





## Sammanfattning

Sommaren 2018 drabbades Sverige av en långvarig torka som bland annat påverkade skogen genom bränder som varade under flera månaders tid. Mycket fokus och resurser har efter detta lagts på att undersöka och skydda landet mot framtida skogsbränder. Torkans direkta påverkan på skogsvegetationen saknas det dock tillräcklig kunskap om. Syftet med denna studie är att undersöka hur torkan påverkade olika miljöer i en skogs- och myrmosaik i Västra Götaland. Satellitbaserad fjärranalys används som metod för att framställa två vegetationsindex (VI), nämligen *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) och *Normalized Difference Water Index* (NDWI) där NDVI mäter vegetationens fotosyntes och NDWI både mäter vegetationens fotosyntes och väta. VI-värden för månaderna maj-september för åren 2017 och 2018 har framställts över delar av områdena Skogaryd och Västra Tunhem. Klimatdata har använts över båda åren för att undersöka kopplingen mellan VI, lufttemperatur och nederbörd. Utifrån fjärranalysen går det att konstatera en minskning av NDVI och NDWI under sommaren 2018 i jämförelse med 2017. Olika trender kunde däremot ses i olika vegetationstyper. Båda VI var goda indikatorer på torkan över lövskog och myr. NDVI var en god indikator över barrskogsområdena med generellt lägre NDVI-värden i juli 2018, medan NDWI över samma område inte visade några tydliga trender. Inget VI över kalhygget visade några lättolkade trender. Det går att konstatera att NDVI var att föredra över NDWI som indikator på torkan i denna studie, i motsats till tidigare studier som hävdade att NDWI är en bättre indikator för torkan. De generellt lägre VI-värdena under 2018 beror med stor sannolikhet på den högre lufttemperaturen och den lägre nederbörden under 2018 jämfört med 2017.

**Nyckelord:** NDVI, NDWI, torka, Sentinel-2, hemiboreal skog

## Abstract

In the summer of 2018 Sweden was hit by a long-term drought that heavily affected the forest with forest fires that lasted for several months. After the summer a lot of time and resources were spent on forest fire prevention. However, knowledge is lacking regarding the direct impact of the drought on forest vegetation. The aim of this study is to examine how the drought affected different natural environments in a forest and mire mosaic in SW Sweden. Satellite based remote sensing has been used to produce two Vegetation Indices (VI), namely *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) and *Normalized Difference Water Index* (NDWI), where NDVI measures the photosynthesis and NDWI measures the photosynthesis and wetness of the vegetation. A time series of VI-values over the months of May to September for the years 2017 and 2018 has been constructed over parts of Skogaryd and Västra Tunhem. Climate data has been used for both years to examine the connection between VI, air temperature and precipitation. The remote sensing indicates that the values of both NDVI and NDWI were generally lower during the summer of 2018 in comparison to 2017. However, different trends are visible in different types of vegetation. Both VIs are good indicators of the drought in the deciduous forest and on the mire. NDVI is a good indicator of the drought over the coniferous forest with lower NDVI-values in July 2018. NDWI did not show any clear trends over the coniferous forest. Neither of the VIs from the clear cut show any clear trends. The results from this study indicate that NDVI should be preferred over NDWI as a drought indicator. This is contrary to earlier research that has argued that NDWI is a better indicator of drought than NDVI. The generally lower VI-values for 2018 is most likely a result of the higher air temperatures and lower precipitation in 2018 compared to 2017.

**Key words:** NDVI, NDWI, drought, Sentinel-2, hemiboreal forest

## **Förord**

Denna kandidatuppsats är kulmen av tre års studier i geografi vid Göteborg Universitet. Genom detta arbete har vi fått fördjupade kunskaper om satellitbaserad fjärranalys och hur det kan användas för att studera torka. Våra förhoppningar med arbetet är att bidra med kunskap till forskningsfältet och även öka medvetenheten om relevansen av denna sortens studier.

Vi vill här ta tillfället i akt att tacka de som hjälpt oss under arbetets gång. Först och främst vill vi tacka vår handledare docent Heather Reese för goda råd, intressanta infallsvinklar och mycket teknisk hjälp. Vidare vill vi tacka professor Sofia Thorsson för ett väldigt bra kursupplägg och fin vägledning. Vi vill även tacka doktor Per Weslien för guidning och assistans under vår tid i fält. Slutligen vill vi tacka våra kurskamrater för givande diskussioner och konstruktiv kritik under skrivprocessen.

Erica Flink och Ville Stålnacke

Göteborg 2019-05-28

## **Förkortningar**

VI: Vegetationsindex

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NDWI: Normalized Difference Water Index

IR: Infrared

NIR: Near Infrared

SWIR: Shortwave Infrared

NMD: Nationella Marktäckesdatan

# Innehållsförteckning

1. Inledning .....	1
Syfte och frågeställningar .....	2
2. Teori .....	3
2.1 Växter, torka och höga temperaturer .....	3
2.2 Fjärranalys .....	3
2.2.1 Sentinel-2 .....	4
2.3 Kombinationer av våglängdsband .....	4
2.4 Spektral reflektans .....	5
2.5 Strålningsegenskaper hos löv och barr .....	6
2.6 Våtmarkers spektrala reflektans .....	7
2.7 Vegetationsindex .....	7
2.7.1 NDVI .....	7
2.7.2 NDWI .....	9
3. Studieområde .....	10
3.1 Skogaryd .....	10
3.2 Västra Tunhem .....	10
4. Metod och data .....	12
4.1 Datainsamling .....	12
4.1.1 Sentinel-2 .....	12
4.1.2 Nationella marktäckesdatan .....	13
4.1.3 Klimatdata .....	14
4.1.4 Insamling av vegetationsdata från delområdena .....	14
4.2 Bearbetning .....	16
4.2.1 Förändringsanalys .....	16
4.2.2 Urval av punkter .....	17
4.2.3 Pixelvärden .....	17
5. Resultat .....	19
5.1 Fjärranalys .....	19
5.1.1 Sammanfattning av figur 8–12 .....	25
5.1.2 VI-förändring juli .....	25
5.2 Klimatdata .....	27
6. Diskussion .....	28
Metoddiskussion .....	31
Framtida forskning .....	31
7. Slutsats .....	33
8. Referenser .....	34
Bilagor .....	40

# 1. Inledning

Skogen förser oss med materiella och genetiska resurser som är livsnödvändiga för människan. Trots detta överutnyttjas skogen av människan på ett sätt som inte är hållbart. I en värld med en ständigt ökande befolkning kommer dessa antropogena påfrestningar att intensifieras än mer. Klimatförändringar som orsakats av mänsklig verksamhet har stor påverkan på skogen, men exakt hur detta ter sig är svårt att fastställa. Ökad förbränning av kol leder till ökade halter av CO<sub>2</sub> i atmosfären vilket i viss mån är till skogens fördel. Detta på grund av att träden kan använda den ökade mängden CO<sub>2</sub> till att öka sin biomassa. Klimatförändringarna leder även till extrema väderevent, såsom torka, stormar och skogsbränder. Sådana incidenter kan motverka de fördelar skogen upplevt, genom exempelvis ökad dödlighet bland träd och därav ökad tillförsel av CO<sub>2</sub> till atmosfären (Choat, Brodribb, Brodersen, Duursma, Lopez & Medlyn, 2018). Utifrån ett skogsperspektiv är torka väldigt skadligt eftersom träden behöver vatten för att överleva och frodas. På grund av att det är svårt att fastställa klimatförändringarnas påverkan på skogen behövs mer kunskap om torkans påverkan på skogar över olika temporala och spatiala skalor (Boyd & Danson, 2005).

Sommaren 2018 drabbades Sverige av en långvarig torka som påverkade stora delar av landets skogar, med bland annat bränder som konsekvens. I dagsläget handlar den största oron från skogsägare om just brandrisker (Vico, 2018). En ytterligare konsekvens av torkan var ett ökat angrepp av granbarkborren, vilken är en skadeinsekt som drabbade stora skogsarealer i södra Sverige (Skogsstyrelsen, 2019a). Varmare lufttemperaturer och brist på vatten gör granar stressade, vilket granbarkborren känner av och går till angrepp. Inför sommaren 2019 har Skogsstyrelsen gått ut med varningar om den ökade risken för angrepp (Skogsstyrelsen, 2019b). Eftersom torka är ett fenomen som beräknas uppträda mer frekvent i framtiden (Naturvårdsverket, 2018) bör studier utföras om ökade brandrisker och insektsangrepp. Än viktigare är studier om torkans direkta påverkan på skogsvegetation för att få en holistisk förståelse för vilka effekter detta kan ge (Feng, Ackerly, Dawson, Manzoni, Skelton, Vico & Thompson, 2018).

Ett viktigt steg för att kunna göra korrekta framtidsbedömningar av skogens förutsättningar att stå emot extrema väderscenarion är genom att öka förståelsen om hur olika trädarter reagerar på torkan (Feng et al., 2018). Satellitbaserad fjärranalys är en fördelaktig metod för att utföra sådana studier då det tillåter att undersöka stora arealer av vegetation med tidsmässigt regelbundna mätningar. Med satellitbilder som är tagna med korta mellanrum under en längre tidsperiod går det att utföra analyser för att exempelvis se vegetationens

förändring. En begränsning för satellitbaserad fjärranalys är moln och därför krävs molnfria väderförhållanden för att få tydliga och informativa bilder (Reese & Olsson, 2018).

Tidigare forskning som undersökt vegetation med fjärranalys som metod visar att fjärranalys kan användas som en indikator för torkans effekt på olika typer av vegetation (Verbyla, 2015; Vicente-Serrano et al., 2012), vilket bland annat setts genom minskad fotosyntetisk aktivitet (Ciais et. al, 2005) och vegetationens minskade vattenmängd (Karamihalaki, Stagakis, Sykioti, Kyparissis & Parcharidis, 2016). Den tidigare forskningen har bedrivits på nationell och global nivå. Möjligheten att se torkans påverkan på lokal skala har dock varit begränsad. Vidare råder en avsaknad på uppdaterade fjärranalysstudier om torkans påverkan över den svenska skogen. Bristen på småskaliga fjärranalysstudier om torra och vegetation i allmänhet, och över den svenska hemiboreala skogen i synnerhet, är kunskapsluckan som denna studie ämnar att fylla.

### ***Syfte och frågeställningar***

Syftet med arbetet är att undersöka hur torkan under sommaren 2018 påverkade olika miljöer i en skogs- och myrmosaik i Skogaryd och Västra Tunhem i Västra Götaland. Studiens huvudsakliga metod är satellitbaserad fjärranalys där satellitbilder från Sentinel-2 kommer användas. Två vegetationsindex (VI), nämligen NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) och NDWI (*Normalized Difference Water Index*) kommer framställas för att jämföra den torra sommaren 2018 med den mer normala sommaren 2017. Följande frågeställningar kommer besvaras:

- Hur skiljer sig NDVI och NDWI i en hemiboreal skogs- och myrmosaik mellan en torr sommar och en normalsommar?
- Hur skiljer sig NDVI och NDWI mellan en torr sommar och en normalsommar på en myr, ett lövskogsområde, ett barrskogsområde på mineraljord, ett barrskogsområde på dränerad organisk jord och ett kalhygge?
- Vilket av vegetationsindex NDVI och NDWI visar torkans påverkan på vegetationen tydligast?
- Hur ser kopplingen ut mellan lufttemperatur, nederbörd och vegetationsindex?

## **2. Teori**

### ***2.1 Växter, torka och höga temperaturer***

Vattnet i marken förbrukas dels genom avdunstning från marken och dels genom växternas transpiration. Lufttemperatur och solens instrålning har stor inverkan på hur mycket vatten som finns tillgängligt för växten genom att påverka transpirationen och avdunstningen (Ashman & Puri, 2009, s. 125). Växternas fysiologiska uppbyggnad är oftast anpassad för att klara av stressfaktorer såsom torka och höga temperaturer. Anpassningarna har utvecklats efter vilket klimat som råder på växtplatsen och av den anledningen är växter inte anpassade till stressfaktorer som varar ovanligt länge eller har ovanligt stark verkan (ibid., s. 121). Långa perioder av torka och höga temperaturer som identifierats runt om i världen under de senaste åren har därför haft stor påverkan på produktiviteten hos växter och deras ekosystemtjänster. Fler värmeböljor kommer leda till att vegetationen på en växtplats antingen måste anpassa sig till de nya förhållandena, eller riskera att dö ut (Abeli, Mondoni, Graziano & Orsenigo, 2014).

Klyvöppningarna kontrollerar transpirationen och intaget av koldioxid genom strukturer i löven. Under torka stängs klyvöppningarna vilket begränsar den fotosyntetiska aktiviteten och därmed tillväxten. Klyvöppningarnas stängning reglerar också balansen av bladens vattenbehov för att inte överstiga växtens kapacitet att transportera vatten. Utan denna funktion skulle växter lättare drabbas av uttorkning. Trots att forskare har kännedom om klyvöppningarnas funktion råder en brist på en samlad förståelse kring olika trädarters dödlighet i relation till torka (St.Paul, Delzon & Cochhard, 2017).

### ***2.2 Fjärranalys***

Fjärranalysens historia började i slutet av 1800-talet när de första fotografierna av marken togs från luftballonger. Fjärranalysen har därefter utvecklats genom att ta steget in i flygplan och senare till satelliter. År 1972 sköts den första jordresurssatelliten upp, Landsat 1, vars bilder användes för att kartlägga och öka förståelsen för jordens yta. Problemet med Landsat, och även de senare satelliterna från SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre), var att det innebar stora kostnader att få tillgång till satellitbilderna. Detta förändrades år 2000 då Landsat-data blev tillgänglig utan kostnad, vilket ledde till att fjärranalysen utvecklades snabbt. I dagsläget är satellitbilder ett lättillgängligt och kostnadseffektivt tillvägagångssätt för att få information om skog och mark (Reese & Olsson, 2018).

Tekniken bakom satellitbilder bygger på att energi används i form av ljus. Optiska satellitbilder räknas som en passiv fjärranalysteknik vilket innebär att solstrålning reflekteras från jorden och fångas upp av sensorn på satelliten. Det elektromagnetiska spektrumet är den skala som används för att beskriva strålningens våglängd och frekvens. Inom fjärranalys används sensorer som mäter våglängdsband där delar av det elektromagnetiska spektrumet används för att studera specifika material där egenskaperna i materialet bestämmer hur mycket energi som absorberas och reflekteras i våglängdsbandet (Harrie, 2013, s. 116–119).

