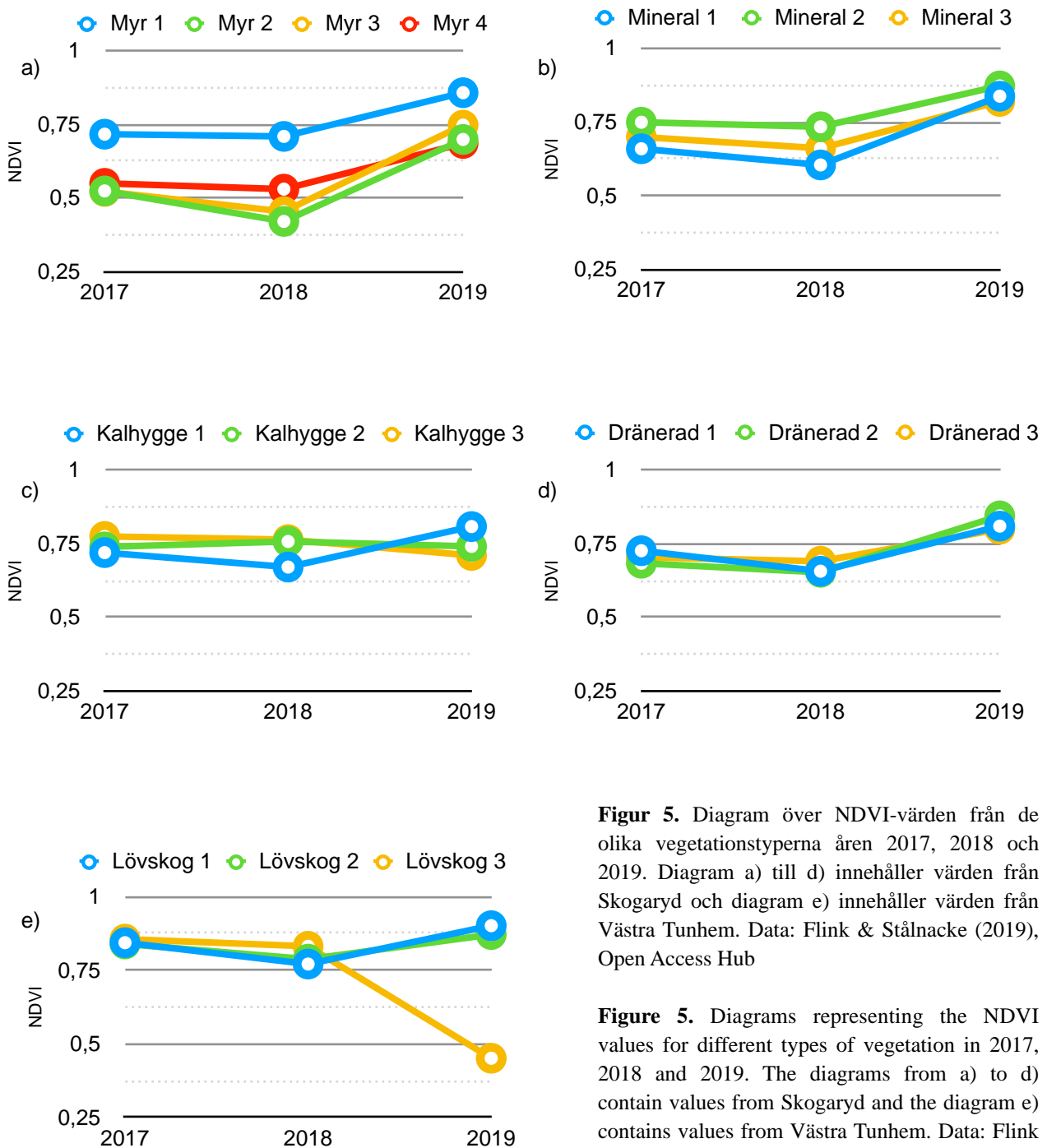


**Figur 4.** Översikt över färgsatta NDVI-bilder från de olika åren och de aktuella mätpunkterna. Kartorna till vänster, a), c) och e) visar Skogaryd medan kartorna till höger b), d) och f) visar Västra Tunhem. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

- Barrskog på dränerad organisk jord
- Barrskog på mineraljord
- Kalhygge
- Myr Mycklemossen
- Lövskog

**Figure 4.** Overview of colorised NDVI images from the different years, and the measuring points. Maps a), c) and e) to the left show the measurement points in the Skogaryd area, while map b), d) and f) to the right show the measurement points in Västra Tunhem. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

De samlade NDVI-värdena (figur 5) visar att NDVI från 2019 är högst av alla år i alla punkter förutom tre. En av dessa punkter – Lövskog 3 – kan direkt räknas bort då punkten i 2019 års satellitbild täcks av ett moln och resultatet därför är obrukbart (figur 5e; 4f). De andra avvikande punkterna, med lägre eller samma NDVI-värden 2019, innefattar punkterna Kalhygge 2 och Kalhygge 3 (figur 5c; tabell 6).



**Figur 5.** Diagram över NDVI-värden från de olika vegetationstyperna åren 2017, 2018 och 2019. Diagram a) till d) innehåller värden från Skogaryd och diagram e) innehåller värden från Västra Tunhem. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

**Figure 5.** Diagrams representing the NDVI values for different types of vegetation in 2017, 2018 and 2019. The diagrams from a) to d) contain values from Skogaryd and the diagram e) contains values from Västra Tunhem. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub

I tabell 6 redovisas den procentuella förändringen av NDVI-värden mellan åren. Förändringen mellan år 2017 och 2018 representerar torkans påverkan på vegetationen. Förändringen i NDVI mellan år 2018 och 2019 visar om och hur mycket vegetationen återhämtat sig från torkan, medan förändringen mellan 2017 och 2019 visar om vegetationen återhämtat sig till samma nivå som innan torkan.

