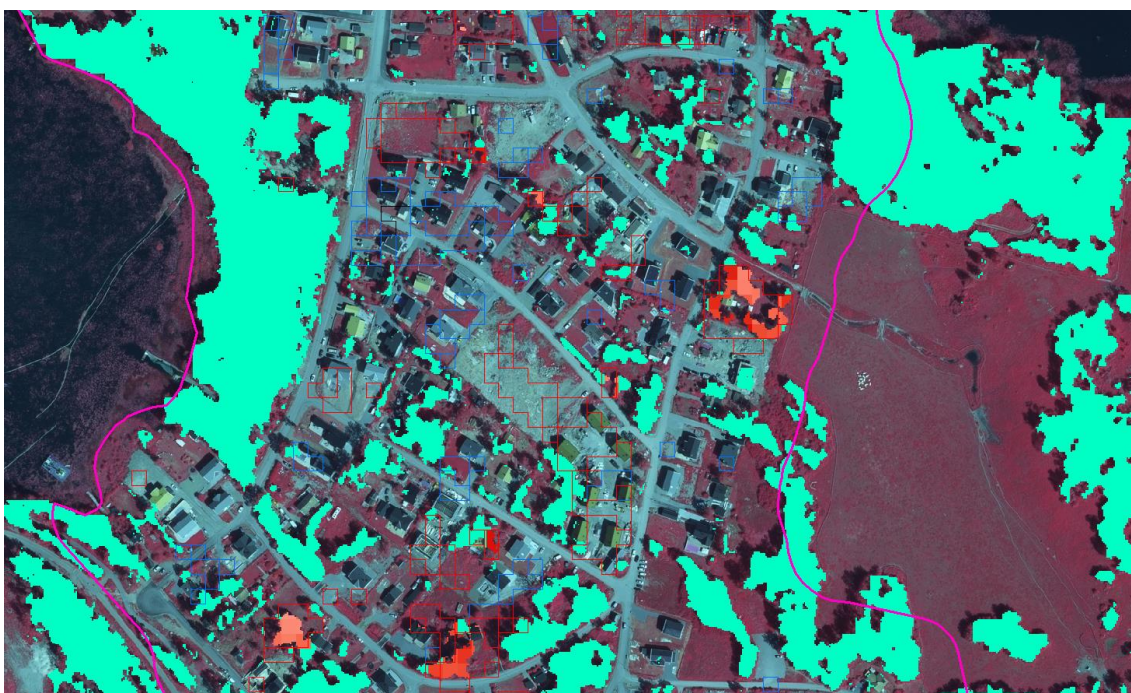


Ett urbant vegetationsindex

Metria AB på uppdrag av Boverket



Slutrapport

2021-01-15



Projekt: Pilotstudie för att testa metodik för kartläggning av trädtäckning i städer och tätorter baserat på NDVI från Sentinel-2 samt ytmodeller.

Beställare: Boverket

Projektgrupp: Carl Gilljam, Christoffer Keskitalo, Camilla Jönsson, Metria AB i Stockholm.

Datum: 2021-01-15

Bild på förstasidan: Bilden visar ett utsnitt med karterad trädtäckning (grönt) från ytmodeller från 2019 samt förändringar baserat på NDVI från 2020 (röda och blå vektorer). De röda områdena i bilden visar när en negativ förändring i NDVI som indikerar borttagen vegetation sammanfaller med trädtäckningen, vilket ger en indikation på att dessa träd kan vara nedhuggna 2020. Bakgrundsbild ©Lantmäteriet.