### **2.2.1 Sentinel-2**

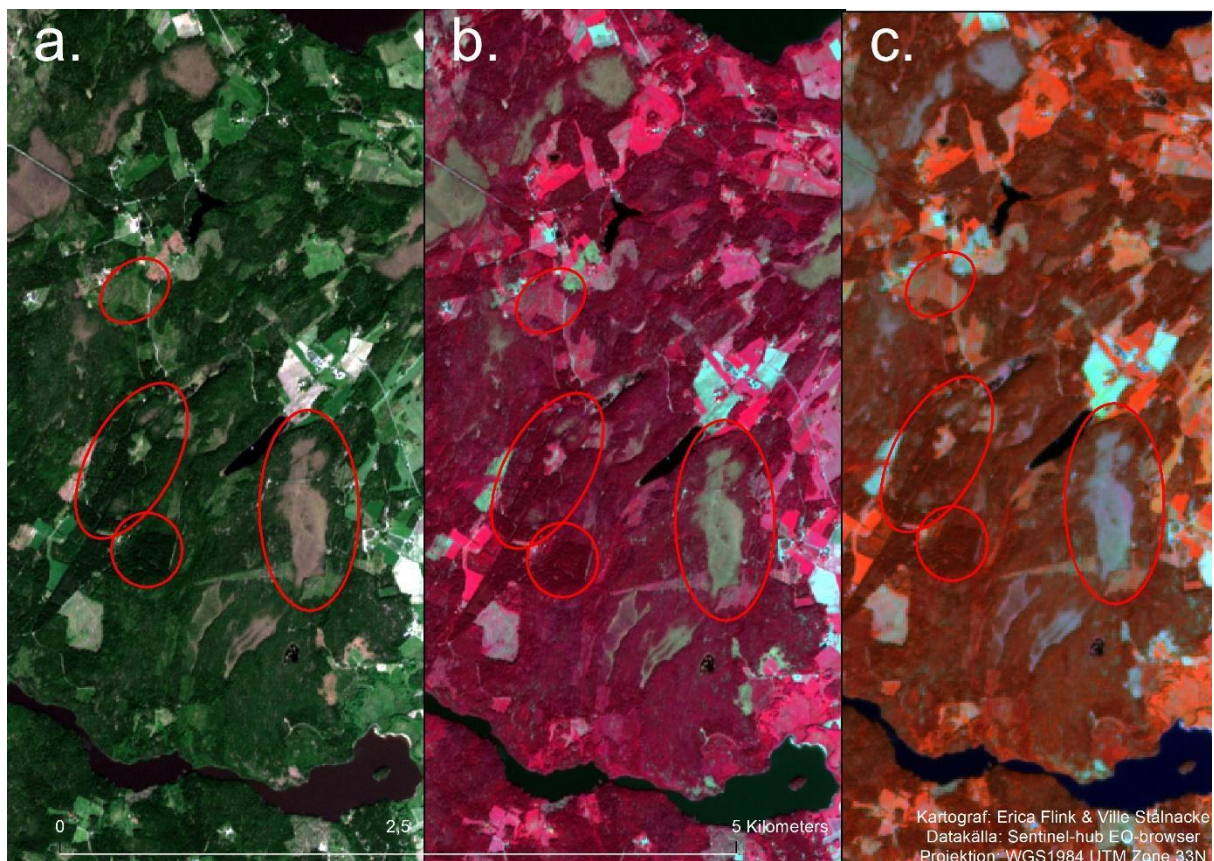
Sentinel-2 är en del av Copernicus, ett satellitprogram som administreras av European Space Agency (ESA). Sentinel-2 är ett samlingsnamn för två satelliter, Sentinel 2A, som skickades upp 2015, och Sentinel 2B, som skickades upp 2017. Ett syfte med projektet är att övervaka förändringar i markanvändning på jorden (European Space Agency, u.å, a). Eftersom Sentinel-2 består av två satelliter med 290 km bred scenstorlek finns nu goda möjligheter att få högupplösta bilder över specifika geografiska områden, exempelvis Sverige, med två till tre dagars mellanrum. Innan 2015 var SPOT-satelliterna ett alternativ för att få bilder med korta tidsspann, däremot var scenstorleken för dessa mindre och dessutom var datan inte kostnadsfri. Det kostnadsfria alternativet innan 2015 var Landsat, nackdelen med dessa satelliter var att bilder bara togs var 16:e dag och hade relativt dålig spatial upplösning. Risken att få oanvändbara bilder under långa perioder på grund av moln var därför stor fram tills Sentinel-2 introducerades. I och med uppskjutningen av Sentinel-satelliterna förändrades forskningsfältet och fick ökade möjligheter till studier med högre temporal och spatial upplösning (Reese & Olsson, 2018).

Sentinel-satelliterna samlar in data genom att satelliterna bär på ett multispektralt instrument, en passiv sensor som mäter solens strålning som reflekteras av jorden i 13 band beroende på våglängd (European Space Agency, u.å, b). Olika kombinationer av dessa band används för att studera olika fenomen, till exempel temporal förändring i hur snö och is förändrats i ett område, eller hur vattenmängden i vattendrag förändras.

### **2.3 Kombinationer av våglängdsband**

Den spektrala upplösningen hos en sensor berättar hur smala och hur många våglängdsband som mäts. Dessa kan, som ovan nämnts, kombineras för att studera olika fenomen. Teorin bakom detta är att alla färger på en skärm är en kombination av rött, grönt och blått. Alla

färger vi ser är alltså en kombination av dessa tre. För att visualisera de satellitband som ligger utanför det synliga spektrat går det att i olika datorprogram, exempelvis ArcMap, visa upp satellitbilden genom att ändra vilket band som visas som rött, grönt och blått på bildskärmen. Beroende på vilka kombinationer som väljs går det att visualisera satellitbilder på olika sätt, de vanligaste i vegetationssammanhang går att se i figur 1, (1a) sann färg (Rött-Grönt-Blått eller RGB), (1b) falsk IR färg (NIR-Rött-Grönt) och (1c) annan falsk färg (oftast NIR-SWIR-Rött). För att förstå och tolka vegetation från en satellitbild är sammanslagningen falsk färg och falsk IR färg att föredra, eftersom dessa band använder infraröd strålning som frisk vegetation reflekterar (Harrie, 2013, s. 116–119).



Figur 1. Tre olika sammansättningar av Sentinel 2-band som visar sann färg (a), falsk IR-färg (b) och falsk färg (c). Röda ringar visar studiens delområden i Skogaryd. Satellitbilden är tagen 2018-05-23.

Figure 1. Three different composites of Sentinel-2 bands showing true color (a), false color IR (b) and false color (c). Red rings indicate the subsites within Skogaryd. The satellite image is from 2018-05-23.

## 2.4 Spektral reflektans

Spektrala signaturer visar reflektansen av ett visst material som en funktion av våglängden (Harrie, 2013, s. 119). Objekt har så kallade spektrala signaturer som bestäms av hur mycket

strålning som reflekteras, absorberas eller sprids av den inkommande solstrålningen. Individuella växtarter sätter på så sätt sin prägel inom fjärranalys vilket gör det möjligt att urskilja arter genom deras spektrala signatur. Arters olika egenskaper inom strålning varierar under säsongen och på samma sätt kan stressfaktorer bidra till nya egenskaper för bladet som kan upptäckas genom avvikelser från bladets karakteriserade färgspektrum. Färgspektrumet karakteriseras av klorofyll hos friska och livskraftiga växter vilket kännetecknas av hög absorption av röd och blå strålning samt hög reflektans av grön och nära infraröd strålning. Under hösten eller under stress (exempelvis torka) minskar koncentrationen av klorofyll i bladen och pigment som absorberar blått och/eller grönt blir tydligare (Jones & Vaughan, 2010, s. 37–40). Förutom pigmenten i blad har även vattensammansättningen en betydande roll för de spektrala egenskaperna i de infraröda våglängderna. Genom ökat vatteninnehåll i ett blad ökar absorbering i band som återger vatten (våglängder längre än 1,1  $\mu\text{m}$ ) (Jones & Vaughan, 2010, s. 41). Den fysiska uppbyggnaden av löv har också stor betydelse för de spektrala egenskaperna där reflektansen och absorptionen från ett löv sker i flera lager, inte bara vid det yttersta (som vi ser som grönt). Endast en liten andel av strålningen reflekteras vid det övre lagret, resten åker in i lövet för att där reflekteras, absorberas eller spridas (Jones & Vaughan, 2010, s. 37–40).

## ***2.5 Strålningsegenskaper hos löv och barr***

Trots att reflektansen kan variera en aning mellan olika arter och platser är den generella regeln att lövträd reflekterar NIR i högre utsträckning än barrträd. Detta på grund av att barrträd har tjockare massa och epidermis (yttersta skiktet på ett blad). En annan anledning till skillnaden i reflektans mellan löv och barr är dess utformning, där lövträd oftast har platta blad som är formade för att lätt fotosyntetisera. Barr, som är nål- eller cylinderformade, är mindre kapabla till att fotosyntetisera i jämförelse med lövträd (Jones & Vaughan, 2010, s. 37–39). En annan viktig skillnad mellan löv- och barrträd är att barrträd tenderar att växa mer ojämnt sinsemellan, medan lövträd ofta växer i samma takt som sina artfränder och därav bildar ett jämnare krontäcke. Barrträdens mer oregelbundna krontäckning bidrar till en ökad skuggbildning omgivningen, vilket resulterar i lägre reflektans (Reese, 2011, sid 30). Detta är ett fenomen som är vanligt förekommande på högre latituder, som Sverige, eftersom solen står lågt på himlen och bidrar till större mängd skugga (Reese & Olsson, 2018). Kalhyggen som består av både löv- och barrarter har betydligt lägre trädhöjd än vuxen skog och har hög spektral diversitet på grund av snabbt växande vegetation och mänskliga åtgärder, såsom

röjning. Efter röjning sker en snabb tillväxt av vegetation vilket leder till en ökad reflektans på kalhyggen i både synliga band och SWIR-band (Reese, 2011, s. 30).

## **2.6 Våtmarkers spektrala reflektans**

Mossa är en typ av våtmarksvegetation som är känslig för förändringar av vattenförhållanden och är således en bra indikator på förändring av vattentillgång över lång tid (Bubier, Rock & Crill, 1997). På grund av denna känslighet är studier om mossans spektrala reflektans fördelaktiga för att undersöka vattenstatusen på en våtmark (ibid). Att kartlägga våtmarker på större skala kan däremot vara en svår uppgift på grund av att våtmarker oftast inte består av en bestämd mängd vatten eller homogen typ av vegetation, vilket resulterar i hög variation av spektral reflektans beroende på vilken våtmark som studeras (Töyrä & Pietroniro, 2005). SWIR-band är lämpliga för att karaktärisera vegetation på våtmarker då banden är känsliga för fukt som förekommer i både jord och vegetation (Mahdavi, 2017). Vitmossa är en vanlig växtart på myrar och dess förmåga att fotosyntetisera beror på tillgängligheten av vatten. Förändringar i en mossas hydrologi har därför stor påverkan på fotosyntesens effektivitet. Ett vanligt fenomen som begränsar den fotosyntetiserande aktiviteten är torka då växtligheten absorberar mer ljus än vad som är nödvändigt (Harris, 2008).

## **2.7 Vegetationsindex**

Vegetationsindex (VI) är ett sätt för att tydligare se vegetationen inom ett område genom att manipulera satellitdata där kvoten mellan två eller flera band räknas ut. Det finns många olika typer av VI som bland annat kan indikera på vegetationens växtkraft och biomassa (Campbell & Wynne, 2011, s. 483). VI fungerar på grund av att olika våglängder från solstrålningen reflekteras och absorberas olika i vegetation. Klorofyll absorberar solens strålning i de röda och blå banden och reflekterar den gröna strålningen. Absorberingen av den röda och blå strålningen ligger till grund för att växten kan utföra fotosyntes. Det är dock inte det gröna bandet som har högst reflektans i frisk vegetation, utan NIR-bandet. Detta förklarar varför NIR-bandet är fördelaktigt att använda vid studier om vegetation och dess välmående (ibid., s. 472).

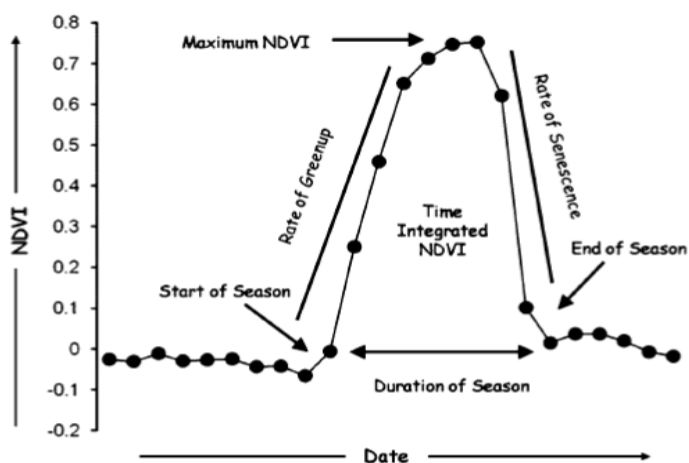
### **2.7.1 NDVI**

Ett av de vanligaste VIs är NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Campbell & Wynne, 2011, s. 483). För att beräkna NDVI används följande formel:

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

där NIR står för pixelvärden från det nära-infraröda bandet och R står för pixelvärden från det röda bandet. NDVI-värden ligger mellan 1 och -1. Negativa värden närmare -1 indikerar vatten. Värden nära noll (-0,1-0,1) antyder på sten, sand eller snö. Värden mellan cirka 0,2–0,4 visar glesare växtlighet, exempelvis buskar och gräs. Höga positiva värden närmare 1 tyder på tempererade eller tropiska regnskogar (Sentinel-Hub, u.å)

NDVI ger en bra bild över den fotosyntetiska aktiviteten under en växtsäsong och kan ge fenologiska mönster över olika landskapstyper och olika meteorologiska och väderrelaterade event såsom torka (Campbell & Wynne, 2011, s. 491). NDVI är därför en lämplig metod för att undersöka hur stor påverkan torka har på växtsäsongens fotosyntetiserande aktivitet. För att studera den fotosyntetiserande aktiviteten i ett område kan en fenologisk studie genomföras där NDVI är till stor nytta. Under vintern når NDVI sitt minimum då vegetationen ligger i dvala. När fotosyntesen startar i växtligheten ses det genom NDVI, detta kallas för *green up* (Figur 2) och markerar början på växtsäsongen. Efter ett tag når *green up* sitt maximala NDVI och den fotosyntetiserande utvecklingen börjar saktas ner eller stanna av då växten istället lägger sin energi på att sprida frön och frukter för att säkerställa artens överlevnad till nästa säsong. Den gradvisa avvecklingen av växtstyrkan som oftast sker på sensommaren kallas *senescence* som senare tas över av *brown down* som markerar hösten (Campbell & Wynne, 2011, s. 492). I södra Sverige sker växtsäsongen under april-september (Tarvainen, Räntfors & Wallin, 2015) där NDVI normalt sett når sitt maximala värde under juli månad (Walker et. al, 2011).