**Tabell 6.** NDVI-värden från de olika åren, med dess procentuella förändring mellan 2017 och 2018, mellan 2018 och 2019 samt mellan 2017 och 2019. Observera att punkten Lövskog 3 täcks av moln i 2019 års bild och därför inte kunnat användas för att räkna ut snittförändringen för vegetationstypen lövskog. Data: Flink & Stålnacke (2019)

**Table 6.** NDVI values from the different years, with the change in percent between 2017 and 2018, between 2018 and 2019, and between 2017 and 2019. Note that the point Lövskog 3 is covered by clouds in the image from 2019 and could not be used when calculating the average change in deciduous forest. Data: Flink & Stålnacke (2019)

NDVI juli/ Vegetationstyp	2017	2018	2019	Förändring 2017 till 2018 (%)	Förändring 2018 till 2019 (%)	Förändring 2017 till 2019 (%)	Snitt 2017 till 2018 (%)	Snitt 2018 till 2019 (%)	Snitt 2017 till 2019 (%)
<b>Myr Mycklemossen</b>									
Myr 1	0,72	0,71	0,86	-1	21	20			
Myr 2	0,52	0,42	0,70	-20	66	33			
Myr 3	0,52	0,45	0,75	-13	65	43			
Myr 4	0,55	0,53	0,69	-4	29	25	-9	45	30
<b>Barrskog på mineraljord</b>									
Mineral 1	0,66	0,60	0,84	-8	39	27			
Mineral 2	0,75	0,73	0,87	-2	19	16			
Mineral 3	0,70	0,66	0,82	-5	24	17	-5	27	20
<b>Barrskog på dränerad organisk jord</b>									
Dränerad 1	0,73	0,66	0,81	-10	23	11			
Dränerad 2	0,68	0,65	0,85	-4	29	24			
Dränerad 3	0,70	0,69	0,80	-2	16	14	-5	23	16
<b>Kalhygge</b>									
Kalhygge 1	0,72	0,67	0,81	-7	20	12			
Kalhygge 2	0,74	0,76	0,74	3	-2	0			
Kalhygge 3	0,78	0,76	0,71	-1	-7	-8	-2	4	1
<b>Lövskog</b>									
Lövskog 1	0,84	0,77	0,90	-9	17	7			
Lövskog 2	0,84	0,79	0,87	-6	11	4			
Lövskog 3	0,86	0,83	0,45	-3	-46	-47	-6	14	5

I snitt är det vegetationen på *myr Mycklemossen* som visar på högst procentuell ökning av NDVI och därmed bäst återhämtning (tabell 6), både mellan 2018 och 2019 (45 %) och mellan 2017 och 2019 (30 %). Näst högst snitt för återhämtning har vegetationstypen *barrskog på mineraljord*, där NDVI år 2019 ökat från 2018 (27 %) och från 2017 (20 %). *Barrskog på dränerad organisk jord* uppvisar en något mindre ökning (23 % mellan 2018 och 2019, respektive 16 % mellan 2017 och 2019). Båda typerna av barrskog påverkades i snitt lika mycket under torkan, med en procentuell nedgång på 5 % mellan 2017 och 2018.

Förändringen hos vegetationstypen *lövskog* skiljer sig från de ovan nämnda vegetationstyperna då den inte uppvisar lika hög procentuell ökning (14 % mellan 2018 och 2019, respektive 6 % mellan 2017 och 2019). Denna vegetationstyp har även påverkats något mer under själva torkan än vad barrskogen gjort, med en procentuell nedgång på 6 % mellan 2017 och 2018.

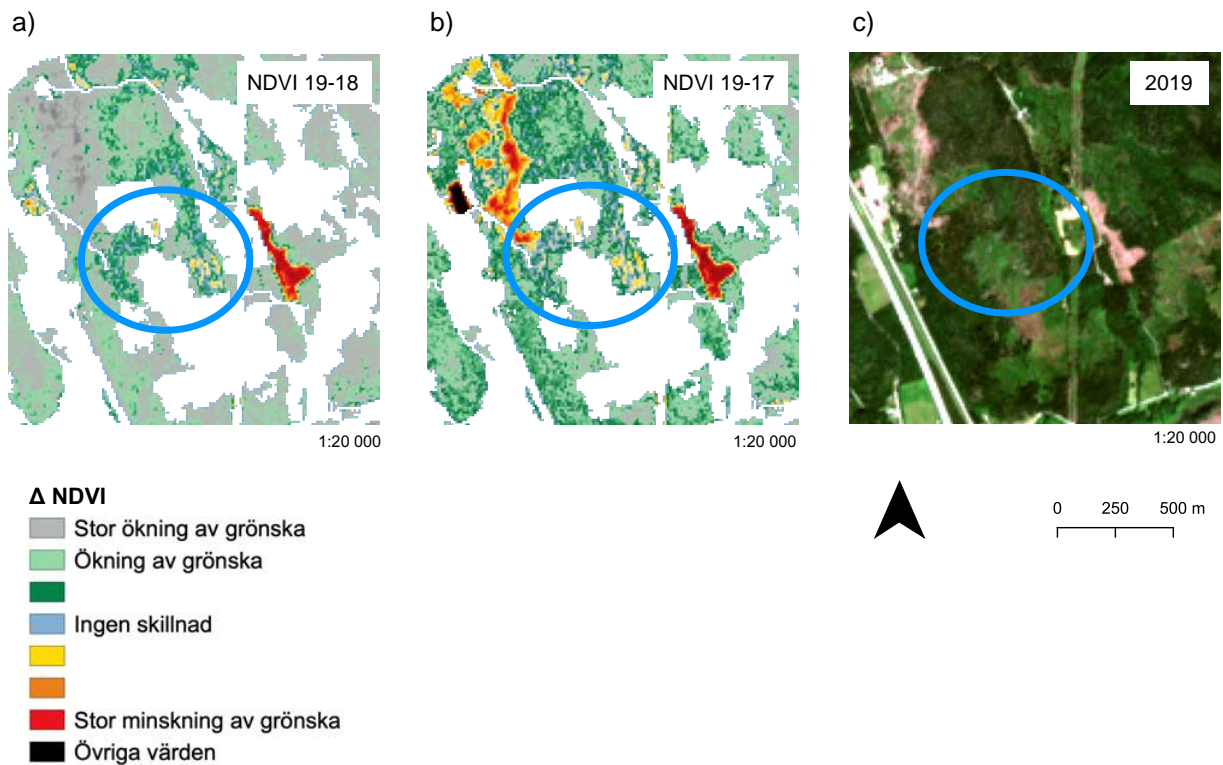
Ser man till den procentuella förändringen så är det vegetationstypen *kalhygge* som i snitt förändrats minst, med 2 % ökning av NDVI mellan 2017 och 2018, och en minskning av NDVI med 8 % mellan 2017 och 2019. I punkten Kalhygge 1 går det att följa en trend som liknar den hos de andra vegetationstyperna. De andra två mätpunkterna följer dock inte alls samma trend, utan uppvisar negativa värden då andra punkter visar positiva, och tvärt om.

### **5.1.1 Marktäcke och terräng i Skogaryd och Västra Tunhem**

Vid en jämförelse mot nationella marktäckedatan framgår att bland vegetationstyperna i Skogaryd och Västra Tunhem ligger *barrskog på dränerad organisk jord*, samt *myr Mycklemossen* på eller direkt angränsande till våtmark, medan resterande vegetationstyper ligger utanför våtmark. Vegetationen i Skogaryd är belägen på en medelhöjd av 74 meter och vegetationen i Västra Tunhem är belägen på en medelhöjd av 70 meter. Markens lutning i Skogaryd är i genomsnitt 1 °, med övervägande riktning mot norr (mellan 270 ° och 90 °). Lutningen i Västra Tunhem är i genomsnitt 19 °, med övervägande riktning mot väst (mellan 180 ° och 360 °). Uträkningarna av medelvärden har gjorts utan punkterna Lövskog 3 och Kalhygge 1; 2; 3, då dessa uppvisar oanvändbara eller allt för avvikande NDVI-värden, och därför inte anses vara representativa för resultatet.