Innehåll

1	BAKGRUND.....	4
1.1	SYFTE OCH MÅL	4
2	STUDIEOMRÅDEN	4
3	INDATA	5
3.1	SENTINEL-2 SATELLITDATA	5
3.2	YTMODELLER I FÄRG	6
4	METODBESKRIVNING	7
4.1	PRODUKTION AV NDVI-UNDERLAG	7
4.2	JÄMFÖRELSE AV NDVI-VÄRDEN ÖVER TID.....	8
4.3	PRODUKTIONSMILJÖ FÖR NDVI.....	9
4.4	EXTRAHERING AV TRÄD FRÅN YTMODELLER	10
5	METODDISKUSSION	12
5.1	NDVI OCH SENTINEL-2.....	12
5.2	ANALYS AV VEGETATION KONTRA ICKE-VEGETATION.....	12
5.3	TRÄDHÖJD FRÅN YTMODELLER.....	13
6	RESULTAT	15
6.1	NDVI-TREND OCH FÖRÄNDRINGAR	15
6.2	NOGGRANNHET OCH OSÄKERHETSKÄLLOR.....	16
6.3	KLASSNINGAR	17
6.4	METOD- OCH RESULTATDISKUSSION	20
7	NATIONELL UPPSKALNING	21
7.1	FÖRUTSÄTTNINGAR	22
7.2	BEHOV AV KOMPLETTERANDE METODTESTER.....	22
8	ANVÄNDARFÖRANKRING.....	23
8.1	WORKSHOP	23
8.2	KOPPLINGAR TILL PILOTSTUDIE "METODFÖRSLAG 2 – STADSTRÄD"	23

1 Bakgrund

Boverket har i uppdrag att följa upp etappmålet för ekosystemtjänster i den byggda miljön inom miljömålssystemet. Etappmålet innebär att en majoritet av kommunerna senast år 2025 ska ta tillvara och integrera stadsgrönska och ekosystemtjänster i urbana miljöer vid planering, byggande och förvaltning i städer och tätorter. Boverket har även i uppdrag att samordna det nationella klimatanpassningsarbetet för den byggda miljön. I uppdraget adresseras frågor som rör planeringsunderlag för att underlätta arbetet med klimatanpassning i den byggda miljön. Träd bidrar med många olika ekosystemtjänster i den byggda miljön, bland annat har de stor betydelse för reglering av lokalklimat och dagvattenhantering. Planeringsunderlag som kvantifierar förekomst av urbana träd bedöms vara relevant i det klimatanpassningsarbete som utförs av kommuner, länsstyrelser och andra aktörer.

Statistikmyndigheten SCB och Boverket har genomfört en förstudie som resulterade i ett förslag att testa två olika metoder som skulle kunna svara mot de identifierade behoven ("Att mäta träd i städer - En förstudie kring metoder och dataunderlag för kartläggning av träd och trädäckning i urbana miljöer" (SCB, 2020)).

Den ena metoden var - **Ett urbant vegetationsindex – NDVI (Metodförslag 1)**. Metodförslag 1 är en metod som bygger på mätning av vegetationsinnehållet i den urbana miljön med hjälp av ett så kallat NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) baserat på satellitdata från Sentinel-2 (en satellit i Europas Copernicus-program). Arbetet har samkörts med pågående utvecklingsarbete som bedrivs inom projektet Agenda för landskapet. Agenda för landskapet arbetar med metodutveckling inför ajourhållningen av Nationella Marktäckedata (NMD¹).

1.1 Syfte och mål

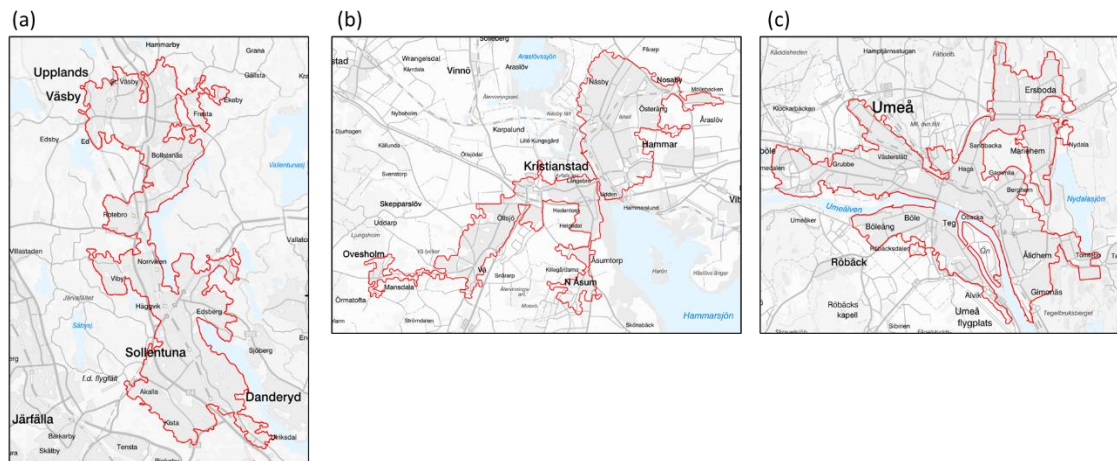
Syftet med pilotstudien är att praktiskt testa användbarheten av ett NDVI från satellitbilder för att kartlägga förändringar i vegetationstäckningen, både som lokalt planeringsunderlag och för regional- och nationell uppföljning.