Figur 2. Fenologiskt diagram av generella mönster under en växtsäsong. Källa: Campbell, 2011, s. 493.

Figure 2. Phenological diagram of the general pattern of a growing season. Source: Campell, 2011, p. 493.

### 2.7.2 NDWI

NDWI (*Normalized Difference Water Index*) är ett vegetationsindex som tagits fram av Gao (1996). Precis som för NDVI används det nära infraröda bandet (NIR) för att räkna ut NDWI, men de båda index skiljer sig åt då NDWI använder det kortvågiga infraröda bandet (SWIR), som visar på vegetationens väta, istället för det röda bandet som NDVI använder. NDWI mäter alltså både vegetationens väta genom SWIR och den fotosyntetiska produktiviteten genom NIR. Faktumet att NDWI visar på växters vatteninnehåll har gjort att NDWI har blivit allt populärare vid undersökning av torka och dess påverkan på jordbruk och skog (Gu, Brown, Verdin & Wardlow 2007). NDWI beräknas med följande formel:

$$NDWI = ((NIR - SWIR) \div (NIR + SWIR)) \quad (2)$$

NDWI har värden mellan -1 och 1, där högre värden indikerar på en högre mängd fukt i vegetationen. Negativa värden antyder på död vegetation, alternativt mark utan vegetation (Gao, 1996).

### 3. Studieområde

Studien har genomförts i Skogaryd och Västra Tunhem som vardera ligger cirka tio kilometer från Vänersborg (figur 3). Skogaryd och Västra Tunhem ingår i den hemiboreala klimatzonen (He, Jansson, Svensson, Meyer, Klemedtsson & Kasimir, 2017) vilket innebär att områdena har blandade egenskaper från både boreala och tempererade skogar. Årsmedeltemperaturen i området är 6,2 C och årsmedelnederbörden är 709 mm (referensperiod 1961–1990) (SMHI 2014).

#### 3.1 Skogaryd

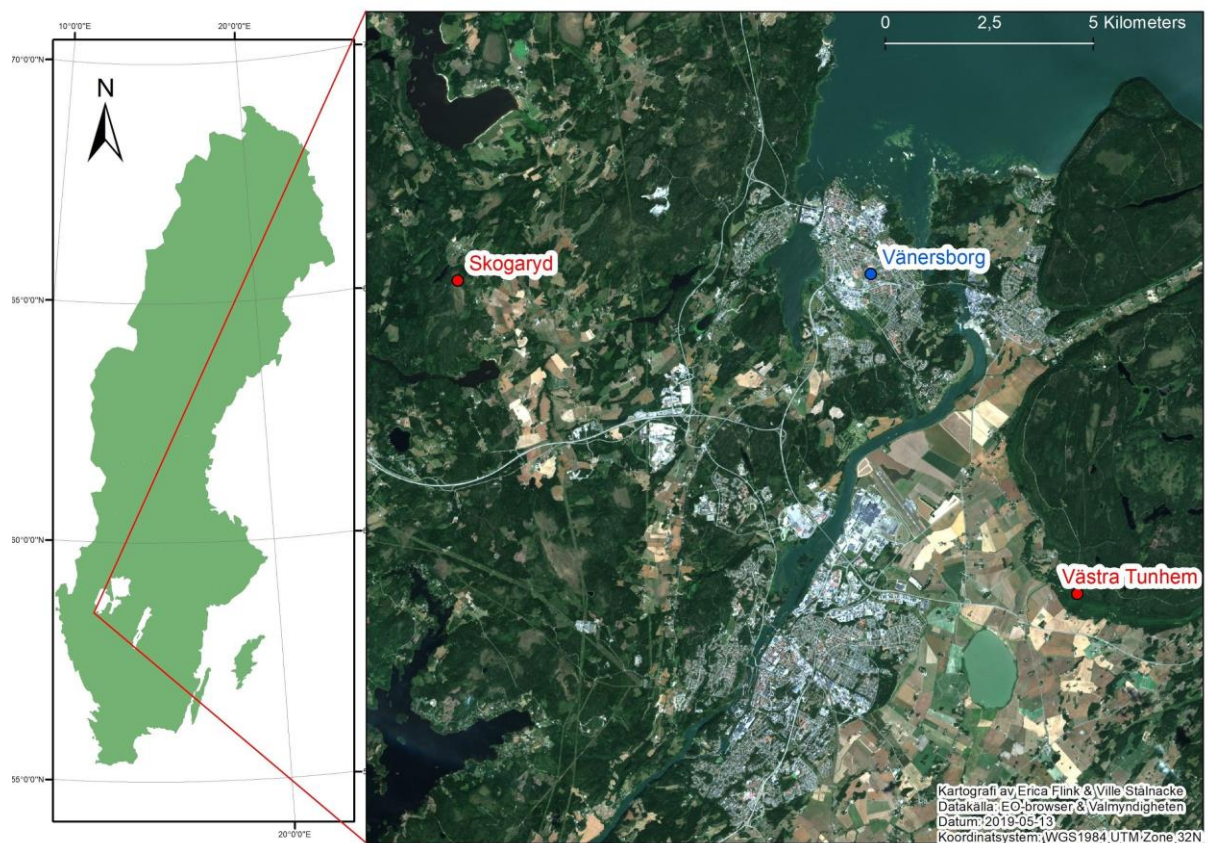
Skogaryd är ett område på ungefär 1000 hektar (58°23'N, 12°09'E). Området har länge varit bebott och under tidigt 1870-tal dikades våtmarker ut och jordbruk bedrevs flitigt. Under 1950-talet förändrades landskapet i form av att granskog planterades i området. Vegetationen domineras i dagsläget av gran (95%) (*Picea abies*) men innehåller också inslag av glasbjörk (3%) (*Betula pubescens*) och tall (2%) (*Pinus sylvestris*) (He, et al. 2016). Jordarterna i Skogaryd består i huvudsak av organiska jordarter med inslag av mineraljord (Banzhaf, Klemedtsson, Sturkell, Nyström & Barthel, 2014).

Sedan 2006 finns en forskningsstation i Skogaryd som drivs av Göteborgs Universitet. Stationen är sedan 2013 en del av SITES, vilket är nationellt samordnad infrastruktur för mark- och vattenbunden forskning. Skogaryd valdes som studieområde då det är ett väldokumenterat område med god infrastruktur för forskning och innehåller vegetationstyper som är typiska för stora delar av södra Sveriges skogslandskap. Skogaryds forskningsområde består av sex delområden; kalhygget på podzoljord, Ersjön, Följesjön, skog på dränerad organisk jord, skog på mineraljord och myr Mycklemossen. Denna studie kommer fokusera på fyra av dessa: kalhygget på podzoljord, skog på dränerad organisk jord, skog på mineraljord och myr Mycklemossen.

#### 3.2 Västra Tunhem

Västra Tunhem är beläget cirka 15 kilometer sydöst om Skogaryd (58°18'N, 12°24'E). Området är ett naturreservat som är känt för sina kulturhistoriska miljöer och stora naturvärden (Länsstyrelsen Västra Götaland, u.å.). Västra Tunhem består av sammanhängande partier av lövskog till skillnad från Skogaryd där majoriteten av vegetationen utgörs av barrskog. Västra Tunhems lövskogar består av blandade lövskogsbestånd där både

ädellövsinslag, som ek (*Quercus robur*) och lönn (*Acer platanoides*), och triviällövträd, såsom hassel (*Corylus avellana*) och hägg (*Prunus padus*), förekommer (Martinsson, 1991).



Figur 3. Översiktskarta över studieområdet.

Figure 3. Overview map of the study area.

## 4. Metod och data

För att mäta torkans påverkan på vegetationen i Skogaryd och Västra Tunhem har satellitbilder från Sentinel-2 använts för att beräkna NDVI och NDWI i området. Fjärranalys har använts som främsta hjälpmedel eftersom det är optimalt för att få en helhetsbild av förändringar över stora skogsområden vilket kan ge större förståelse av samband mellan faktorer som påverkar skogen (Campbell & Wynne, 2011, s. 465). Bearbetning, analys och visualisering har gjorts i ArcMap 10.6 och Microsoft Excel. Ett flödesschema över arbetsprocessen kan ses i figur 4.



Figur 4. Flödesschema över arbetsprocessen.

Figure 4. Flow chart of the work process.

### 4.1 Datainsamling

#### 4.1.1 Sentinel-2

Banden från Sentinel-2 som använts i studien ses i tabell 1. Satellitbilder från Sentinel 2 tillhandahålls utan kostnad och kan hämtas från olika hemsidor, till denna studie hämtades data från Copernicus Open Access Hub och Sentinel Hub.

Tabell 1. Valda band och våglängder från Sentinel 2-satelliten som användes i studien.

Table 1. Selected bands and wavelengths of the Sentinel.-2 satellite used in the study.

Bandnummer	Våglängd ( $\mu\text{m}$ )	Allmänt namn på våglängd	Pixelstorlek (m)
1	0,440–0,535	Blå	10
2	0,537–0,582	Grön	10
3	0,646–0,684	Röd	10
4	0,694–0,713	Vegetation Red Edge 5	20
5	0,731–0,749	Vegetation Red Edge 6	20

6	0,769–0,797	Vegetation Red Edge 7	20
7	0,773–0,908	Nära infraröd (NIR)	10
8	0,848–0,881	Smal Nära infraröd	20
9	1,539–1,682	Kortvågig infraröd 1	20
10	2,078–2,320	Kortvågig infraröd 2	20

Satellitbilder från Sentinel-2 är 290 x 290 km stora men delas upp i mindre delar, så kallade *granules*, som är 100 x 100 km. Urvalet gjordes genom att välja bilder med mindre än 20% molntäckning då moln blockerar reflektansen från jorden. Bilder hämtades från maj-september under 2017 och 2018. Ett aktivt val gjordes att inte undersöka hela växtsäsongen (april-september) då torkan inte varade under hela perioden. September 2017 har över 20% molntäckning, men de moln som fanns i satellitbilden låg inte över studieområdet. Datumen och procent av moln för de valda satellitbilderna ses i tabell 2.

*Tabell 2. Datum och molnprocent för satellitbilder som användes respektive år.*

*Table 2. Date and cloud percentage of the satellite pictures being used of each year.*

År	Datum	% moln
2018	23-maj	0
	29-jun	0
	27-jul	0,1
	13-aug	15
	30-sept	0
2017	23-maj	1,7
	19-jun	3,5
	04-jul	2,9
	23-aug	0,2
	25-sep	21,3

#### **4.1.2 Nationella marktäckesdatan**

Nationella marktäckesdatan (NMD) tillhandahålls av Naturvårdsverket. Syftet med NMD är att ge information om de svenska landskapen och de förändringar som sker (Naturvårdsverket, 2017). Till denna studie har NMD, tillsammans med satellitbilderna,

använts för att undersöka vilken marktäckning som finns i det aktuella studieområdet. NMD har legat till grund för urvalet av förändringspunkter, som beskrivs i avsnitt 4.2.2.

#### **4.1.3 Klimatdata**

Månadsmedellufttemperatur- och nederbördsdata över det hydrologiska året (1 oktober- 30 september) hämtades från SMHI:s väderstation 8223 i Vänersborg, cirka 10 kilometer från studieområdena. Det hydrologiska året användes för att tydligare visa vattenstatusen under växtsäsongen, då nederbörden som faller under hösten och vintern kan påverka mängden vatten i vegetationen under sommaren (SMHI, 2018). Data över 2017, 2018 och normalperioden 1961–1990 hämtades. Databearbetningen skedde i Excel.

#### **4.1.4 Insamling av vegetationsdata från delområdena**

2019-04-24 utfördes insamling av vegetationsdata, med mål att besöka varje punkt som ligger till grund för analysen. Fältarbetet utfördes för att undersöka vilken sorts vegetation som växer på varje punkt, för att lättare tolka resultatet från fjärranalysen. Information som samlades in var trädtyp, markvegetationstyp, trädhöjd, procent av krontäckning och vilken vegetationsklass som punkten tillhör. Vegetationsklassificeringen gjordes utifrån ett klassificeringssystem från FN:s livsmedel- och jordbruksorganisation (FAO, 2000). Två av punkterna i lövskogsområdet besöktes inte på grund av att de låg på privat mark och det ansågs inte lämpligt att besöka dem på grund av detta. I övrigt besöktes resterande 14 punkter.

För att hitta punkternas placering skrevs deras koordinater in i apparna Google Maps och Sweden Topo Maps. Två appar användes för att säkerställa att vi var vid rätt koordinat. Därefter togs anteckningar om vegetationen på varje punkt och även bilder togs; i nordlig, östlig, sydlig och västlig riktning från punktens mitt. Den insamlade fältdatan ses i tabell 3. Bilder från punkterna går att se i bilaga 2.

Tabell 3. Fältdata över varje delområde.

Table 3. Field data from every subsite.

Namn	Trädhöjd (m)	Markvegetation (%)	Krontäckning (%)	FAO-klass
<b>Mycklemossen</b>				
Punkt 1	Ungbjörk (~1,5) Gran (~2)	Gräsbevuxen mossa (95) Risbevuxen mossa (5)	Björk (~40) Gran (~15)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
Punkt 2	-	Öppen mossa (50) Gräsbevuxen mossa (40) Risbevuxen mossa (10)	-	Natural and semi-natural aquatic or regularly flooded vegetation.
Punkt 3	Låga tallar (0,3)	Öppen mossa (40) Gräsbevuxen mossa (50) Risbevuxen mossa (10)	Låg tall (<5)	Natural and semi-natural aquatic or regularly flooded vegetation
Punkt 4	Låga tallar (0,5)	Gräsbevuxen mossa (95) Risbevuxen mossa (5)	Låg tall (~5)	Natural and semi-natural aquatic or regularly flooded vegetation.
<b>Lövskog</b>				
Punkt 1	Ek (~30) Hassel (~ 10) Hägg (~3)	Nedfallna löv (90) Vitsippor (~5) Låga lövväxter (~5)	Ek (~60) Hassel (~10) Hägg (~10)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
Punkt 2	-	-	-	-
Punkt 3	-	-	-	-
<b>Barrskog på mineraljord</b>				
Punkt 1	Höga granar (~30) Låga granar (~0,5)	Mossa (85) Gräs (15)	Hög gran (~70) Låg gran (~5)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
Punkt 2	Höga granar (~30)	Öppen mossa (50) Gräsbevuxen mossa (40) Risbevuxen mossa (10)	Gran (~75)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
Punkt 3	Låga granar (~0,5)	Öppen mossa (40) Gräsbevuxen mossa (50) Risbevuxen mossa (10)	Låg gran (~5)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
<b>Barrskog på dränerad organisk jord</b>				
Punkt 1	Höga granar (~30)	Mossa (90) Ris (10)	Hög gran (~65)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.