## 5.2 Skogsområden som inte återhämtat sig

Sammanlagt identifierades 27 skogsområden som inte lyckats återhämta sig mellan 2018 och 2019, genom att fortsatt visa låga NDVI-värden. Av dessa kunde 18 områden analyseras mot NDVI-förändringen mellan 2017 och 2019 – då resterande områden täcktes av moln i bilden från 2017. Genom denna jämförelse blev det möjligt att se om vegetationen återgått till samma grönska som innan torkan eller ej (figur 6). Efter jämförelsen kvarstod tolv områden vars NDVI var lägre 2019 än vad de var både 2018 och 2017 – områden som alltså inte lyckats återhämta sig till samma nivå som innan torkan (figur 7).



**Figur 6.** Förändring av NDVI mellan 2018 och 2019 (a) samt mellan 2017 och 2019 (b). Bild c) visar 2019 års satellitbild över samma område. Färgskalan indikerar att NDVI i området har sjunkit efter torkan 2018, samt är lägre 2019 än det var 2017, och därför är ett exempel på en plats där skogen inte lyckats återhämta sig. Data: Nationella marktäckedata, Open Access Hub

**Figure 6.** Change in NDVI between 2018 and 2019 (a) and between 2017 and 2019 (b). Image c) shows the 2019 satellite image of the same area. The NDVI has decreased between 2017 and 2019 in the area, indicating that the forest has not been able to recover from the drought. Data: Nationella marktäckedata, Open Access Hub





**Figur 7.** Studieområdet med de platser där skogen inte återhämtat sig markerade. Data: Open Access Hub

**Figure 7.** The study area with the places which have not recovered marked out. Data: Open Access Hub

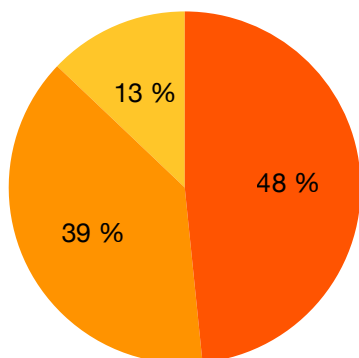
◆ Områden som inte återhämtat sig

### 5.2.1 Marktäcke och terräng i områden med dålig återhämtning

Bland de tolv områden med dålig återhämtning som lokaliserats återfinns skog som växer på våtmark endast i ett av dem, resterande områden består av skog utanför våtmark (figur 8a). Den skogstyp som förekommer i flest av områdena är barrskog, följt av lövskog och blandskog (figur 8a). Medelhöjden för platserna är 122 meter, och markens lutning är i genomsnitt 10 °, övervägande i sydlig riktning (tabell 7). Endast två områden ligger på den nordliga delen av cirkelskalan för sluttningsriktning, det vill säga mellan 270 ° och 90 °. Dessa är nummer 8 som ligger i nord-östlig riktning (53 °) och nummer 10 som ligger i västlig riktning (291 °).

● Barrskog ● Lövskog ● Blandskog

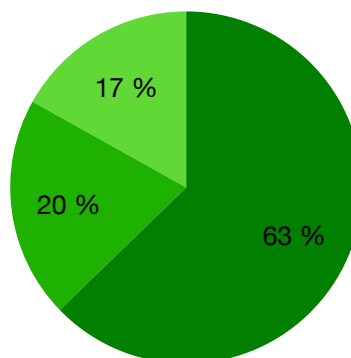
a)



Varav våtmark: 3 %

● Barrskog ● Lövskog ● Blandskog

b)



Varav våtmark: 5 %

**Figur 8.** Diagram a) visar andelen av olika skogstyper i de områden som återhämtat sig dåligt. Diagram b) visar andelen av olika skogstyper i hela studieområdet totalt. Andelen skog som ligger på våtmark redovisas även för respektive diagram. Data: Nationella marktäckedata

**Figure 8.** Diagram a) shows the proportions between different types of forest (coniferous, deciduous and mixed) in the areas with bad recovery. Diagram b) shows proportions between different types of forest in the study area as a whole. The percentage of wetland is presented under each diagram. Data: Nationella marktäckedata

Nr	Höjd (m)	Lutning (°)	Lutningsriktning
1	84	14	Ö
2	88	10	Ö
3	96	27	SV
4	103	4	S
5	107	6	V
6	111	17	V
7	122	3	SÖ
8	123	8	NÖ
9	126	14	SV
10	134	6	V
11	183	2	SÖ
12	183	9	S
<b>Medel:</b>	122	10	S

**Tabell 7.** Tabellen redovisar höjd, lutning och lutningsriktning för de områden där skogen inte återhämtat sig, sorterat efter höjd. Nr 8 och nr 10 är de enda områden som ligger i lutningsriktningar mellan 270 ° och 90 ° (det vill säga norrsluttningar). Data: Lantmäteriet © (2015)

**Table 7.** The table shows elevation, slope gradient and slope direction of areas where the forest did not recover, sorted by elevation. Nr 8 and nr 10 are the only areas situated in a slope direction between 270 ° och 90 ° (north facing slopes). Data: Lantmäteriet © (2015)



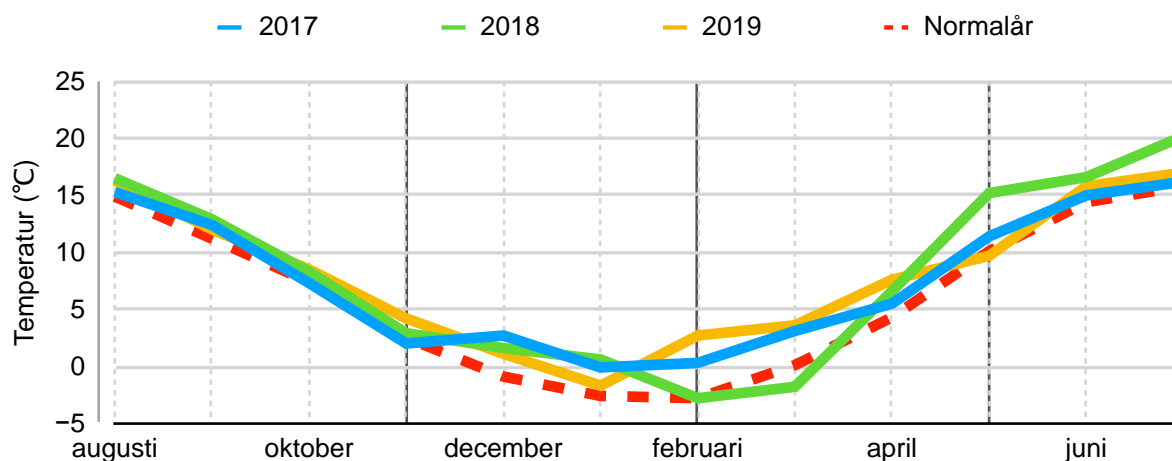
### ***5.3 Generalisering av studieområdet***

Den generaliserande analysen av hela studieområdet, som genomförts med hjälp av 290 slumpmässigt utsatta punkter, visar ökade NDVI-värden, både 2018 till 2019 och 2017 till 2019. I snitt har NDVI mellan 2018 och 2019 ökat med 0,16 enheter, och mellan 2017 och 2018 med 0,10 enheter. Ökningen visar på en generell återhämtning hos skogen.