I pilotstudien har även en kostnadsuppskattning för en nationell uppskalning av kartläggning gjorts.

2 Studieområden

Analysen har genomförts över tre pilotområden, se Figur 1. I område (a) - Sollentuna genomfördes NDVI analysen i kombination med höjddata från en ytmodell (baserat på information från flygbilder). Detta gör att man i detta område har möjlighet att särskilja högre grön vegetation (träd) från lägre grön vegetation. I övriga områdena, (b) Kristianstad och (c) Umeå, genomfördes enbart analys av NDVI. Anledningen till detta var att de ytmodeller som var tillgängliga för dessa områden var baserade på flygbilder från innan lövsprickning, vilket gör att man inte kan få ut tillräckligt bra information för att särskilja högre grön vegetation (träd) från lägre.

¹ <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Kartor/Nationella-Marktaeckedata-NMD/>



Figur 1. Studieområden för analyser, a) Sollentuna och Upplands Väsby, b) Kristianstad samt c) Umeå. Röd linje visar SCB:s tätortsavgränsning för respektive studieområde. Bakgrundsbild ©Lantmäteriet.

I område (b) Kristianstad genomfördes också en analys av icke-vegetationsklädda områden, baserat på NDVI. Detta gjordes då icke vegetationsklädda ytorna anses vara stabilare objekt jämfört med grön vegetation som kan skilja sig åt från år till år beroende på exempelvis mängd nederbörd, temperatur etc.

3 Indata

Indata som använts i studie listas i **Tabell 1** nedan.

Tabell 1. Data använda i studien

Namn	Typ	Upplösning/skala	Källa
Sentinel-2 satellitdata	Raster	10m	ESA/Copernicus
Ytmodell i färg - Kristianstad	LiDAR	0.5m (flygfoto 0.25m)	Lantmäteriet
Metadata till ytmodell i färg - Kristianstad	Text	n/a	Lantmäteriet
Ytmodell i färg - Sollentuna	LiDAR	0.25m (flygfoto 0.15m)	Lantmäteriet
Metadata till ytmodell i färg - Sollentuna	Text	n/a	Lantmäteriet
Digital Elevation Model (DEM)	Raster	1m	Metria/Lantmäteriet

3.1 Sentinel-2 satellitdata

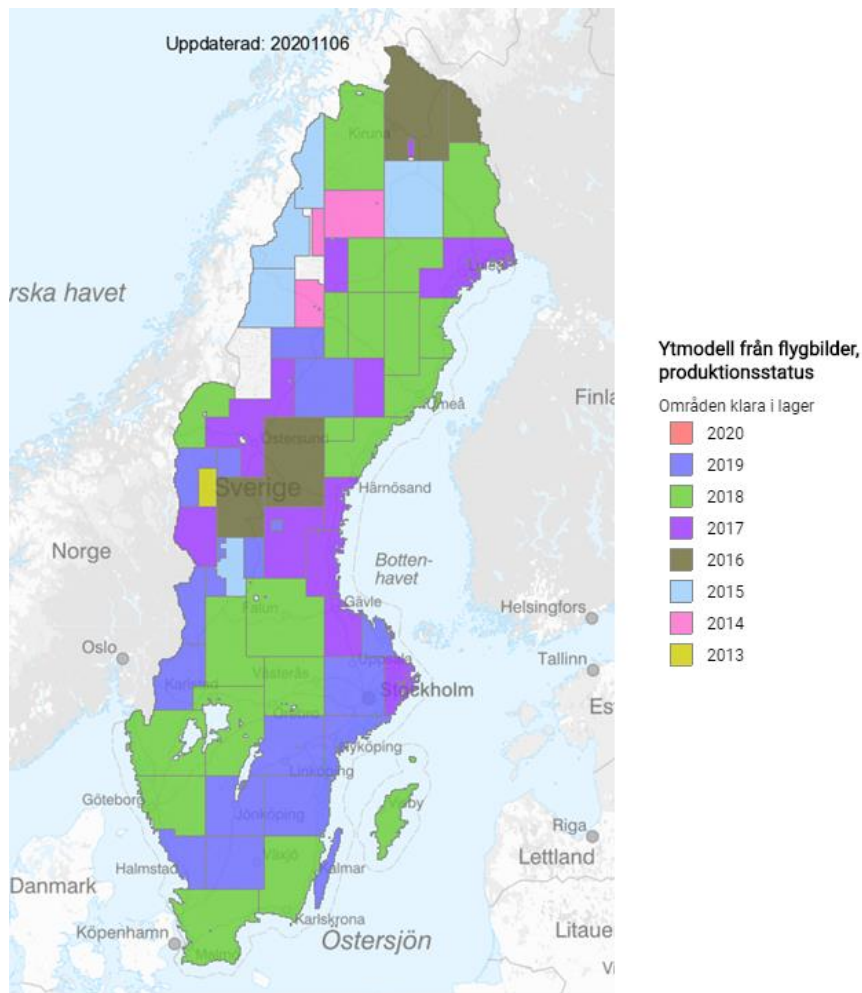
Jordobservationssatelliter ger användaren kontinuerligt uppdaterade data som kan tillämpas för olika typer av analyser. Inom detta projekt har ESA:s (European Space Agency) optiska satellitsystem Sentinel-2 med en rumslig upplösning på 10 meter använts. En optisk satellitsensor mäter reflekterat ljus från jordens yta i olika spektrala våglängder och denna information kan användas för att analysera olika fenomen. Förhållandet mellan reflekterat ljus i det röda och infraröda spektrat används för att mäta mängd levande grön vegetation, till exempel med indexet NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