Punkt 2	Höga granar (~30) Låga granar (~1,5)	Mossa (80) Gräs (10) Ris (10)	Hög gran (~50) Låg gran (~25)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
Punkt 3	Tall (~15)	Gräs (50) Mossa (40) Ris (10)	Tall (~30)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
<b>Kalhygge</b>				
Punkt 1	Ungbjörk (~2) Gran (~2)	Gräs (60) Ris (20) Mossa (20)	Björk (~14) Gran (~1)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
Punkt 2	Ungbjörk (~1) Unggran (~1,5)	Gräs (40) Mossa (40) Ris (15) Sten (5)	Gran (~10) Björk (~5)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.
Punkt 3	Ungbjörk (~3) Unggran (~1,5)	Gräs (50) Mossa (40) Ris (10)	Björk (~35) Gran (~10)	Natural and semi-natural terrestrial vegetation.

## 4.2 Bearbetning

Band 4–6 och 8–10 (tabell 1) har 20 meters pixelstorlek, medan resterande har 10 meters pixelstorlek. För att kunna processa samtliga band tillsammans användes verktyget *resample*. Verktyget delar upp 20 meters pixlarna till 10 meters pixlar utan att ändra värdet i pixlarna. Därefter lades samtliga band ihop till en rasterfil med verktyget *composite*. Denna sammanslagna rasterfil användes för att visualisera olika kombinationer av band som är viktigt att göra för att förstå vad VI-resultaten visar. Uträkningen av NDWI och NDVI gjordes med ett Pythonskript i ArcMap 10.6 (bilaga 1). Python användes för att effektivisera arbetet då många satellitbilder skulle bearbetas.

### 4.2.1 Förändringsanalys

En temporal bildförändringsanalys utfördes för att se skillnaden i VI mellan samma månad åren 2017 och 2018. Detta innebär att pixelvärden från VI-bilden för en specifik månad år 2017 subtraherades med motsvarande månads VI-bild år 2018 för att få fram förändringen i VI mellan åren (Lillesand, Kiefer & Chipman, 2008, s. 596). Ett exempel på uträkningen för juli månad ses i formel 3. Denna beräkning utfördes i ArcMap's *raster calculator*.

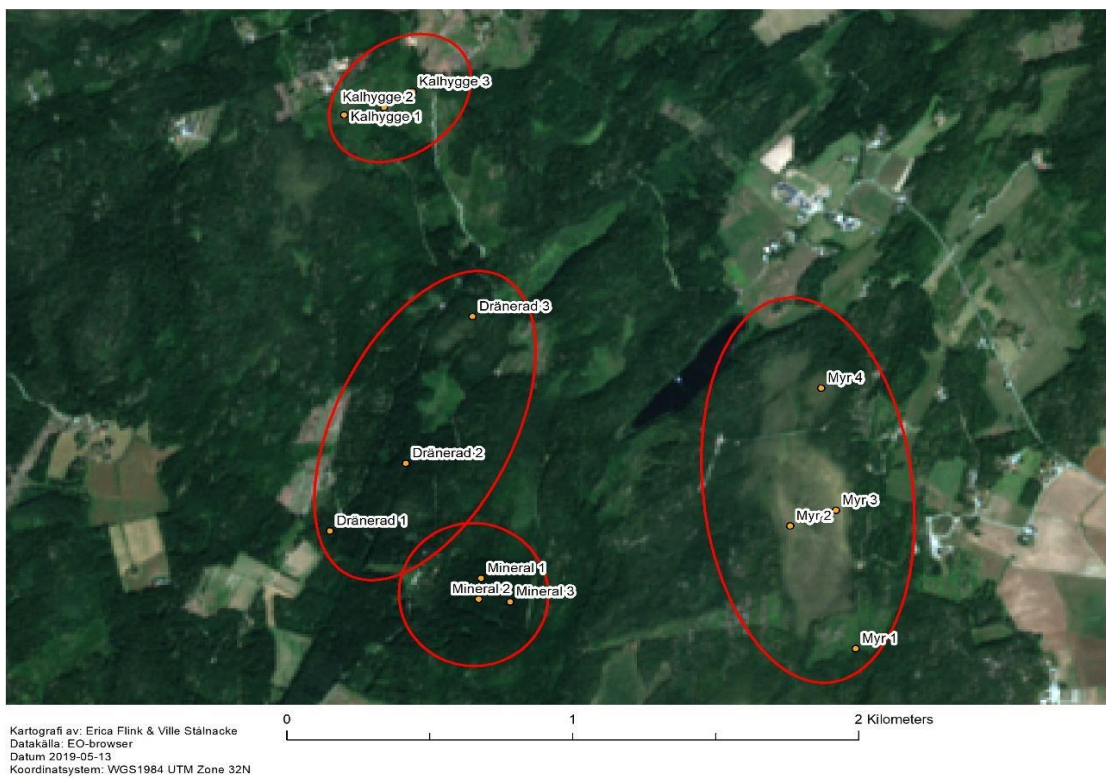
$$\Delta VI \text{ juli} = VI \text{ juli } 2017 - VI \text{ juli } 2018 \quad (3)$$

### **4.2.2 Urval av punkter**

För att få lätthanterliga data gjordes ett urval av punkter i de båda VI. Punkter placerades på pixlar som representerade den generella förändringen i varje delområde med en relativt jämn geografisk spridning över delområdet. För att hitta relevanta pixlar i varje delområde användes en subjektiv bedömningsmetod som innebar att snabbt skifta mellan olika bilder för att se förändringar. Metoden utfördes genom att skifta mellan NMD, en falsk-IR-bild och bilden av pixelförändringen mellan 2017 och 2018. Denna subjektiva bedömning användes för att punkterna skulle placeras på pixlar vars förändring inte påverkas av människan, exempelvis i form av byggnader och vägar. Punkter placerades där förändringar tydligt kunde identifieras mellan åren utan att välja områden med extremvärden. Tre punkter placerades ut i varje delområde förutom på myren som är delområdet med störst yta och därav gjordes bedömningen att en fjärde punkt behövdes för att uppnå en jämn geografisk spridning. Totalt placerades 16 punkter ut på delområdena. Punkternas placering ses i figur 5 och 6.

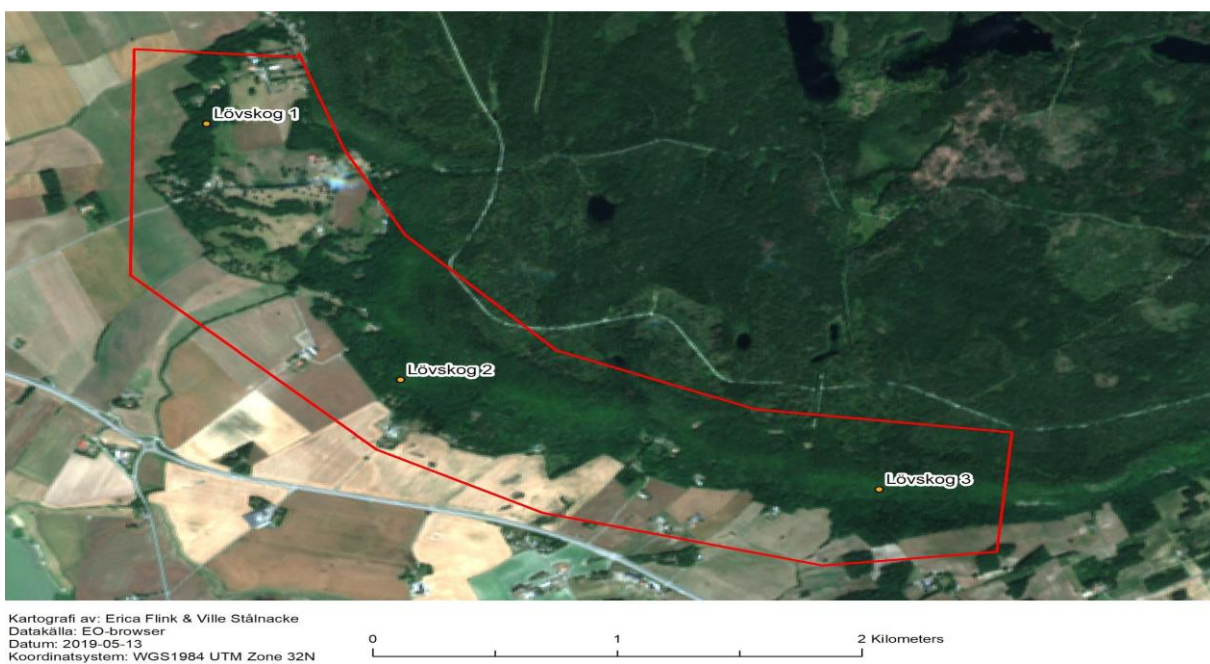
### **4.2.3 Pixelvärden**

Punkterna som placerades ut användes för att få fram pixelvärden för NDVI och NDWI för varje månad åren 2017 och 2018 på varje delområde. För att effektivisera arbetsprocessen användes ett skript i programmet Rstudio.



Figur 5. Mätpunkternas placering i Skogaryd. Röda ringar visar delområdena.

Figure 5. The placement of the points used in the study in Skogaryd. Red rings indicate the subites.



Figur 6. Mätpunkternas placering i lövskogsområdet i Västra Tunhem. Den röda polygonen visar sammanhängande lövskog.

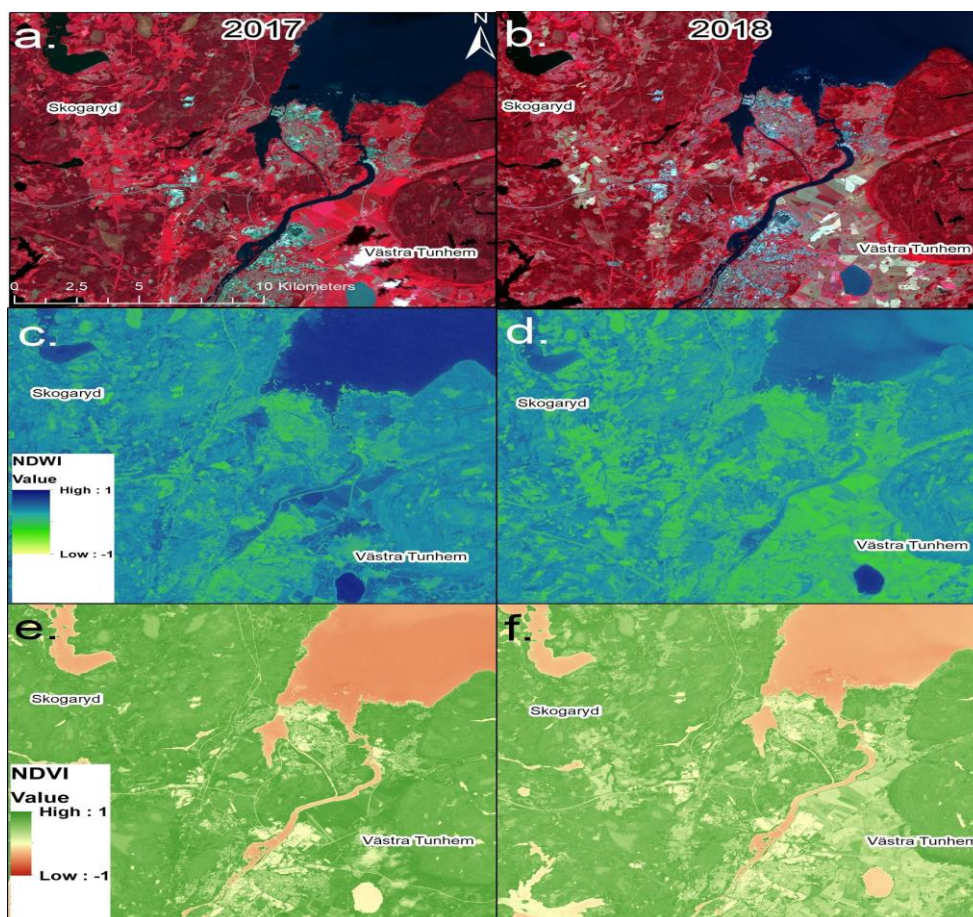
Figure 6. The placement of the points used in the study in Västra Tunhem. The red polygon indicates continuous deciduous forest.

## 5. Resultat

Först presenteras en visuell jämförelse mellan falsk IR och de båda VI från 2017 och 2018 under juli (figur 7). Sedan presenteras förändringen av VI för respektive delområde under perioden maj-september 2017 och 2018 (figur 8–12). Därefter presenteras tabeller som visar värdeförändringen och den procentuella skillnaden i VI mellan juli 2017 och juli 2018 för samtliga punkter (tabell 4–5). Slutligen presenteras klimatdatan genom två grafer med nederbörd och lufttemperatur för 2017, 2018 samt normalperioden 1961–1990 (figur 13).

### 5.1 Fjärranalys

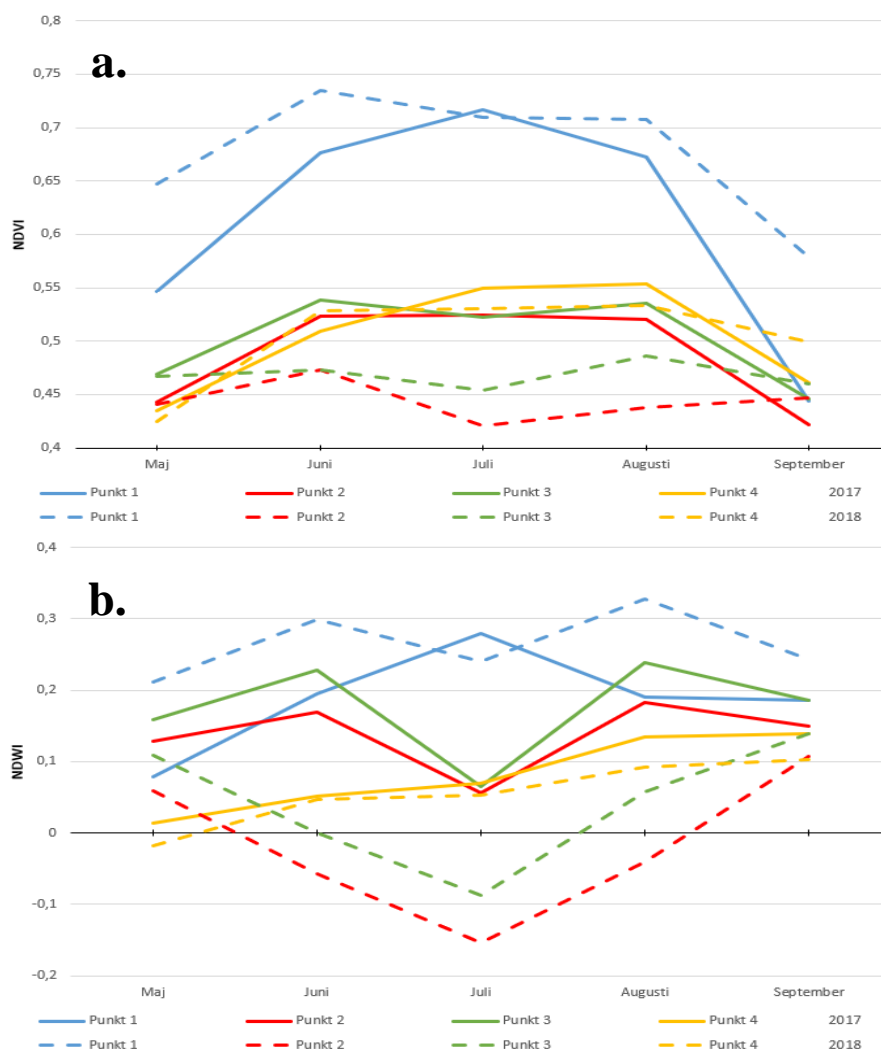
Figur 7 visar de två studieområdena med olika visualiseringar som alla legat till grund för den satellitbaserade fjärranalysen. Det går att uppfatta en generell minskning av VI för 2018 jämfört med 2017 i och omkring områdena.