Den dominerande skogstypen i området är barrskog, följt av lövskog och blandskog (figur 8b). Endast 5 % av all skog ligger på våtmark. Medelhöjden i området är 85 meter, och markens lutning är i genomsnitt 10 °.

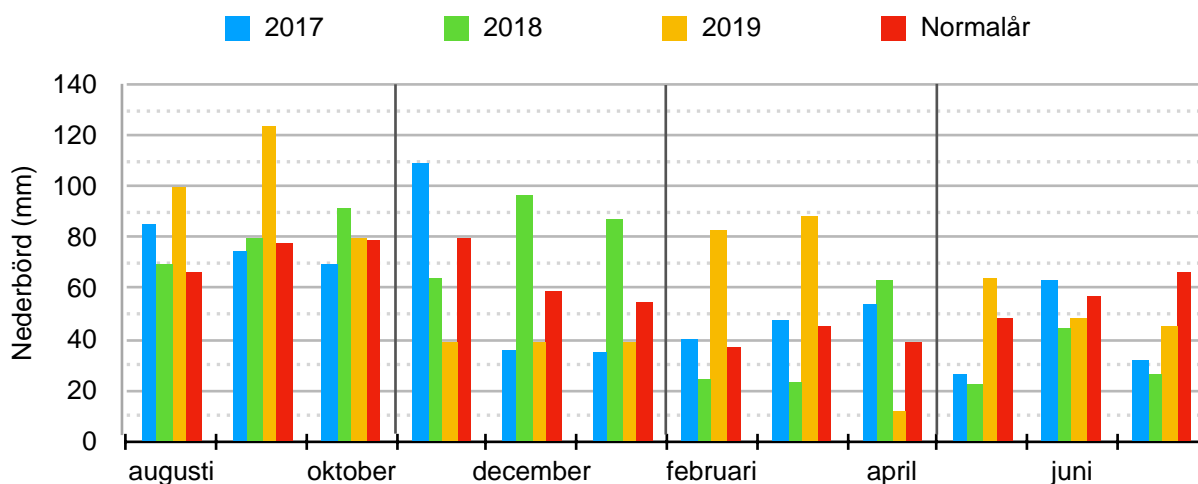
## 5.4 Klimatdata

Alla de aktuella åren är generellt sett varmare än ett normalår sett till referensperioden 1961-1990, vilket syns i figur 9. Figur 10 visar medelnederbörd för månader, i relation till ett normalår.



**Figur 9.** Luftmedeltemperatur för månader åren 2017, 2018 och 2019 samt medeltemperaturer för referensperioden 1961-1990. Uppdelningen av året har gjorts för att visa klimatdata för de elva månader som leder fram till juli för vardera år. Data: Vänersborgs väderstation 82230 via SMHI

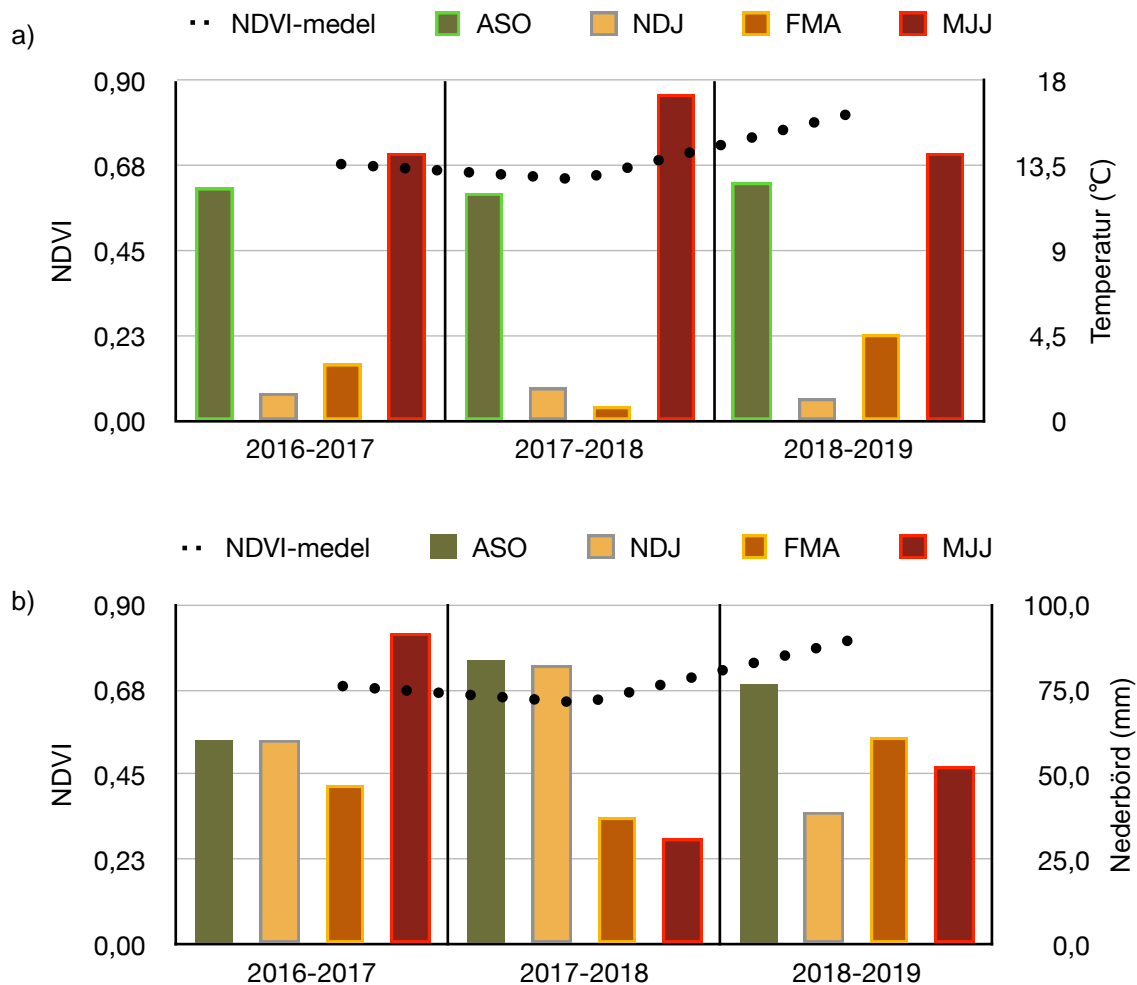
**Figure 9.** Average monthly temperature of the years 2017, 2018 and 2019, compared to the average monthly temperature during the reference period of 1961-1990. The sectioning of the year has made to show the climate data for the eleven months leading up to July each year. Data: Vänersborg meteorological station 82230 via SMHI