I detta projekt har samtliga ackvisitioner från satelliterna Sentinel-2A och 2B mellan 15 maj och 15 september 2018-2020 inom respektive studieområde använts. Bilderna laddas ned och

bearbetas av Metria AB till analysfärdiga data kontinuerligt under året. Satellitbilder kan förbehandlas på olika sätt beroende på vilka typer av analyser som skall genomföras på materialet. För bilderna använda i denna studie är atmosfärskorrigerat det viktigaste steget och innebär att atmosfärens effekt på informationen som når satellitsensorn kompenseras.

3.2 Ytmodeller i färg

Ytmodeller eller uttryckt som *Digital Surface Models* (DSM) från Lantmäteriet innehåller höjdsatta punkter skapade från flygbildsmatchning och baseras på flygfoton med 60 procents överlapp mellan flygstråken. Ytmodellerna levereras antingen i form av ett oklassat punktmoln eller som ett färgsatt punktmoln där RGBNIR² är ingående komponenter. I denna studie användes produkten "ytmodell i färg". Uppdateringsintervallet för ytmodellerna följer det nationella bildförsörjningsprogrammet, där ungefär 1/3 av Sverige erhåller nya flygbilder och ytmodeller per år (Figur 2). Återkomstperioden per flygfotoområde är, åtminstone i flygfotoområden med en större befolkning, vartannat år med växelvis flygning innan- respektive efter lövsprickning.