Figur 7. Överblick över studieområdena med omnejd med olika visualiseringar i juli 2017 och 2018. a-b: falsk IR-bild. c-d: NDWI. e-f: NDVI.

Figure 7. Overview over the study areas and their surroundings with different visualisation in July 2017 and 2018. a-b: false IR-colour. c-d: NDWI. e-f: NDVI

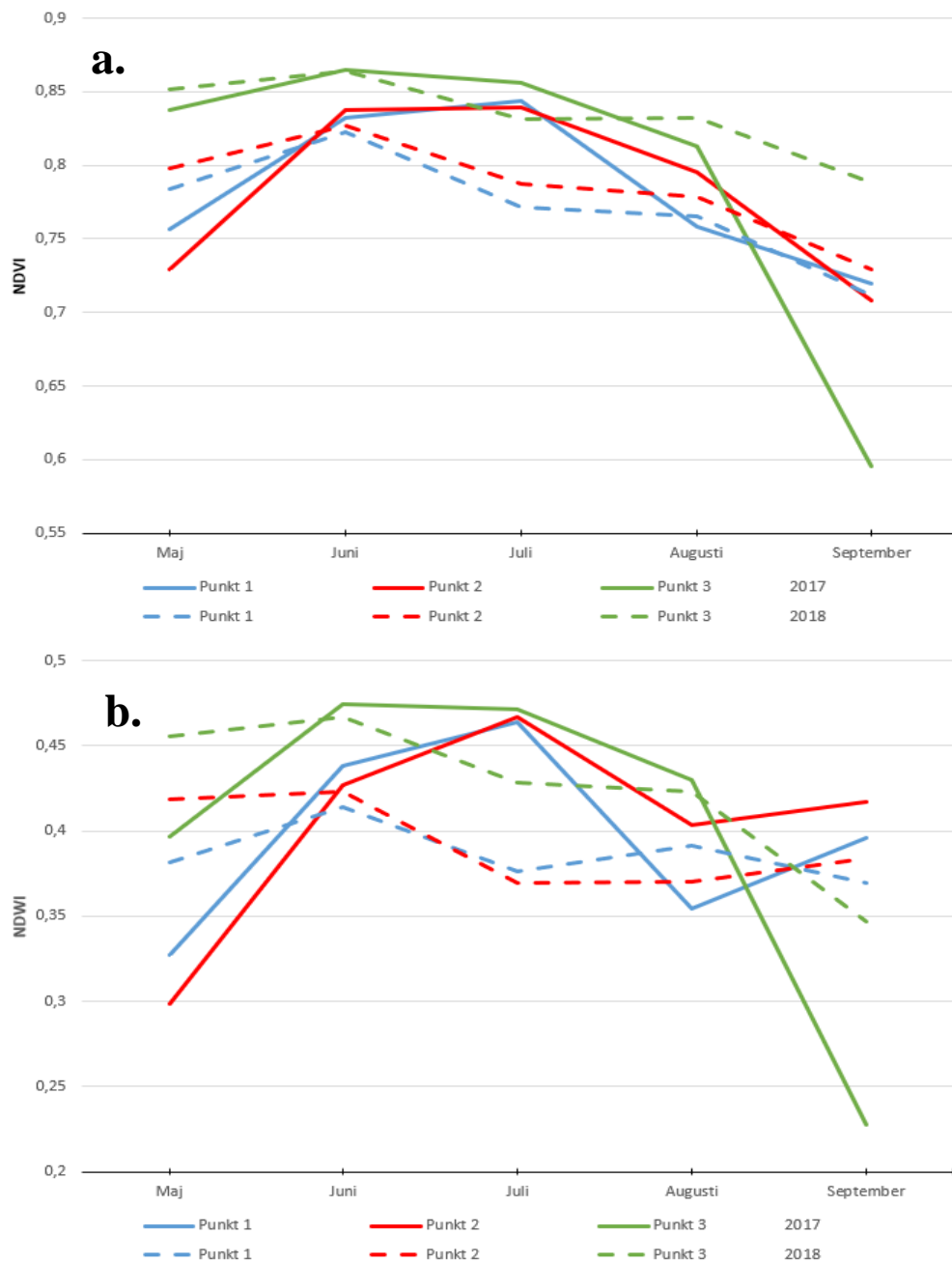
Figur 8 visar NDVI (a) och NDWI (b) för myr Mycklemossen. Båda VI visar en minskning under juli 2018 i jämförelse med 2017. Punkt 2 och 3 har genomgående lägre VI-värden under juni, juli och augusti 2018. Punkt 2 och 3 har dessutom de största VI-skillnaderna mellan åren, där NDWI utmärker sig genom att ha negativa värden under juli 2018. Punkt 1 utmärker sig i båda VI genom att ha högre värden relativt till de andra punkterna och även genom att lägre VI-värden under 2018 i jämförelse med 2017 bara går att se i juli. En skillnad mellan de båda VI är att NDVI visar högre mätvärden under september 2018 än 2017, något som generellt inte kan ses i NDWI.



Figur 8. VI-mätningar över Mycklemossen för perioden maj-september åren 2017 och 2018. Observera att Y-axeln är modifierad. a: NDVI. b: NDWI.

Figure 8. VI-measurements at mire Mycklemossen in May-September in the years 2017 and 2018. Note that the Y-axis has been modified. a: NDVI. b: NDWI.

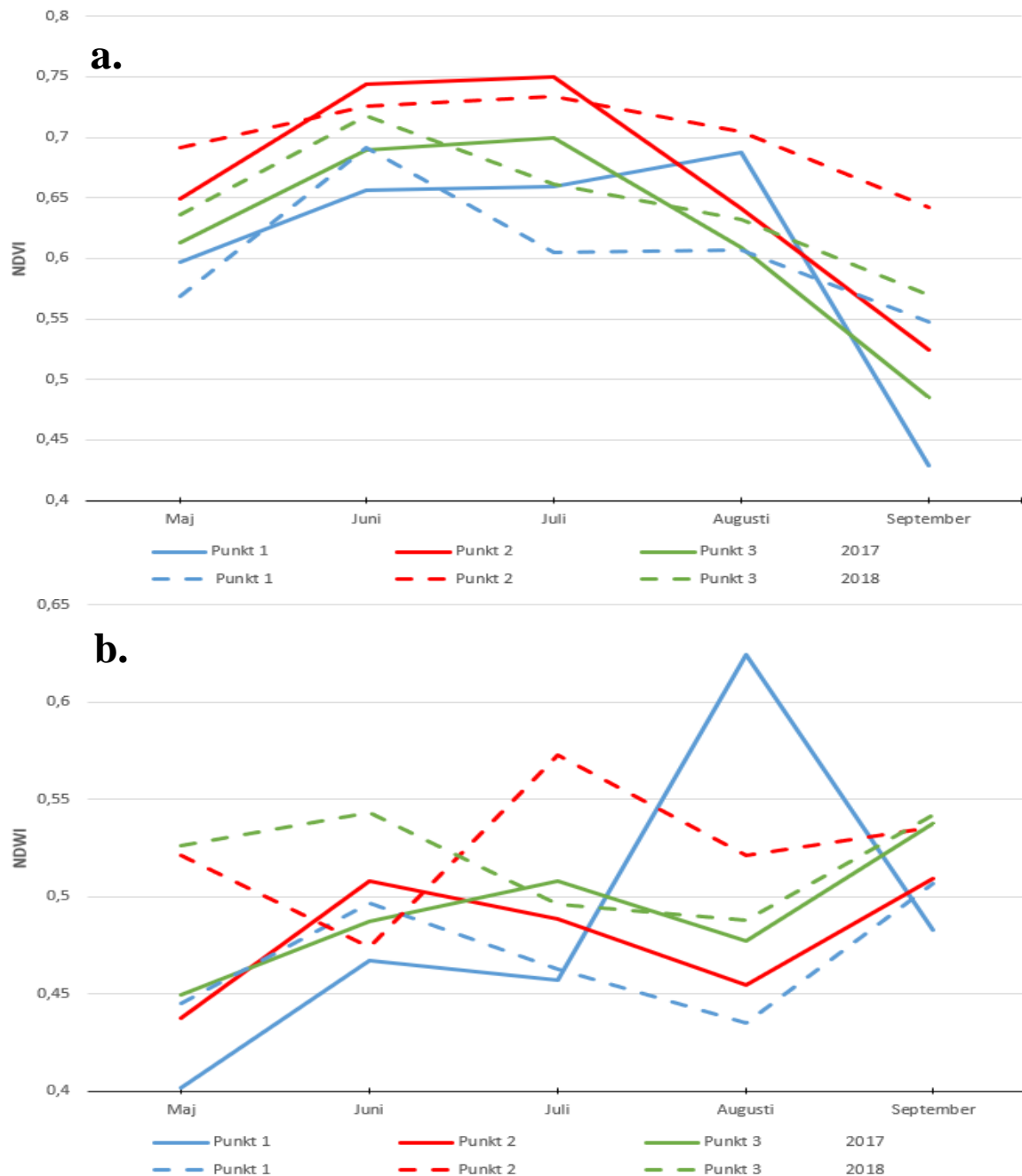
Figur 9 visar NDVI (a) och NDWI (b) över lövskogsområdet. Båda VI uppvisar en minskning under juli 2018 i jämförelse med juli 2017, vilket också kunde ses på myren (figur 8). Samtliga mätpunkter når sitt maximala VI under juni månad år 2018. Lägre VI-värden för samtliga punkter går att se under juni och juli 2018 jämfört med 2017. Alla punkter utom punkt 1 visar högre NDVI-värden under september 2018 än 2017, i likhet med myr Mycklemossen.



Figur 9. VI-mätningar över lövskogsområdet för perioden maj-september åren 2017 och 2018. Observera att Y-axeln är modifierad. a: NDVI. b: NDWI.

Figure 9. VI-measurements at the deciduous forest in May-September in the years 2017 and 2018. Note that the Y-axis has been modified. a: NDVI. b: NDWI.

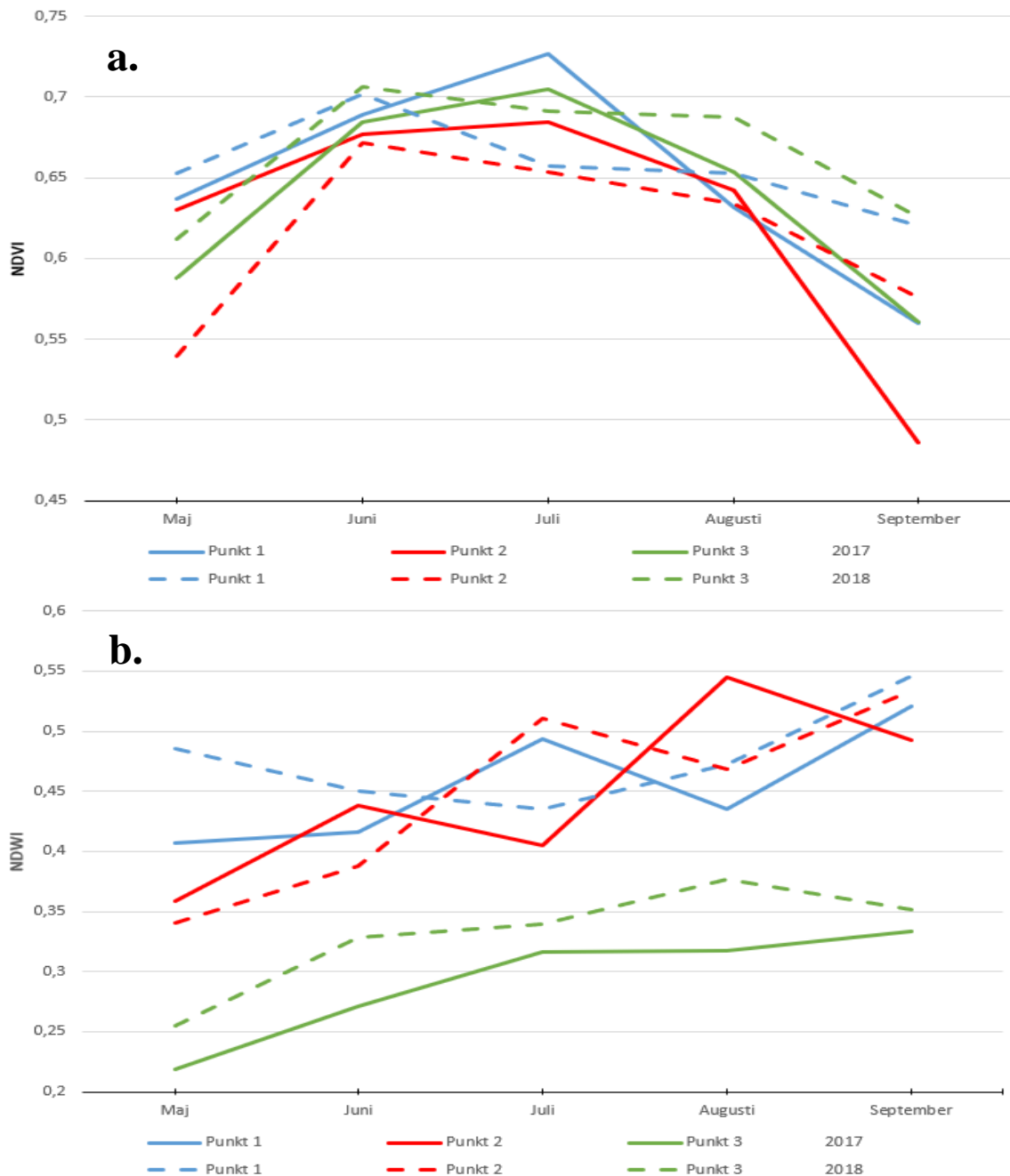
Figur 10 visar NDVI (a) och NDWI (b) över barrskogen på mineraljord. Skillnaderna mellan NDVI och NDWI är tydliga då NDWI inte visar någon tydlig trend överhuvudtaget. NDVI visar, liksom Mycklemossen och lövskogen, lägre värden i juli 2018 i jämförelse med juli 2017. NDVI för punkt 2 2018 visar ingen minskning från juni till juli, som varit den generella trenden för lövskog och myr Mycklemossen, däremot ses detta på punkt 1 och 3. NDVI-värdena i september 2018 är högre än 2017, som på myren och i lövskogen.