**Figur 10.** Medelnederbörd för månader åren 2017, 2018 och 2019 från augusti till juli månad, samt medelnederbörd för referensperioden 1961-1990. Data: Vänersborgs väderstation 82230 via SMHI

**Figure 10.** Average monthly precipitation for months of 2017, 2018 and 2019 from August until July, compared to the average monthly precipitation of the reference period 1961-1990. Data: Vänersborg meteorological station 82230 via SMHI

I figur 11 redovisas genomsnittligt NDVI-värde för Skogaryd och Västra Tunhem i juli 2017, 2018 och 2019, med värdena från Lövskog 3 och Kalhygge borträknade. Här syns trenden i NDVI, där värdet minskar mellan 2017 och 2018 för att sedan öka hos samtliga vegetationstyper, och år 2019 bli högre än båda de föregående åren.



**Figur 11.** Diagrammen visar medeltemperatur (a) och medelnederbörd (b) för månadsintervaller under perioden augusti till juli, mellan 2016 och 2019. Den prickade linjen visar genomsnittligt NDVI för Skogaryd och Västra Tunhem för juli månad 2017, 2018 och 2019. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub, Vänersborgs väderstation 82230 via SMHI

**Figure 11.** The diagrams show average temperature (a) and average precipitation for month intervals during a period ranging from August to July the years of 2016 to 2019. Average NDVI for Skogaryd and Västra Tunhem in July 2017, 2018 and 2019 is portrayed as a dotted line. Data: Flink & Stålnacke (2019), Open Access Hub, Vänersborg meteorological station 82230 via SMHI

## 6. Diskussion

Resultatet från NDVI-analysen av Skogaryd och Västra Tunhem visar att alla de undersökta vegetationstyperna på platserna har högre NDVI-värden år 2019 än både 2018 och 2017, och därmed att vegetationen har återhämtat sig efter torkan 2018. Detta resultat följer samma trend som NDVI-snittet för hela studieområdet, vilket även det har ökat mellan 2017 och 2019, och visar på en generell återhämtning hos skogen. Det finns dock, trots skogens genomsnittliga återhämtning i studieområdet, flera platser där skogen inte återhämtat sig.

Gällande de höjda NDVI-värdena, vilka pekar på en återhämtning år 2019, så kan de delvis förklaras genom att se till klimatdatan. Det verkar inte finnas någon stark korrelation mellan NDVI i juli och temperatur eller nederbörd från augusti till januari månaderna innan. Ett samband finns dock mellan försommarens (maj-juni-juli) temperatur och nederbörd och NDVI i juli. Lågt NDVI under torkan i juli 2018 föregås av höga temperaturer och låg nederbörd under försommaren. De höga NDVI-värdena i juli 2019 föregås istället av en försommar med lägre temperaturer – samma temperaturer som 2017 och nära snittet för ett normalår sett till referensperioden 1961-1990 (figur 9; 11a). Vad som sticker ut mest i resultatet är dock sambandet mellan temperaturen och nederbörden under perioden februari-mars-april och NDVI i juli. Hög nederbörd och temperatur under denna period 2019 ger ett högt NDVI-värde i juli – även då perioden maj-juni-juli inte utmärker sig som ovanligt varm eller blöt jämfört mot ett normalår (figur 9; 10; 11). Sveriges lantbruksuniversitet rapporterade i april 2020 om en förlängd växtsäsong under 2019 till följd av en tidig vår, vilket bidrog till att växtsäsongen 2019 blev den längsta de hittills uppmätt i landet. Den ovanligt milda och blöta vårvintern 2019 verkar således ha gett upphov till gynnsamma förhållanden för vegetationens återhämtning i Skogaryd och Västra Tunhem, och även i snitt för hela studieområdet.

Detta resultat skiljer sig från Skogsstyrelsens rapport om att skog i Sverige har svårt att återhämta sig (Skogsstyrelsen, 2020). Ser man istället till den mer ingående NDVI-analysen över hela studieområdet framgår dock att det, trots de gynnsamma klimatförhållandena, finns flera platser i området där skog inte återhämtat sig. De resultat som framkommer visar även att Skogaryd och Västra Tunhem inte är områden lämpliga att representera hela studieområdet, då de skiljer sig från genomsnittet. Däremot kan resultaten – främst från Skogaryd – utgöra exempel på karaktären hos platser som återhämtat sig bra.

I studieområdet identifierades tolv skogsområden som återhämtat sig dåligt efter torkan, vilket kan förklaras av flera faktorer. Sett till terrängen i områdena verkar höjd, lutningsriktning och i viss mån lutningsgrad spela stor roll för återhämtningen. Av de tolv skogspartier med dålig återhämtning ligger alla förutom två på över 100 meters höjd (medelvärde 122 m) (tabell 7), vilket är 37 meter högre än medelhöjden för skogen i hela studieområdet (85 m). Samtidigt är vegetationen i Skogaryd och Västra Tunhem – vilken återhämtat sig bra – belägen på i snitt 13 meter lägre höjd än medelhöjden för skog i studieområdet. Detta tyder på att den höjd vegetationen är belägen på i relation till omgivande topografi spelar in på hur utsatt den är för torka, där högre höjder medför större svårigheter för skogen att återhämta sig. Lutningsgraden i områdena visar vid första anblick inte lika tydliga resultat då de områden som återhämtat sig dåligt i snitt har samma lutning som studieområdet generellt (10 °). Däremot går det att se att flera av de flackare områdena som identifierats ligger på desto högre höjd och förväntas därför ligga högt jämfört med kringliggande topografi (tabell 7). Tydligare blir det dock när detta resultat jämförs mot Skogaryd, där har vegetationen återhämtat sig som bäst och där är lutningen i snitt endast 1 °. Flackare lutning verkar således ha positiv inverkan på återhämtningen. När det kommer till lutningens riktning syns även där en tydlig trend, där majoriteten av de områden som återhämtat sig dåligt är belägna i sydlig riktning, medan den friska vegetationen i Skogaryd och Västra Tunhem övervägande är belägen i nordlig och västlig riktning.