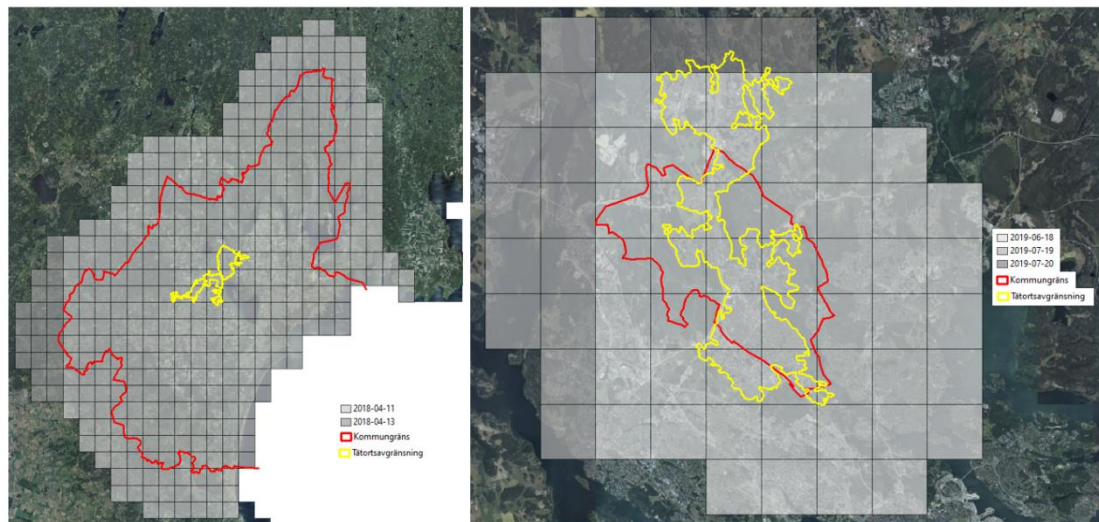


Figur 2. Senaste produktionsår för ytmodeller och flygfoton. Ytmodellerna produceras per flygfotoområde där flygning över Kristianstad skedde under 2018 och Sollentuna-Upplands Väsby 2019. ©Lantmäteriet

² RGBNIR där R=Red, G = Green, B= Blue och NIR = Near Infrared

För studieområdet Kristianstad skedde den senaste flygningen innan lövsprickning (2018-04-11 t.o.m. 2018-04-13) och för Sollentuna-Upplands Väsby skedde flygning efter lövsprickning (2019-06-18 t.o.m. 2019-07-20). Den rumsliga upplösningen skiljer sig även åt mellan dessa två studieområden, där ytmodellen för Kristianstad är i 0.5m och för Sollentuna-Upplands Väsby 0.25m.

Data ingår i geodatasamverkan och levereras per respektive indexruta om 2.5 x 2.5km. De data som användes var ytor inom de två kommunerna Kristianstad och Sollentuna, samt de ytor som låg inom en buffertzona från kommungränserna (Figur 3). Inkluderingen av data utanför kommungränserna skedde i syfte att minimera eventuella kantzonseffekter.



Figur 3. Studieområdena Kristianstad och Sollentuna-Upplands Väsby täcktes in av de senaste producerade ytmodellerna från 2018 och 2019, där ytmodellen över Kristianstad skapades utifrån flygfoton tagna innan lövsprickning, medan Sollentuna-Upplands Väsby efter lövsprickning. I höger bild visas även att Sollentuna tätort sträcker sig utanför Sollentuna kommun. ©Lantmäteriet

4 Metodbeskrivning

4.1 Produktion av NDVI-underlag

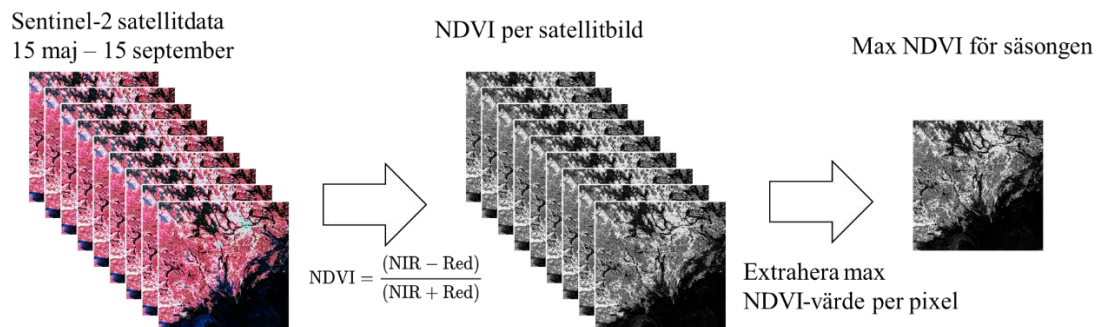
NDVI beräknas med formeln:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Där **NIR** står för information från det nära-infraröda spektrat och **Red** information från det röda spektrat. I Sentinel-2 har de band, eller rasterskikt som representerar dessa spektra en upplösning på 10m. Beräkningen resulterar i att varje pixel i analysen får ett NDVI-värde mellan -1 till 1. Ju högre värde desto mer frisk grön vegetation finns inom pixeln.

NDVI-beräkningen görs individuellt för varje satellitbild från Sentinel-2 under analysperioden (15 maj-15 september under 2018-2020). Resultaten aggregeras sedan och det maximala uppmätta värdet under tidsserien från varje pixel tas fram och ett slutgiltigt resultat bestående av en rasterbild genereras. I slutresultatet finns information om pixlar som någon gång under analysperioden innehåller vegetation eftersom övriga objekt (till exempel vägar, byggnader, vatten) får låga NDVI-värden. Om en pixel är konstant moln- eller skuggtäckt kommer felaktiga värden att genereras, men detta kompenseras för genom att använda så pass många

satellitbilder att det är statistiskt osannolikt att pixeln inte är exponerad någon gång i tidsserien.