Figur 10. VI-mätningar över barrskogen på mineraljord för perioden maj-september åren 2017 och 2018. Observera att Y-axeln är modifierad. a: NDVI. b: NDWI.

Figure 10. VI-measurements at the coniferous forest on mineral soils in May-September in the years 2017 and 2018. Note that the Y-axis has been modified. a: NDVI. b: NDWI.

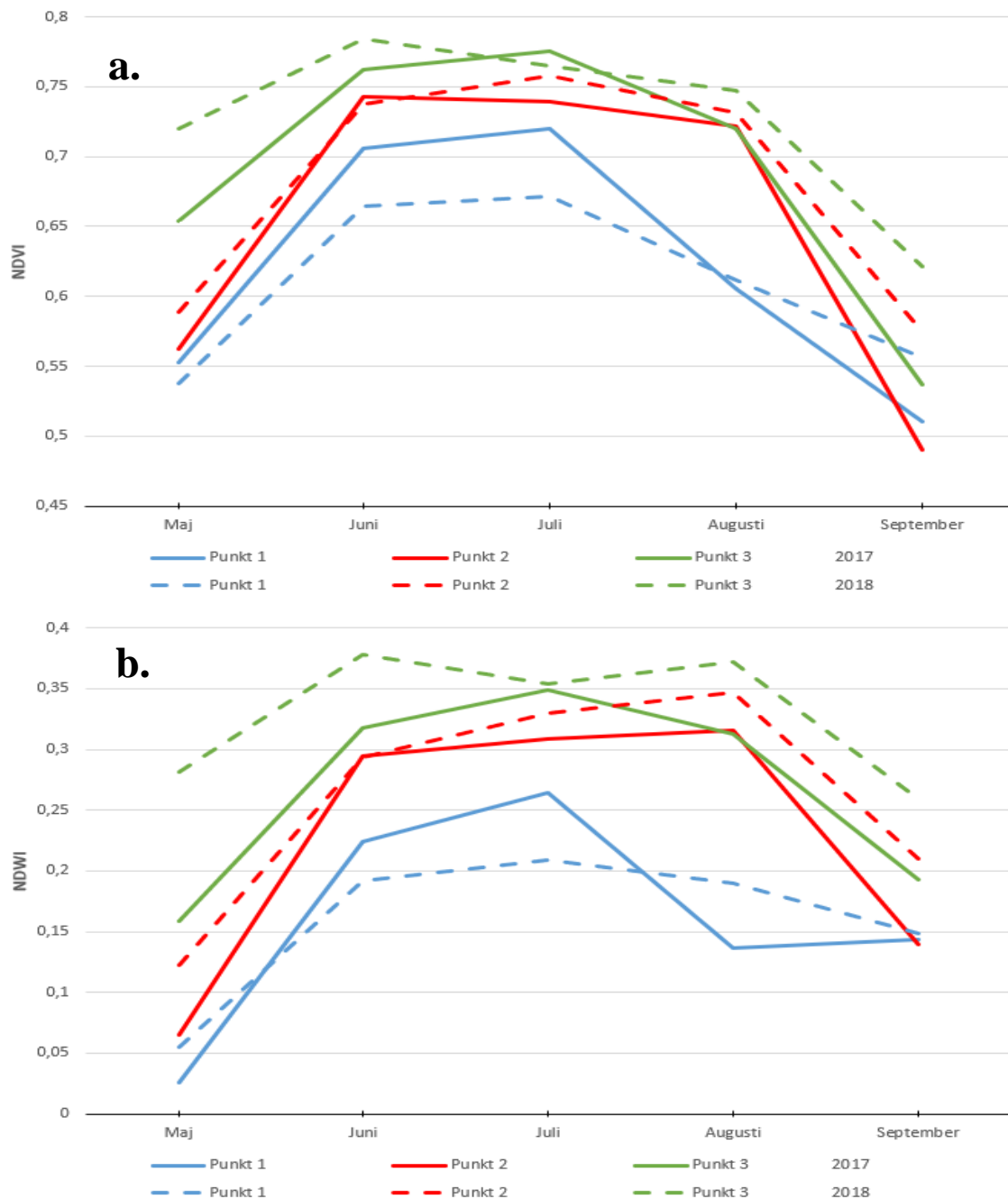
Figur 11 visar NDVI (a) och NDWI (b) över barrskogen på dränerad organisk jord. NDWI saknar tydliga trender, i likhet med NDWI över barrskogen på mineraljord (figur 10b). NDVI liknar i stor grad de trender som gick att se över NDVI i lövskogen, myren och barrskogen på mineraljord. De tydligaste likheterna i NDVI med tidigare delområden är att de maximala värdena under 2018 ses i juni, värdena i juli 2018 är lägre än 2017 och värdena i september 2018 är högre än 2017.



Figur 11. VI-mätningar över barrskogen på dränerad organisk jord för perioden maj-september åren 2017 och 2018. Observera att Y-axeln är modifierad. a: NDVI. b: NDWI.

Figure 11. VI-measurements at the coniferous forest on drained organic soils in May-September in the years 2017 and 2018. Note that the Y-axis has been modified. a: NDVI. b: NDWI.

Figur 12 visar NDVI (a) och NDWI (b) över kalhygget. Punkt 3 är den enda punkten som visar liknande trender till tidigare presenterade delområden, med en minskning i värde mellan juni och juli 2018 för båda VI. VI-värdena är däremot generellt högre 2018 än 2017 för punkt 3, något som inte setts i andra delområden. Övriga VI-värden överensstämmer inte med trender som visats i övriga delområden, det vill säga maximala mätvärden under juni 2018 och generellt lägre VI under juni och juli.



Figur 12. VI-mätningar över kalhygget för perioden maj-september åren 2017 och 2018. Observera att Y-axeln är modifierad. a: NDVI. b: NDWI.

Figure 12. VI-measurements at the clear-cut in May-September in the years 2017 and 2018. Note that the Y-axis has been modified. a: NDVI. b: NDWI.

Det som sammanfattningsvis indikerar torkans påverkan på vegetationen under 2018 är tre fenomen: en minskning av VI i juli, NDVI-värden som når sitt maximum i juni istället för juli och genomgående lägre värden av VI under juni och juli under 2018 jämfört med 2017.

### 5.1.1 Sammanfattning av figur 8–12

Myr Mycklemossen och lövskogen är de delområden där både NDVI och NDWI representerar torkan under 2018 tydligt. Barrskog på mineraljord och barrskog på organisk dränerad jord har trender som liknar varandra, där torkans effekt bara går att utläsa ur NDVI och inte med hjälp av NDWI. Kalhygget har inte några distinkta trender som kan förklaras av torkans påverkan vare sig genom NDVI eller NDWI.

### 5.1.2 VI-förändring juli

En sammanställning av respektive VI under juli har framställts då det enligt graferna (figur 8–12) framgår att juli var den månad som återger torkan tydligast. Tabell 4 visar värdeförändringen och den procentuella skillnaden i NDVI mellan juli 2017 och juli 2018 för samtliga punkter. NDVI har minskat på samtliga punkter förutom punkt 2 på kalhygget. Den största procentuella minskningen har skett på punkt 2 och 3 på myr Mycklemossen.

*Tabell 4. Värdeförändring och procentuell skillnad i NDVI för samtliga punkter under juli. Negativa värden indikerar på minskat NDVI.*

*Table 4. Change in NDVI value and percentage change for all points in July. Negative values indicate a decrease in NDVI.*

Myr Mycklemossen	NDVI juli 2017	NDVI juli 2018	Förändring i värde	Procentuell förändring (%)
Punkt 1	0,72	0,71	-0,01	-1
Punkt 2	0,52	0,42	-0,1	-19
Punkt 3	0,52	0,45	-0,07	-13
Punkt 4	0,55	0,53	-0,02	-3
<b>Lövskog</b>				
Punkt 1	0,84	0,77	-0,07	-8
Punkt 2	0,84	0,79	-0,05	-6
Punkt 3	0,86	0,83	-0,03	-3
<b>Barrskog på dränerad organisk jord</b>				
Punkt 1	0,73	0,66	-0,07	-10

Punkt 2	0,68	0,65	-0,03	-4
Punkt 3	0,7	0,69	-0,01	-1
<b>Barrskog på mineraljord</b>				
Punkt 1	0,66	0,6	-0,06	-9
Punkt 2	0,75	0,73	-0,02	-3
Punkt 3	0,7	0,66	-0,04	-6
<b>Kalhygge</b>				
Punkt 1	0,72	0,67	-0,05	-7
Punkt 2	0,74	0,76	+0,02	+3
Punkt 3	0,78	0,76	-0,02	-3

Tabell 5 visar värdeförändringen och den procentuella skillnaden i NDWI mellan juli 2017 och juli 2018 för samtliga punkter. NDWI har minskat på samtliga punkter på myr Mycklemossen och i lövskogen. Barrskogsområdena och kalhygget visar på både ökning och minskning. Den största procentuella minskningen har skett på punkt 2 och 3 på myr Mycklemossen.

*Tabell 5. Värdeförändring och procentuell skillnad i NDWI för samtliga punkter under juli. Negativa värden indikerar på minskat NDWI.*

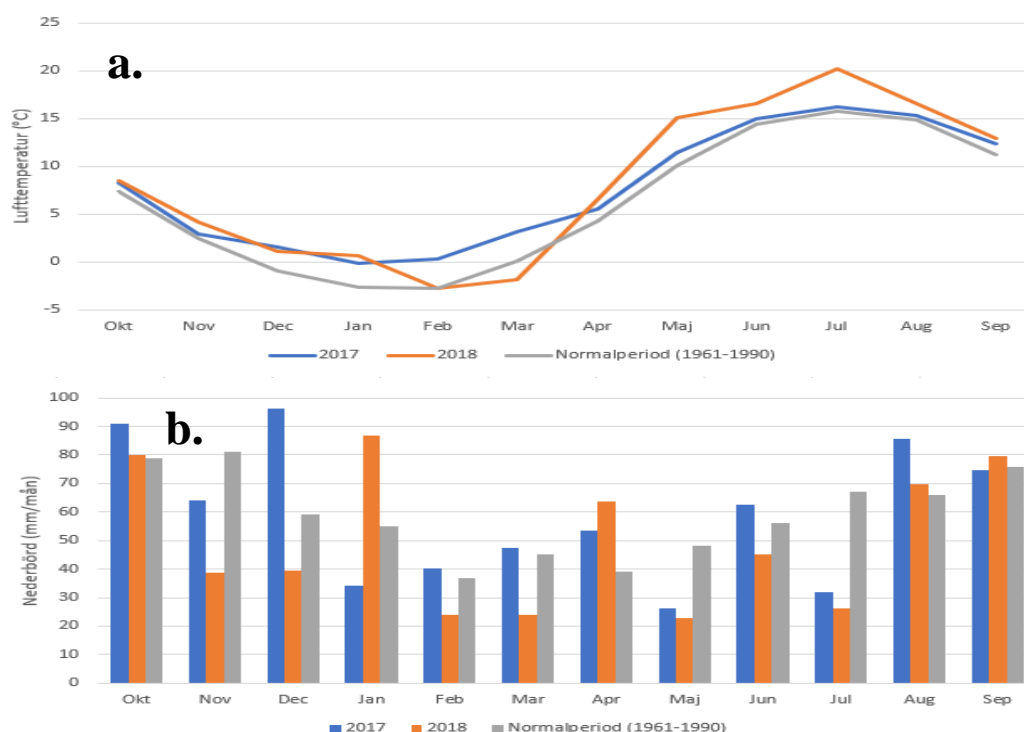
*Table 5. Change in NDWI value and percentage change for all points in July. Negative values indicate a decrease in NDWI.*

<b>Myr Mycklemossen</b>	NDWI juli 2017	NDWI juli 2018	Förändring i värde	Procentuell förändring (%)
Punkt 1	0,28	0,24	-0,04	-14
Punkt 2	0,05	-0,15	-0,2	-400
Punkt 3	0,06	-0,09	-0,15	-250
Punkt 4	0,07	0,05	-0,02	-28
<b>Lövskog</b>				
Punkt 1	0,46	0,38	-0,08	-17
Punkt 2	0,47	0,37	-0,1	-21
Punkt 3	0,47	0,43	-0,04	-9
<b>Barrskog på dränerad organisk jord</b>				
Punkt 1	0,49	0,44	-0,05	-1
Punkt 2	0,41	0,51	+0,1	+24
Punkt 3	0,32	0,34	+0,02	+6

Barrskog på mineraljord				
Punkt 1	0,46	0,46	0	0
Punkt 2	0,49	0,57	+0,08	+16
Punkt 3	0,51	0,5	-0,01	-2
<b>Kalhygge</b>				
Punkt 1	0,26	0,21	-0,05	-19
Punkt 2	0,31	0,33	+0,02	+6
Punkt 3	0,35	0,35	0	0

## 5.2 Klimatdata

Klimatdata från Vänersborg (väderstation 8223) över lufttemperatur och nederbörd för åren 2017, 2018 och normalperioden 1961–1990 presenteras i figur 13. Där går att utläsa att sommaren 2018 var både varmare och torrare än 2017. Det framgår även att 2017 var en normalsommar sett till lufttemperatur, men inte sett till nederbörd.



Figur 13. Klimatdata från väderstation 8223 i Vänersborg. a: månadsmedellufttemperatur för 2017, 2018 och normalperioden 1961–1990. b: månadsmedelnederbörd för 2017, 2018 och normalperioden 1961–1990.

Figure 13. Climate data from the weather station 8223 in Vänersborg. a: monthly mean air temperature for 2017, 2018 and the normal period 1961-1990. b: monthly mean precipitation for 2017, 2018 and the normal period 1961-1990.

## 6. Diskussion

Sommaren 2018 var både varmare och torrare än sommaren 2017 (figur 13). Det varmare och torrare vädret under sommaren 2018 ligger med stor sannolikhet till grund för minskningen av VI i juli 2018 (tabell 4–5). Nederbörden under augusti och september 2018 återgick till det normala samtidigt som lufttemperaturen sjönk och återvände mot mer normala tillstånd. Detta kan förklara varför alla, utom ett, NDVI-värde i september 2018 är högre än september 2017. Den mer normala nederbörden och lufttemperaturen ledde med stor sannolikhet till att vegetationen återhämtade sig och fotosyntesen ökade under september.