Resultaten ovan går i linje med vad som beskrivs i Skogsstyrelsens (2020) skaderapport – dels genom att det finns flera skogsområden i Sverige som inte återhämtat sig, men också att träd på grunda jordar drabbas hårt av torka. Likt den studie från iberiska halvön som utfördes av José Vidal-Macua m.fl. (2017) visar det sig även att topografin har stor betydelse för hur torka påverkar skog också i detta studieområde. Höga höjder och sluttningar betyder i regel lägre grundvattennivå, ökad avrinning och högre erosion, vilket inte bara leder till en begränsad tillgång till vatten utan också till grundare jordar (De Blij m.fl., 2013). Då de områden som identifierats ligger på just höga höjder och sluttningar förväntas jordarna vara grunda och innehålla mindre vatten, samt göra att trädens rötter ligger ytligare och därför är mer utsatta för torka. Höjden i sig behöver inte vara ett direkt problem för återhämtningen, då den kringliggande topografin också spelar roll för tillrinning och erosion

på platsen. Då medelhöjden för de platser som återhämtat sig dåligt dock ligger över medelhöjden för hela studieområdet, tyder det på att dessa platser är utstickande i topografin. Att skog som är belägen i sydsluttning har svårare att återhämta sig förklaras av att den extra värmen i form av solinstrålning bidrar till högre avdunstning, och därmed till sämre tillgång på vatten (De Blij m.fl., 2013). Den topografiska karaktären är således något som visar sig påverka skogen både under och efter torkan.

Gällande marktäckelse så framkommer det att vegetation som är belägen på våtmark har lättare att återhämta sig än den som är belägen utanför våtmark. I NDVI-analysen av *myr Mycklemossen* blir det extra tydligt att vegetation på just våtmark återhämtar sig bra, även om den också påverkas mycket under själva torkan (figur 5a; tabell 6). Av de platser i studieområdet som återhämtat sig dåligt återfinns skog på våtmark endast i ett av dem, vilket också tyder på att skog på våtmark har lättare att återhämta sig. Detta resultat kan dock delvis förklaras genom att det generellt inte finns så mycket skog på våtmark i studieområdet (5 %) (figur 8b). Andelen skog på våtmark i de områden som återhämtat sig dåligt utgör dock ännu mindre andel än detta (3 %) (figur 8a), varför man kan anta att skog på våtmark är mindre vanligt i hårt torkdrabbade områden. Att vegetationen i Skogaryd återhämtat sig så pass bra kan i så fall till stor del förklaras genom att platsen länge bestått till största del av just våtmark (Göteborgs universitet, 2015), och även om området idag är utdikad antas det fortfarande finnas en naturlig tillrinning av vatten på grund av den flacka lutningen i området (1 °), där vatten kan ansamlas (De Blij m.fl., 2013).

Den dominerande skogstypen i de områden som inte återhämtat sig är barrskog (48 %) (figur 8a), vilket kan förklaras genom att det också är den dominerande skogstypen i studieområdet generellt (63 %) (figur 8b). Den skogstyp som utmärker sig mest är lövskog, vilken utgör 20 % av det totala studieområdet, men återfinns till hela 39 % i de områden som inte återhämtat sig (figur 8). Även om granar är den skogstyp som är mest känslig för torka och insektsangrepp, till stor del på grund av sina grunda rötter (Skogsstyrelsen 2020), är det alltså inte barrskog som är dominerande bland områden med dålig återhämtning. Detta kan dock bero på att tall, vilken också faller in under kategorin barrskog, är den trädtyp som tål torka bäst (Skogsstyrelsen, 2009) och därför väger upp medelvärdet för denna skogstyp. Att lövskogens återhämtning kan ha påverkats mer av torkan än vad barrskogens gjort syns dock

även i resultaten från Skogaryd och Västra Tunhem. Av skogen i området är det *barrskog på mineraljord* och *barrskog på dränerad organisk jord* som visar på störst återhämtning, medan återhämtningen är mindre för vegetationstypen *lövskog*. Lövskogen uppvisar även en större negativ påverkan under själva torkan än vad barrskogen gör (figur 5e; tabell 6).

Att lövskogen i Västra Tunhem visar på lägre grad av återhämtning än barrskogen i Skogaryd kan bero på att lövskogen inte ligger på våtmark, och att den ligger i en brantare sluttning med mer sydlig riktning. På grund av de skilda karaktärerna hos barr och löv kan det även vara så att lövskog och barrskog påverkats ganska lika av torkan, men att det syns mer hos lövskogen. När löven under torka stänger sina klyvöppningar för att hålla kvar vatten avstannar fotosyntesen och löven gulnar (Reddy, Chaitanya & Vivekanandan, 2004). Barr har ett mycket tjockare ytskikt med nedsänkta klyvöppningar som klarar av torka bättre än löv (Föreningen Skogen, 2000), och fotosyntesen hos barren påverkas därför inte lika lätt av torkan. Då vegetation som inte är fotosyntetiskt aktiv återger lägre NDVI-värden på grund av dess lägre vatteninnehåll (Jones & Vaughan, 2010), syns denna förändring tydligare hos lövskog än hos barrskog. Om vattenbalansen i marken inte återställts på de platser med lövskog som identifierats, kan det vara detta fenomen som återspeglas i NDVI där lövskogens fotosyntes tillfälligt avstannat för att hushålla med vatten. Detta behöver dock inte betyda att lövskogen tagit mer skada än barrskogen, bara att olika vegetationstyper reagerar på torkan på olika sätt.

Utöver *lövskog* är den vegetationstyp som avviker mest från resultaten i Skogaryd och Västra Tunhem *kalhygge* (figur 5c; tabell 6). Då värdena avviker kraftigt från trenden tyder detta på att något kan ha hänt vegetationen, som inte har med torkpåverkan eller återhämtning att göra. Detta kan dock förklaras genom att vegetationstypen är just kalhygge, där markvegetationen kan förändras snabbt genom att den växer till (Kalhygge 1) eller möjligtvis röjs bort av människor (Kalhygge 2 och 3). Med anledning av detta säger inte resultatet så mycket om återhämtningen på kalhygget.