Figur 4. Översiktlig illustration av arbetsflödet för att generera en maximum NDVI-bild för en vegetationssäsong från Sentinel-2.

4.2 Jämförelse av NDVI-värden över tid

Analyser i en urban kontext kräver hög geometrisk noggrannhet i de satellitbilder som används. I Sentinel-2 data kan individuella satellitbilder visa en felaktig geometri på 1-2 pixlar i X eller Y-led. Dessa felaktigheter korrigeras delvis i analysen genom automatisk bildmatchning, där den första bilden kronologiskt agerar som geometrisk referens för efterföljande bilder. I analysen maskas också objekt som vatten och åkermark bort eftersom dessa kan ge missvisande värden i en analys av trender i NDVI över tid.

I studien tillämpas sedan en enkel tröskling av resultaten för att påvisa vilka pixlar som uppvisar signifikant förändrade NDVI-värden mellan 2018–2019 respektive 2019–2020. En tröskling på 0.25 NDVI användes för att påvisa signifikant förändring i negativ eller positiv riktning. Vilken tröskel som bör tillämpas bör i fortsatt arbete utvärderas för att säkerställa att likvärdiga resultat uppnås i hela landet. Resultatet av trösklingen skrivs ut som en rasterfil där värdet 1 representerar negativ förändring, värdet 2 positiv förändring. Ytor med sänkt värde NDVI kan antas vara ytor som förlorar vegetation.

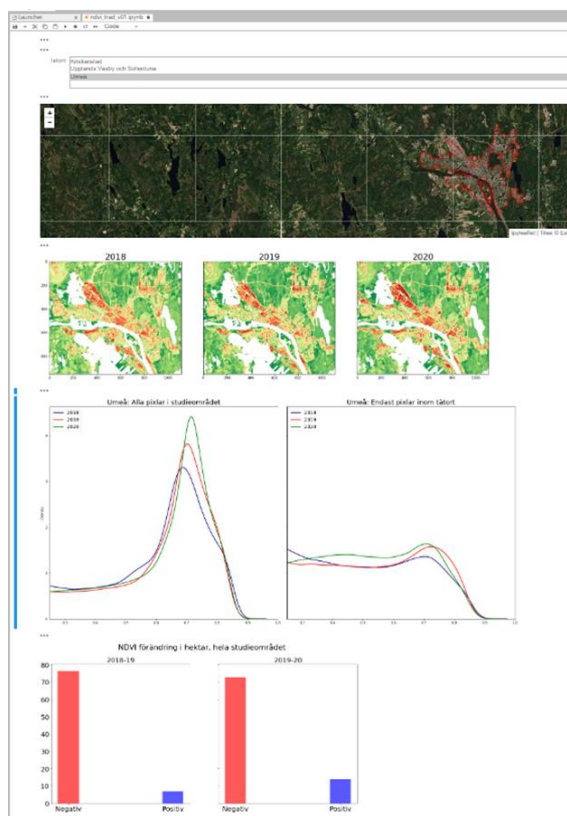


Figur 5. Exempel på visuell presentation av förändringsinformation från en NDVI-beräkning. Rosa ytor visar negativ förändring, blå positiv. Svarta ytor ligger utanför tätortsavgränsningen. Exempel taget från Kristianstad. Bakgrundsbild ©Lantmäteriet

4.3 Produktionsmiljö för NDVI

Metria har använt en så kallad **Jupyter Lab**³ miljö för att producera NDVI-underlagen i detta projekt. Miljön bygger på programkod som blir interaktiv med möjlighet att till exempel visualisera data och skapa diagram. Jupyter Lab ger användaren möjlighet att själv anpassa analyser och extrahera specifik information beroende på tillämpning. För att analysera förändringar i NDVI kan detta vara val av studieområde, trösklar för förändring och tidsperiod.