Utifrån fjärranalysen går det att konstatera att torkan 2018 går att se med hjälp av både NDVI och NDWI. Vilket index som visar torkan tydligast beror på vilken vegetationstyp som studeras, men generellt visar NDVI tydligast effekterna av torkan på de flesta områden. Torkans påverkan på vegetationen är tydligast i juli, då VI-värden generellt var lägre i juli 2018 än 2017 (tabell 4–5). Denna minskning av VI-värden i juli är en indikation på torkans stressande effekt på vegetationen som yttrar sig genom en minskad fotosyntetisk aktivitet (Jones & Vaughan, 2010, s. 39–40) och minskad mängd vatten i vegetationen (Gao, 1996). Det högsta värdet för VI under en växtsäsong i södra Sverige bör dessutom ligga i juli (Walker et. al, 2011) vilket inte är fallet för NDVI under 2018 på majoriteten av delområdena.

Myr Mycklemossen är ett område där både NDWI (figur 8a) och NDVI (figur 8b) visar lägre värden under 2018. Punkt 1 under både 2017 och 2018 uppvisar avvikande trender genom att ha de högsta mätvärdena under båda åren och för båda VI relativt till övriga punkter på myren. Detta kan förklaras av att punkten består av terrestrial vegetation med låga lövträd och en högre andel gräs och ris i jämförelse med övriga punkter på myren som är akvatiska och mestadels består av vitmossa eller grästäckta mossor. Detta bekräftar tidigare forskning som menar att lövträd har högre reflektans i NIR-bandet (Jones & Vaughan, 2010, s. 37) i jämförelse med mossor (Bubier et al., 1997). De högre VI-värdena för punkt 1 kan vidare förklaras av att kärlväxter (exempelvis björk) har lättare för att hålla kvar fukt på grund av deras cellstruktur i jämförelse med mossor som är beroende av konstant tillförsel av fukt för att fotosyntisera (ibid.). På grund av detta är mossor en god klimatindikator vid perioder av långvarig torka (ibid.). Torkans effekt på mossan kan ses tydligast i mätningarna av NDWI under juli 2018 för punkt 2 och 3 på myren (tabell 5). Dessa är de enda mätpunkterna som har negativa värden, vilket brukar indikera mark helt utan vegetation eller vatten (Gao, 1996), men i detta fallet är det troligast död och vattenlös vegetation.

Lövskogen (figur 9) har trender som kan förklaras av torkan 2018, då värdena i juli 2018 sjunker för både NDVI och NDWI (tabell 4–5). Värdena för 2017 följer däremot den kurva som förväntas under den svenska växtsäsongen (Walker et. al, 2011). En trolig förklaring till varför lövskogsområdet tydligt visar torkans påverkan är att löv generellt har hög reflektans av NIR under den fotosyntetiserande perioden (Jones & Vaughan, 2010, s. 37). Den nedgång i juli 2018 som kan utläsas ur tabell 4 tyder då starkt på att torkan minskat den fotosyntetiserande aktiviteten (Jones & Vaughan, 2010, s. 37). Utöver detta indikerar minskningen av NDWI i juli 2018 på både en lägre fotosyntetiserande aktivitet men också på en mindre mängd väta i vegetationen (Gao, 1996) Procentuellt sjunker NDWI mer i jämförelse med NDVI (tabell 4–5). Under 2018 indikerar båda VI att den fotosyntetiska aktiviteten når sitt maximala värde i juni för att sedan sjunka redan i juli, vilket kan bero på en tidig blomning som följd av en varm vår. Minskningen av VI i juli beror troligast på att torkan lett till stängning av lövens klyvöppningar vilket förhindrat en fortsatt normal fotosyntes och vattencirkulation (St.Paul, Delzon & Cochhard, 2017).

Barrskogen på mineraljord (figur 10) och barrskogen på dränerad organisk jord (figur 11) visar på liknande resultat för båda VI och kommer därför diskuteras likvärdigt. Gällande NDVI i barrskogsområdena (figur 10a, figur 11a) kan torkan ses genom maximala värden i juni 2018 för att sedan sjunka i juli, likt myren och lövskogen. Även här beror det troligtvis på att barrrens klyvöppningar stänger sig och begränsar fotosyntesen under torra perioder (St.Paul, Delzon & Cochard, 2017).

Barrskogsområdena uppvisar svårtolkade NDWI-trender (figur 10b, figur 11b och tabell 5) som skiljer sig från vad som ses på myr Mycklemossen och lövskogen. Dessa svårtolkade trender beror med stor sannolikhet på att NDWI använder SWIR-bandet, som är starkt påverkat av skuggor (Reese & Olsson, 2018). Barrskog skuggar sin omgivning i högre grad än lövskog (Reese, 2011, s. 30) och mossa på grund av att barrskogen växer mer inkonsekvent sinsemellan och därför bidrar till större skuggbildningar. Detta bör påverka SWIR-bandet och i sin tur NDWI-resultaten. Faktumet att barrträd är spetsigare än lövträd gör också att krontäcket blir ojämnare och mer skuggbildande. De svårtolkade NDWI-graferna för barrskogen skiljer sig från tidigare forskning som kommit fram till att NDWI är ett bättre index än NDVI för att se vattenstatusen i barrträd (Hadjimitsis et. al, 2010). Denna skillnad kan bero på att studierna har utförts på olika breddgrader där solinstrålningen är annorlunda och att olika barrträdsarter använts för undersökningarna.

Kalhygget (figur 12) är det mest svårtolkade delområdet där få paralleller kan dras till övriga områden. Trenderna för de olika punkterna liknar inte varandra och endast punkt 3 följer den generella trenden med en minskning i juli 2018 för båda VI (tabell 4–5). Att kalhygget inte följer den generella trenden kan förklaras av att kalhygget består av unga träd som snabbt ökar i biomassa vilket gör att mängden fotosyntetiserande vegetation troligast har ökat mycket mellan 2017 och 2018. Eftersom kalhygget i stor grad också påverkas av mänsklig aktivitet är det därför svårt att med säkerhet säga vad förändringarna i VI mellan åren beror på (Reese, 2011, s. 30).

Utifrån det som diskuterats ovan går det att konstatera att NDVI visar torkans påverkan tydligast. Figur 8a, 9a, 10a och 11a visar på en topp i juni 2018 för att sedan sjunka i juli. NDVI-trenden för samma punkter under 2017 följer den normala trenden under en sommar enligt Walker et. al (2011). Ett undantag var dock myr Mycklemossen som visade torkans påverkan under 2018 tydligast genom NDWI, troligast på grund av att mossor är den dominerande vegetationstypen på myren. Den procentuella minskningen i NDWI för punkt 2 och 3 på myr Mycklemossen låg på 400% respektive 250% (tabell 5). Inget annat delområde visar på så stora minskningar vilket troligt beror på att vegetationstyperna på övriga delområden har större möjlighet att hålla kvar fukt på grund av deras annorlunda cellstruktur (Bubier et. al, 1997). På grund av detta ses inte torkans påverkan lika tydligt i NDWI på övriga områden som på Mycklemossen.

Att resultaten i denna studie antyder att NDVI visar torkans påverkan tydligare än NDWI är anmärkningsvärt då resultat från tidigare studier har visat att NDWI är en bättre indikator på torka än NDVI (Gu et. al, 2007; Gao, 1996). En trolig förklaring till varför resultaten från denna studie skiljer sig från tidigare studier är valet av vegetation som undersökts. Delområdena med barrskog visade svårtolkade NDWI-resultat och som nämnts tidigare är barrskog i Sverige generellt mer skuggbildande än, till exempel, lövskog vilket påverkar NDWI negativt. Detta är sannolikt anledningen till att NDWI-resultaten från barrskogen inte visat någon tydlig trend. Vidare bidrar faktumet att solen står relativt lågt på himlen i Sverige till ännu större skuggbildning av barrträden, vilket också bör påverka NDWI negativt.

### ***Metoddiskussion***

Ambitionen var att välja satellitbilder från båda åren med så nära på exakt ett års mellanrum för att minimera skillnaden i solens position, vilket annars kan påverka reflektansen (Lillesand, Kiefer & Chipman, 2008, s. 595). Dock begränsade mängden moln möjligheten att använda bilder med optimal temporal fördelning. En viktig aspekt att ha i åtanke är atmosfärens effekt på satellitbilder, exempelvis har dis en stor påverkan på de gröna och blåa våglängdsbanden, vilket gör satellitbilder ljusare (Reese & Olsson, 2018). Denna sortens påverkan kan göra att reflektansen över en satellitbild inte alltid överensstämmer med den sanna reflektansen från marken (Hadjimitsis et al., 2010). Det är viktigt att ta hänsyn till atmosfärens effekt på satellitbilder när VI ska analyseras eftersom resultaten kanske inte representerar verkligheten till fullo. Att fältdata inte samlats in från varje punkt kan också kritiserars då detta bidrar till att det saknas information om punkt 2 och 3 i lövskogsområdet. Detta gör att vi inte kan uttala oss om varför studiens resultat visar vad det gör gällande dessa punkter med full säkerhet.

En nackdel med användandet av NDVI för att övervaka torka är tidsfördröjningen mellan vattenbrist för växten och dess påverkan på växtens fotosyntetiska produktivitet (Gu et al. 2007). NDVI visar dessutom icke-linjära förhållanden till biofysiska mätningar, vilket betyder att NDVI-värden når sitt maximum innan biomassan som mäts nått sitt maximum (Campbell & Wynne, 2011, s. 485). En nackdel med att använda SWIR-bandet, som är ett av banden i NDWI, i denna typ av studie är att SWIR är väldigt känsligt för skuggor i satellitbilden. Dessa skuggbildningar visas som områden med lägre reflektans. I studier som skattar skogsbiomassa är det däremot en fördel med skuggningens effekt där en stor andel mörka pixlar indikerar stora virkesförråd (Reese & Olsson, 2018). Att subjektivt välja ut representativa punkter är också en metod som kan kritiserars på grund av den stora risken för partiskhet (Jones & Vaughan, s. 255). På grund av att varje delområde innehöll vegetationstyper eller mänsklig markanvändning som inte var av intresse för studien tyckte vi, trots risken för partiskhet, att det var lämpligt att använda en subjektiv bedömning.

### ***Framtida forskning***

Vidare fjärranalysstudier bör utföras i områden som redan nu drabbas av periodvis torka och där klimatförändringar förväntas förvärra situationen, där bland annat Sverige är ett aktuellt område. Liknande studier i andra delar av Sverige hade varit intressant för att jämföra om liknande resultat som framkommit av denna studie går att se i närliggande områden. Framtida

studier bör också studera hela växtsäsongen och även använda fler mätdagar för att kunna se mer exakt när specifika fenomen inträffar. Studier om sommaren 2019 bör också utföras för att se om det finns en fördröjd effekt från torkan året innan på vegetationen. Eftersom Sentinel 2-projektet är så pass nystartat finns stora möjligheter för utveckling inom forskningsområdet. Inom ett antal år kommer möjligheten finnas att undersöka längre tidsspänn för att på så sätt kunna använda data från Sentinel-2 som en del för att bygga upp modeller över framtidsscenario.

## 7. Slutsats

Syftet med studien har varit att med satellitbaserad fjärranalys som metod undersöka på vilket sätt torkan under sommaren 2018 påverkade en skogs- och myrmosaik i Västra Götaland. Studien har, i likhet med tidigare forskning, visat att VI-värden generellt är lägre under en torr sommar jämfört med en normalsommar. Det tydligaste tecknet på torkans effekt på vegetationen har visats genom sjunkande VI-värden i juli 2018, då säsongens maximala VI-värden vanligtvis nås under normala väderförhållanden. De lägre VI-värdena under sommaren 2018 beror med stor sannolikhet på de högre lufttemperaturerna och lägre nederbörd under sommaren 2018 jämfört med 2017. Det mer normala vädret under 2017 återspeglas i VI-värdena som följer den förväntade trenden under en sommar. NDVI visar, som sagt, på vegetationens fotosyntetiserande aktivitet, medan NDWI återspeglar vegetationens fotosyntetiserande aktivitet och dess fuktnivå. De båda VI återspeglar egenskaper i vegetation som bör vara starkt påverkat av lufttemperatur och nederbörd.

NDVI och NDWI uppvisar både skillnader och likheter mellan en torr sommar och en normalsommar. Hur dessa skillnader och likheter artar sig beror på vilken vegetationstyp som behandlats. I vår studie återger lövskog och barrskog torkan tydligast genom NDVI och myren återger torkan tydligast genom NDWI. Värdena över kalhygget var svårtolkade, vilket troligast beror på hög spektral variation från snabbt växande vegetation och mänsklig påverkan. Studier beträffande VI i skog bör därför utföras i områden som utsätts för minsta möjliga direkta antropogena påverkan för att eliminera risken att skillnader mellan åren beror på mänskliga faktorer. Resultatet från denna studie visar att NDVI är en bättre indikator på torkans effekt på vegetation än NDWI. NDVI är en god indikator på torkan på fyra av fem delområden, medan NDWI endast visar tydliga trender på två av fem delområden. Detta går emot tidigare forskning som hävdade att NDWI är att föredra över NDVI som indikator på torkans effekt. Ökningen av NDVI under september 2018 är ytterligare belegg för dess förmåga att återspegla torkan. Detta sker i samband med att nederbördsmängderna återgår till normala förhållanden under augusti och september månad. Vidare studier bör fokusera på områden som beräknas att drabbas mer frekvent av torka i framtiden. Fortsatta studier bör också inkludera hela växtsäsongen för att undersöka vegetationens status under en längre tidsperiod. Studier bör även utföras över Skogaryd och Västra Tunhem för sommaren 2019 för att undersöka om den torra sommaren året innan har en fördröjd effekt på vegetationen.

## 8. Referenser

Abeli, T., Mondoni, A., Graziano, R.i, & Orsenigo, S. (2014). Effects of summer heat waves on Europe's wild flora and vegetation. *Agrochimica-Pisa* (Vol. LVIII), 128-132. DOI: 10.1400/226736

Ashman, M.-R, & Puri, G. (2009). *Essential Soil Science: A Clear and Concise Introduction to Soil Science*. Wiley-Blackwell.

Banzhaf, S., Klemedtsson, L., Sturkell, E., Nyström, E., & Barthel, R. (2015). Hydrogeological and geophysical investigations to evaluate groundwater influences on GHG emissions at the national research site Skogaryd. *Geophysical Research Abstracts* (17).

Boyd, D., & Danson, F. (2005). Satellite remote sensing of forest resources: Three decades of research development. *Progress in Physical Geography* 29(1), 1-26 DOI: 10.1191/0309133305pp432ra.

Bubier, J. L., Rock, B. N., and Crill, P. M. ( 1997), Spectral reflectance measurements of boreal wetland and forest mosses, *J. Geophys. Res.*, 102( D24), 29483–29494, doi:[10.1029/97JD02316](https://doi.org/10.1029/97JD02316).