Det datum satellitbilderna är tagna respektive år påverkar som synes resultatet. Detta är något som skall tas hänsyn till i alla delresultat, då datumen då lämpliga satellitbilder funnits att tillgå skiljer sig mellan åren. Vilka datum som använts till analysen spelar roll, då det är svårt att veta exakt när vegetationens maximala grönska inträffat för respektive år eftersom

växstsäsongen varierar. Det kan helt enkelt vara så att bilden från 2019 ligger närmast datumet för maximal grönska, och därför uppvisar extra höga NDVI-värden. Trots detta går det tack vare den tydliga trenden i studien – med ökat NDVI 2019 – att utläsa att vegetationen i Skogaryd, Västra Tunhem och i studieområdet generellt, återhämtat sig. Däremot går det på grund av de varierande datumen inte att säga att vegetationen i Skogaryd och Västra Tunhem skulle må bättre 2019 än vad den gjorde 2017, trots att NDVI-värdena är högre. Vad som syns är att den i alla fall inte mår sämre, och att den därmed förväntas ha återhämtat sig. Gällande resultaten från vegetationstypen *lövskog* och från de områden som inte återhämtat sig efter torkan, blir det istället extra tydligt att vegetationen kan ha skadats, då de uppvisar en minskning av grönska vid samma tidpunkt som övrig vegetation visar på återhämtning.

### **6.1 Metoddiskussion**

Vid bedömning av skog utifrån satellitbilder är det svårt att avgöra vad en nedgång i NDVI beror på, vilket gör båda analyserna – men främst analysen av det fullskaliga området – något osäkra. En nedgång kan bero på skador hos skogen, men den kan också bero på mänsklig påverkan i form av gallring eller avverkning. Likaså går det inte att avgöra om avverkning efter sommaren 2018 gjordes planerat, eller för att skogen blivit tvungen att avverkas på grund av skador från torka eller skadeinsekter – en åtgärd som kan vidtas vid till exempel skador från granbarkborre (FAO, 2009).

Detta leder vidare till en annan av studiens brister, vilket är att det inte varit möjligt att utföra något arbete i fält, vilket normalt sett är ett moment inom fjärranalysen som metod (Olsson & Reese, 2018). Vid Flink och Stålnackes (2019) studie genomfördes dock fältstudier i Skogaryd och Västra Tunhem, vilket gör att dessa lokaler redan kontrollerats och dokumenterats. De nya områden som identifierats i studieområdet har dock inte besökts.

Som alltid vid en analys av data beror resultatets kvalitet på indatans kvalitet, och vid en fjärranalysstudie är datans kvalitet till stor del beroende av väderförhållanden. Vid analysen av 2019 års NDVI-värden i Skogaryd och Västra Tunhem täcks en av punkterna (Lövskog 3) av ett moln och uteblir därför ur 2019 års analys. Även analysen av skogens återhämtning i det större området påverkades av molnförhållandena. Eftersom molnen inte maskerats bort ur satellitbilderna har den slutgiltiga bedömningen av skillnadsvärden och urvalet av områden skett med blotta ögat, och det finns därför en risk att områden valts ut



godtyckligt. Att satellitbilden från 2017 i sydost innehåller väldigt mycket moln har också gjort att de punkter av intresse som satts ut i sydöstra delen av bilden inte kunnat jämföras mellan åren 2017 och 2019, och det har således inte gått att ta reda på om skogen där återhämtat sig till den nivå den var på innan torkan.

Molnen skapade även problem vid generaliseringen av området, då punkter som hamnade på moln var tvungna att rensas bort för hand och med hjälp av gränsvärden. Trots noggrant arbete går det inte att utesluta att några av de 290 punkterna ligger på moln eller på skuggan av moln. Flera kalhyggen som inte registrerats i nationella marktäckedatan och därför inte maskerats bort i skillnadsbilderna upptäcktes också, och det är därför möjligt att generaliseringspunkter även hamnat på kalhyggen, vilka inte är representativa för skogsbeståndet.

## ***6.2 Fortsatta studier***

Den långa växtsäsongen år 2019 ser ut att ha hjälpt vegetationen att återhämta sig från torka. En förlängd växtsäsong kan dock även påverka vegetation och redan torkskadad skog negativt, då också skadeinsekter gynnas av detta klimat. Det behövs därför mer kunskap om hur torka påverkar vegetation i ett längre perspektiv, och om den dynamik som finns mellan klimat och biologi. Då denna studie bygger på en kort tidsserie – där 2019 dessutom är ett utmärkande år med sin ovanligt långa växtsäsong – är det lämpligt att följa upp resultaten från både Skogaryd, Västra Tunhem och hela studieområdet för att se om torkan kan påverka även över ett längre tidsspann. Lämpligt vore också att utföra fältstudier i ett eller flera av de områden med dålig återhämtning som identifierats, för att ta reda på mer om platserna och vad nedgången i NDVI kan bero på – om den beror på just dålig återhämtning eller på något annat.

## 7. Slutsats

Genom fjärranalys av förändring i NDVI hos skog och vegetation kan studien visa att det på ett år är möjligt för skog och vegetation i studieområdet att återhämta sig efter en torka så som den under sommaren 2018. Den skog och vegetation som analyserats har gynnats av milda väderförhållanden under vår-vintern 2019, och har vad studien visar inte tagit någon storskalig skada av torkan. Trots det gynnsamma vädret och en generell återhämtning finns det dock skogspartier i studieområdet som inte återhämtat sig. I dessa områden spelar topografi och marktäckning stor roll för skogens återhämtning. De områden som skadats är inte bara utsatta för hög solinstrålning och begränsad vattentillgång under torkperioden på grund av de lokala markförhållandena, utan marktäckningen och den topografiska karaktären på platserna påverkar skogen även efter torkan, och försvårar återhämtningen.

Genom att identifiera dessa utsatta områden kan studien ge svar på vilken typ av skogsområden i den boreonemorala vegetationszonen som har svårt att återhämta sig efter en torka. Utvecklingen i de identifierade områdena kan med fördel följas upp för att se om skogen lyckas återhämta sig i ett senare skede. Kunskaper om skogens återhämtning är viktigt inför väntat ökad medeltemperatur i norra Europa. Att kunna förutse torkans påverkan är också något som allt oftare kommer krävas vid hantering av skog. Då torka i grunden kan påverka skogens sammansättning, struktur och biogeografi kan vidare studier om torka bidra till att motverka storskalig skogsdöd och därigenom ytterligare klimatförändringar.