³ <https://jupyter.org/>



Operatör väljer studieområde

Karta visar studieområde

Resultat av NDVI-beräkning

Grafer visar trend i och utanför tätortsavgränsningen

Grafer visar förändringar av grönytor i hektar i olika tidsintervall

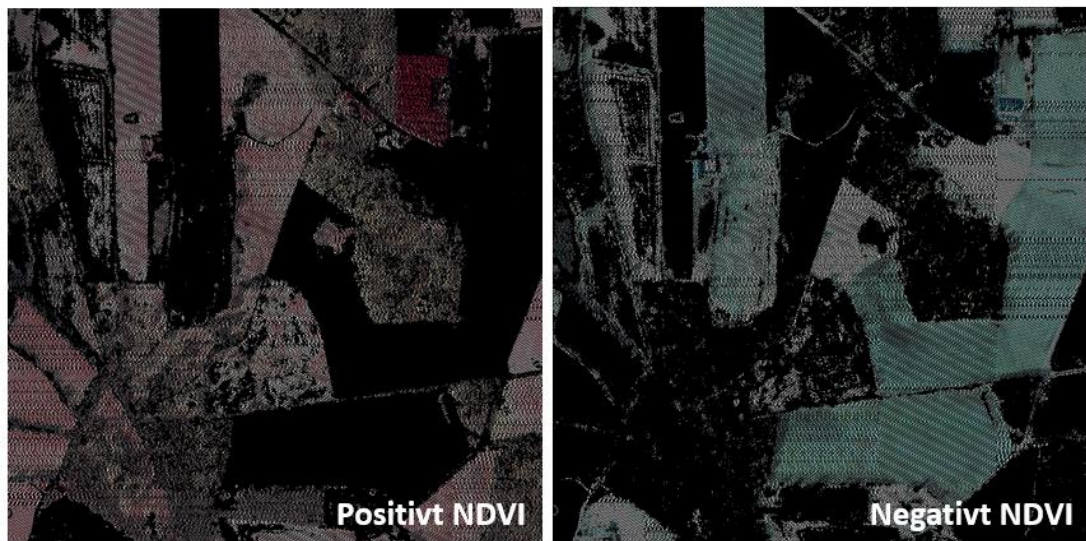
Figur 6. Exempel på Jupyter Lab-miljö som Metria använt inom projektet. Miljön kan konfigureras och anpassas för olika analyser och syften.

4.4 Extrahering av träd från ytmodeller

Ytmodeller i färg innehåller de röda, gröna, blåa och nära-infraröda våglängderna av det elektromagnetiska spektrat. Det röda (R) och nära-infraröda (NIR) komponenterna nyttjas vid beräkning av NDVI.

Ytmodellerna i färg levereras som laz-filer, vilket är den komprimerade formen av det punktmoln som producerats i och med flygbildsmatchningen. Informationen från det röda våglängdsspektrat finns i R-kanalen, medan informationen från NIR, beroende på version, behöver kopieras över till kanalen för intensitet i laz-filen.

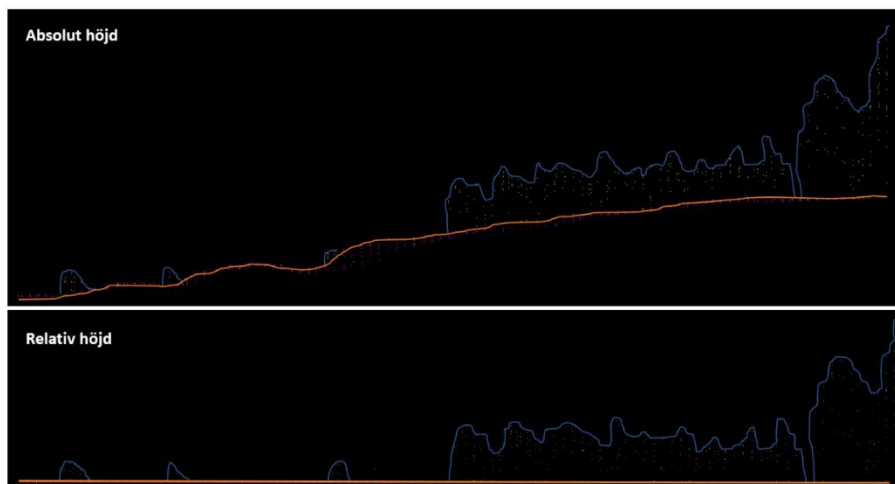
Ytmodellerna prepareras utifrån behov enligt ovan och efterföljande beräkning av NDVI och tröskelsättning sker utifrån önskad gränssättning. I denna studie sattes tröskelvärdet till att dela upp de beräknade NDVI-värdena i antingen positiva eller negativa värden på skalan -1/1. Alla höjdvärdena inom kategoriseringen av NDVI-skalan rasterades till två olika raster med rumslig upplösning om 1 meter.