Campbell, J.- B., & Wynne, R.- H. (2011). *Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition* (5th ed.). United States: Guilford Publications.

Choat, B., Brodribb, T.-J., Brodersen, C.-R., Duursma, R.-A., López, R., & Medlyn, B.-E. (2018). Triggers of tree mortality under drought. *Nature*, 558(7711), 531-539. doi: 10.1038/s41586-018-0240-x

Ciais, P., Reichstein, M., Viovy, N., Granier, A., Ogée, J., Allard, V., . . . Valentini, R. (2005). Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 437(7058), 529-533. doi: 10.1038/nature03972

Copernicus. (u.å). *Copernicus Open Access Hub*. Hämtad 2019-04-01 från <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

European Space Agency. (u.å, a) *Sentinel 2*. Hämtad 2019-05-04 från <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>

European Space Agency. (u.å, b). *Satellite Description*. Hämtad 2019-05-05 från <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2/satellite-description>

Feng, X., Ackerly, D.-D., Dawson, T.-E., Manzoni, S., Skelton, R.-P., Vico, G., & Thompson, S.-E. (2018). The ecohydrological context of drought and classification of plant responses. *Ecology Letters* 21(11), 1723-1736. doi: 10.1111/ele.13139

Förenta Nationernas Jordbruks- och livsmedelsorganisation. (2000). *Land Cover Classification System (LCSS)*. Hämtad 2019-04-27 från <http://www.fao.org/3/x0596e/x0596e00.htm>

Gao, B.-C. (1996). NDWI - a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. doi: [10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)

Gu, Y., Brown, J.-F., Verdin, J.-P & Wardlow, B.-J (2007). A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters*, 34(6). doi: 10.1029/2006GL029127

Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Themistocleous, K., Hadjimitsis, M. G., Retalis, A., Michaelides, S., Chrysoulakis, N., Toullos, L., and Clayton, C. R. I. (2010). Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 10, 89-95, <https://doi.org/10.5194/nhess-10-89-2010>

Harrie, L. (2013). *Geografisk informationsbehandling : Teori, metoder och tillämpningar* (6., [rev.] uppl. ed.). Lund: Studentlitteratur.

Harris, A. (2008), Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Sphagnum* mosses exposed to progressive drought. *Ecohydrology*, 1(1): 35-42. doi:[10.1002/eco.5](https://doi.org/10.1002/eco.5)

He, H., Jansson, P.-E., Svensson, M., Meyer, A., Klemedtsson, L., Kasimir, Å. (2016) Factors controlling Nitrous Oxide emission from a spruce forest ecosystem on drained organic soil, derived using the CoupModel.

*Ecological Modelling*, 321 (10), 46-63. doi: [10.1016/j.ecolmodel.2015.10.030](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.10.030)

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

Karamihalaki, M., Stagakis, S., Sykioti, O., Kyparissis, A., & Parcharidis, I. (2016, maj). Monitoring Drought Effects on Mediterranean conifer forests using SPOT-VEGETATION NDVI and NDWI timeseries. Artikeln presenterad på ESA Living Planet Symposium 2016 i Prag, Tjeckien.

Lillesand, T., Kiefer, R.-W., Chipman, J. (2008). *Remote Sensing and Image Interpretation*. New Jersey: John Wiley & Sons Ltd.

Länsstyrelsen Västra Götaland (u.å). *Västra Tunhem*. Hämtad 2019-05-08 från <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/besok-och-upptack/kulturmiljoer/vastra-tunhem.html>

Mahdavi, S., Salehi, B., Granger, J., Amani, M., Brisco, B., & Huang, W. (2018). Remote sensing for wetland classification: A comprehensive review. *GIScience & Remote Sensing*, 55(5), 623-658. doi:10.1080/15481603.2017.1419602

Martinsson, P.-O. (1991). *Lövskogsinventering i Vänersborgs kommun*. Rapport / Länsstyrelsen Västra Götalands län, ISSN 1100-9640. Hämtad från Digitala Vetenskapliga Arkivet: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A879896&dswid=4077>

Naturvårdsverket. (2018). *Vattenbrist - så påverkar det miljön*. Hämtad 2019-05-03 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Vatten/Vattenbrist-och-torka/>

Naturvårdsverket (2019). *Nationella marktäckesdata (NMD)*. Hämtad 2019-04-02 från <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Kartor/Nationella-Marktackedata-NMD/>

Reese, H. (2011) *Classification of Sweden's forests and alpine vegetation using optical satellite and inventory data*. (Doktorsavhandling, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, 2011:86) Umeå, Institutionen för skoglig resurshållning, Sveriges Lantbruksuniversitet.

Reese, H., Olsson, H. (2018) *Skoglig Fjärranalys [Kompendium]*. Umeå. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Sentinel Hub. (u.å, a). *Normalized Difference Vegetation Index*. Hämtad 2019-04-23 från <https://www.sentinel-hub.com/eoproducts/ndvi-normalized-difference-vegetation-index>

Sentinel Hub. (u.å, b). *EO-Browser*. Hämtad 2019-04-01 från <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/?lat=58.3396&lng=12.1474&zoom=11>

Skogsstyrelsen. (2019a). *Nytt bekämpningsområde för granbarkborre*. Hämtad 2019-05-08 från <https://www.skogsstyrelsen.se/nyhetslista/nytt-bekampningsomrade-for-granbarkborre/>

Skogsstyrelsen. (2019b). *Granbarkborre*. Hämtad 2019-05-05 från <https://www.skogsstyrelsen.se/granbarkborre>

Stpaul, M.-N., Delzon, S., & Cochard, H. (2017). Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure, *Ecology Letters*, 20(11). DOI: 10.1111/ele.12851

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (2014). *Dataserier med normalvärden för perioden 1961-1990*. Hämtad 2019-04-09 från: <https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/dataserier-med-normalvarden-1.7354>

Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut (2018). *Det hydrologiska året*. Hämtad 2019-06-10 från: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/hydrologi/det-hydrologiska-aret-1.280>

Tarvainen, L., Räntfors, M., and Wallin, G. (2015) Seasonal and within-canopy variation in shoot-scale resource-use efficiency trade-offs in a Norway spruce stand. *Plant Cell Environ*, 38: 2487– 2496. doi: [10.1111/pce.12565](https://doi.org/10.1111/pce.12565).

Töyrä, J., & Pietroniro, A. (2005). Towards Operational Monitoring of a Northern Wetland Using Geomatics-Based Techniques. *Remote Sensing of Environment*, 97(2). DOI: 10.1016/j.rse.2005.03.012

Verbyla, D. (2015). Remote sensing of interannual boreal forest NDVI in relation to climatic conditions in interior Alaska. *Environmental Research Letters*, 10(12), 125016. doi: 10.1088/1748-9326/10/12/125016

Vicente-Serrano, S.- M., Gouveia, C., Camarero, J.- J, Beguería, S., Trigo, R., López-Moreno, J.-I., . . . Sanchez-Lorenzo, A. (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(1), 52. doi: 10.1073/pnas.1207068110

Vico, G. (2018, 18 oktober). Hur klarar framtidens skogar torkan? *Sveriges Lantbruksuniversitet*, Hämtad från <https://www.slu.se/ew-nyheter/2018/10/torka-och-trad/>

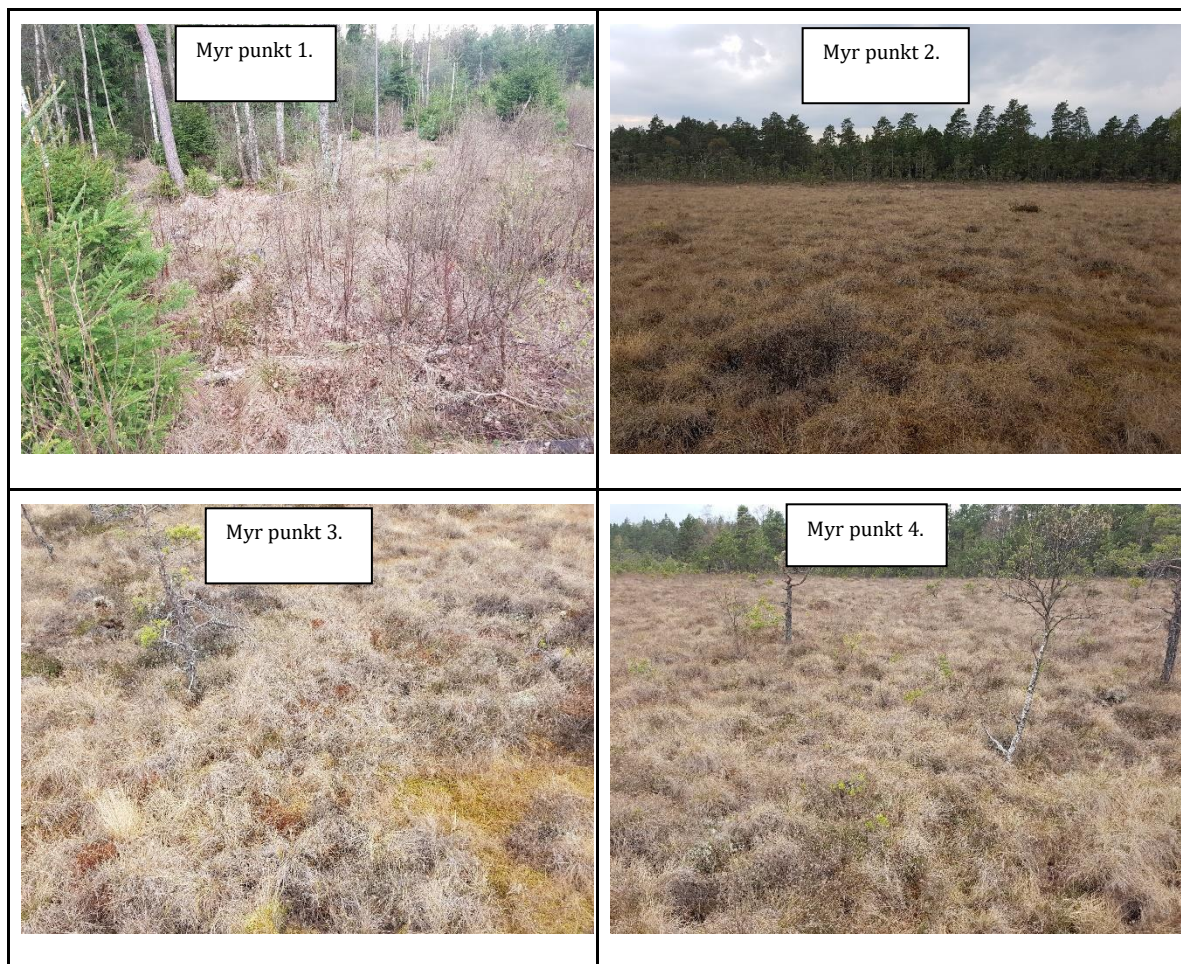
Walker, D.A.; Bhatt, U.S.; Callaghan, T.V.; Comiso, J.C.; Epstein, H.E.; Forbes, B.C.; Gill, M.; Gould, W.A.; Henry, G.H.R.; Jia, G.J.; Kokelj, S.V.; Lantz, T.C.; Oberbauer, S.F.; Pinzon, J.E.; Raynolds, M.K.; Shaver, G.R.; Tucker, C.J.; Tweedie, C.E.; Webber, P.J. 2011. Vegetation. Pages 89-95 i Richter-Menge, J.; Jeffries, M.O.; Overland, J.E., eds. *Arctic Report Card 2011*. [Available online: <http://www.arctic.noaa.gov/reportcard>]

## Bilagor

```
Python
>>> import arcpy
... from arcpy import env
... from arcpy.sa import *
... env.workspace = "D:/GIS/S2VT19/2018/NDWI/NDWI20180813"
... NIR13August2018 = Float
  ("D:/GIS/S2VT19/2018/NDWI/NDWI20180813/NIR0813.jp2")
... SWIR13August2018 = Float
  ("D:/GIS/S2VT19/2018/NDWI/NDWI20180813/swir0813.TIF")
... NDWI13August2018 = (NIR13August2018 - SWIR13August2018)/
  (NIR13August2018 + SWIR13August2018)
... NDWI13August2018.save("D:/GIS/S2VT19/2018/NDWI/NDWI20180813.tif")
```

Bilaga 1. Exempel på pythonkoden som användes i studien. Denna kod användes för att beräkna NDWI i augusti 2018.

Appendix 1. Example of the Python code used in the study. This specific code was used to calculate NDWI in August of 2018.





Lövskog punkt 1.



Barrskog på mineraljord punkt 1.



Barrskog på mineraljord punkt 2.



Barrskog på mineraljord punkt 3.



Barrskog på dränerad organisk jord punkt 1.



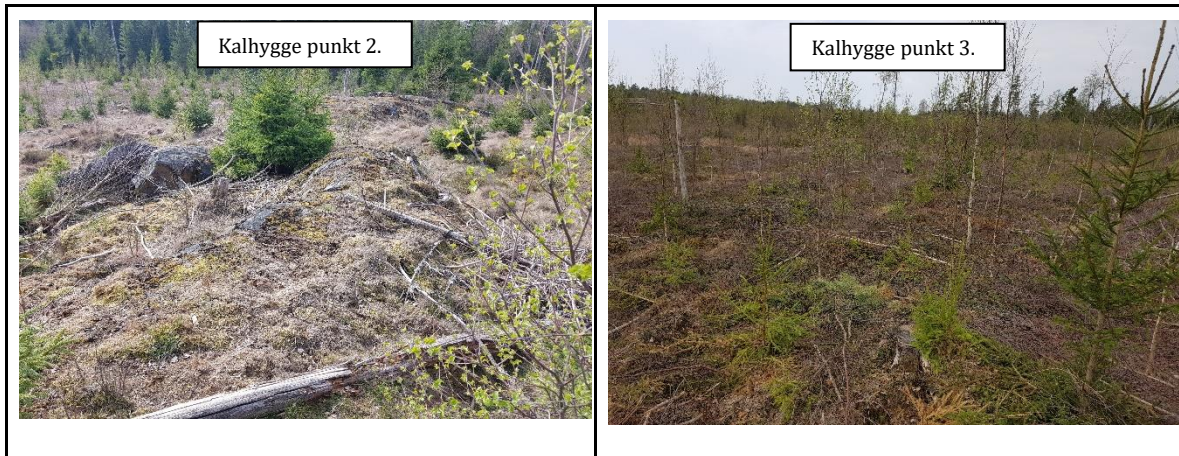
Barrskog på dränerad organisk jord punkt 2.



Barrskog på dränerad organisk jord punkt 3.



Kalhygge punkt 1.



Bilaga 2. Bilder från punkterna som legat till grund för studien.

Appendix 2. Pictures from the points that the study is based on.