## Referenser

Allen, C., Macalady, A., Chenchouni, H., Bachelet, D., Mcdowell, N., Vennetier, M., ... Cobb, N. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 660-684. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.001

Allen M. R., Dube O. P., Solecki W., Aragón-Durand F., Cramer W., Humphreys S., ... Zickfeld K. (2018). *Framing and Context – 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.* Hämtad från IPCC: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_Chapter1\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf)

Bose, A. K., Gessler, A., Bolte, A., Bottero, A., Buras, A., Cailleret, M., ... Rigling, A. (2020). Growth and resilience responses of Scots pine to extreme droughts across Europe depend on pre-drought growth conditions. *Global Change Biology*, 1354-1013. doi:10.1111/gcb.15153

Campbell, J. B. & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing, fifth edition.* Hämtad från <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.ub.gu.se>

Copernicus. (2017). *Copernicus: Europe's Eyes on Earth.* Hämtad från Copernicus: [https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus\\_brochure\\_EN\\_web\\_Oct2017.pdf](https://www.copernicus.eu/sites/default/files/documents/Copernicus_brochure_EN_web_Oct2017.pdf)

Copernicus. (u.å.) *About Copernicus.* Hämtad 2019-04-09 från <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus>

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

ESRI. (2016). *ArcGIS – NDVI Function.* Hämtad 2020-05-08 från

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/ndvi-function.htm>

European Space Agency. (u.å.). *What is Sentinel-2 – Mission Details*. Hämtad 2020-04-16 från <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-2>

Flink, E., & Stålnacke, V. (2019). *Torkan 2018 och dess påverkan på skogsvegetation i Skogaryd och Västra Tunhem, Västra Götaland*. (Kandidatuppsats). Göteborg: Institutionen för ekonomi och samhälle, kulturgeografi & Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet. Hämtad från <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/62284>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2009). *Global Review of forest pests and diseases*. Hämtad från FAO: <http://www.fao.org/3/a-i0640e.pdf>

Föreningen Skogen. (2000). *Skogsencyklopedin – barr*. Hämtad 2020-05-20 från <https://www.skogen.se/glossary/barr>

GitHub. (2020). *PointSamplingTool*. Hämtad 2019-04-09 från <https://github.com/borysiasty/pointsamplingtool>

Göteborgs universitet. (2015). *About skogaryd*. Hämtad 2020-04-13 från <https://gvc.gu.se/english/research/skogaryd/history>

Göteborgs universitet. (2019). *Skogaryd Research Catchment*. Hämtad 2020-04-20 från <https://gvc.gu.se/english/research/skogaryd>

Harrie, L. (2013). *Geografisk informationsbehandling: Teori, metoder och tillämpningar*. Lund: Studentlitteratur

Jones, H. & Vaughan, R. (2010). *Remote sensing of vegetation : Principles, techniques, and applications*. Oxford; New York: Oxford University Press

Jordbruksverket. (2019). *Långsiktiga effekter av torkan 2018*. Hämtad från Jordbruksverket:

<https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/ra1913.html>

José Vidal-Macua, J., Ninyerola, M., Zabala, A., Domingo-Marimon, C. & Pons, X. (2017). Factors affecting forest dynamics in the Iberian Peninsula from 1987 to 2012. The role of topography and drought. *Forest Ecology and Management*, 406, 290-306. doi: 10.1016/j.foreco.2017.10.011

Länsstyrelsen Västra Götland. (u.å.) *Västra Tunhem*. Hämtad 2020-05-17 från <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/besoksmal/kulturmiljoer/vastra-tunhem.html>

Moen, A. (1998). *Nasjonalatlas for Norge : Vegetasjon*. Hønefoss: Statens kartverk.

Mróz, M., & Sobieraj, A. (2004). Comparison of several vegetation indices calculated on the basis of a seasonal SPOT XS time series, and their suitability for land cover and agricultural crop identification. *Technical sciences*, 7(7), 39-66.

NASA. (2000). *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. Hämtad 2020-05-11 från <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>

Naturvårdsverket. (2019a). *Nationella Marktäckedata*. Hämtad 2019-04-06 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Kartor/Nationella-Marktackedata-NMD/>

Naturvårdsverket. (2019b). *Nationella marktäckedata 2018 basskikt*. Naturvårdsverket: Stockholm: Naturvårdsverket.

Olsson, H., Reese, H. (2018). *Skoglig Fjärranalys*. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå: Institutionen för skoglig resurshållning.

Puletti, N., Mattioli, W., Bussotti, F., & Pollastrini, M. (2019). Monitoring the effects of extreme drought events on forest health by Sentinel-2 imagery. *Journal of Applied Remote Sensing*, 13(2), 020501. doi: 10.1117/1.JRS.13.020501

Peters, A. J., Walter-Shea, E., Ji, L., Viña, A., Hayes, M. & Svoboda, M. (2002). Drought monitoring with NDVI-based Standardized Vegetation Index. I *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(1). 71-75.

Reddy, A. R., K. V. Chaitanya & M. Vivekanandan. (2004). Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*. 161 (11). s. 1189 - 1202. doi: 10.1016/j.jplph.2004.01.013

Seneviratne, S., Nicholls, N., Easterling, D., Goodess, C., Kanae, J., Kossin, Y., ... Zwiers. (2012). Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. I *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 9781107025066, s. 109-230. Cambridge University Press. doi: 10.1017/CBO9781139177245.006

Sinergise. (u.å.). *Partners*. Hämtad 2019-04-09 från <https://www.sentinel-hub.com/about/partners>

SITES (u.å.) *Skogaryd Research Station*. Hämtad 2020-04-11 från <https://www.fieldsites.se/en-GB/research-stations/skogaryd-32652394>

SMHI. (2018). *Sommaren 2018 – extremt varm och solig*. Hämtad 2020-05-15 från <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/sommaren-2018-extremt-varm-och-solig-1.138134>

Skogsstyrelsen. (2009). *Skogsskötselserien – Skador på skog*. Hämtad från Skogsstyrelsen: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/bruka-skog/skogsskador/skogsskotselserien---skador-pa-skog.pdf>

Skogsstyrelsen. (2020). *Skogsskador i region Syd 2019*. Hämtad från Skogsstyrelsen: <https://via.tt.se/data/attachments/00013/492e5f90-bcf6-4a31-b443-1e39224f592a.pdf>

SMHI. (u.å.). *Ladda ned meteorologiska observationer*. Hämtad 2019-04-03 från <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer#param=airtemperatureInstant,stations=all>

SMHI. (2018). *Det hydrologiska året*. Hämtad 2020-04-10 från <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/det-hydrologiska-aret-1.280>

SMHI. (2019). *Dataserier med normalvärden för perioden 1961-1990*. Hämtad 2019-04-03 från <https://www.smhi.se/data/meteorologi/dataserier-med-normalvarden-1.7354>

Solomon, S., Manning, M., Marquis, M. & Qin, D. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC*. Cambridge; New York: Cambridge University Press.

Sveriges lantbruksuniversitet. (2020). *Växternas växtsäsong – Den tidiga våren 2019 förlängde växtsäsongen mer än tidigare år*. Hämtad 2020-05-27 från <https://www.slu.se/centrumbildningar-och-projekt/svenska-fenologinatverket/indikator/>

USGS. (2016). *Explanations for the National Water Conditions*. Hämtad 2020-04-22 från [https://water.usgs.gov/nwc/explain\\_data.html](https://water.usgs.gov/nwc/explain_data.html)

Volcani, A., Karnieli, A. & Svoray, T. (2005). The use of remote sensing and GIS for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. *Forest Ecology and Management*, 215(1-3), 239-250. doi: 10.1016/j.foreco.2005.05.063