Figur 7. Med den spektrala informationen i ytmodell i färg beräknades NDVI och delades upp i både positiva och negativa värden. För de höjdvärden med positivt beräknat NDVI framställdes höjdraster.

Beräkningen av NDVI och rastreningen av höjdvärdena skede i absolut höjd, d.v.s. uttryckt som meter över havet (m.ö.h.). För att erhålla ett relativt höjdvärde som motsvarar objektets höjd ovan mark, behövde marken exkluderas.

Till skillnad från de höjddata som levereras från laserskanningarna Ny Nationella Höjdmmodell (NNH), 2009-2019 och Laserdata Skog, 2018-, innehåller ytmodellernas höjdvärden ingen särskiljande klassning av markpunkter och objekt ovan mark. För att konvertera ytmodellens höjdvärden från absolut till relativ höjd användes en digital höjdmmodell, *Digital Elevation Model* (DEM) baserat på NNH producerat i den rumsliga upplösningen om 1 meter. Differensen mellan DSM och DEM resulterade i en normaliserad ytmodell (nDSM) som i en kontinuerlig skala visade på objektens höjd ovan mark. I detta fall vegetation ovan mark (Figur 8).



Figur 8. Ytmodellerna levereras i absolut höjd (m.ö.h.). Ytmodeller innehåller ingen särskiljande klassificering mellan objekt ovan mark och mark. För att få fram trädens höjd ovan mark konverterades värdena från absolut till relativ höjd genom att subtrahera en höjdmmodell från den tidigare rastrede ytmodellen.

För de höjdsatta positiva NDVI-värdena applicerades därefter tröskelvärde 5m för lägsta höjdvärde och 45m för högsta tillåtna höjdvärde. Det lägsta tillåtna höjdvärdet motsvarade den lägsta höjd av träd/skog i FAO:s definition av skog. Det högsta tillåtna höjdvärdet sattes för

att exkludera eventuellt brus som kan förekomma i indata. Även ett klassat nDSM framställdes i intervallen 0-3,3-5,5-10,10-20, 20-30, 30-45m.

5 Metoddiskussion

5.1 NDVI och Sentinel-2

NDVI är ett stabilt index som kan beräknas från en rad olika sensorer, vilket gör det idealiskt för kontinuerlig uppföljning av gränsen mellan vegetationsklädda och icke-vegetationsklädda pixlar. Indexet kan dock inte ensamt användas för att analysera om en given yta är träd täckt, vilket gör kombinationen med ytmodeller aktuell.

Analysen i projektet är känslig för felaktig geometri i ingående satellitbilder från Sentinel-2, något som kompenseras för delvis genom bildmatchning. Kvarvarande fel trots korrigeringar kan leda till felaktigt identifierade förändringar, till exempel längs vägar.



Figur 9. Exempel på felaktigt karterade förändringar i vegetationstäck med NDVI till följd av geometriska fel i satellitdata. Röd färg indikerar vegetationsförlust 2019-2020, blå färg vegetationstillkomst 2019-2020. Exempel taget från studieområde Kristianstad. Bakgrundsbild ©Lantmäteriet.

Med en generalisering av små samt smala objekt kan dessa fel kompenseras för i slutresultatet, men detta innebär att den effektivt minsta karteringsenheten i analysen blir större.

5.2 Analys av vegetation kontra icke-vegetation

I en NDVI-analys uppvisar vegetationsklädda pixlar en högre variation än till exempel pixlar som innehåller asfalt eller byggnader. Detta beror på att vegetationsutvecklingen beror på temperatur och nederbörd vilka båda varierar mellan olika år. Ett uppmätt NDVI-värde i en känd vegetationspixel kan därför också variera signifikant mellan olika mätintervall, vilket inte sker i en icke-vegetationsklädd pixel.

För att analysera trender över tid i vegetationstäck kan alltså en metod baserad på att hitta icke-vegetationsklädda pixlar med hjälp av NDVI vara mer konsekvent och möjlig att automatisera.

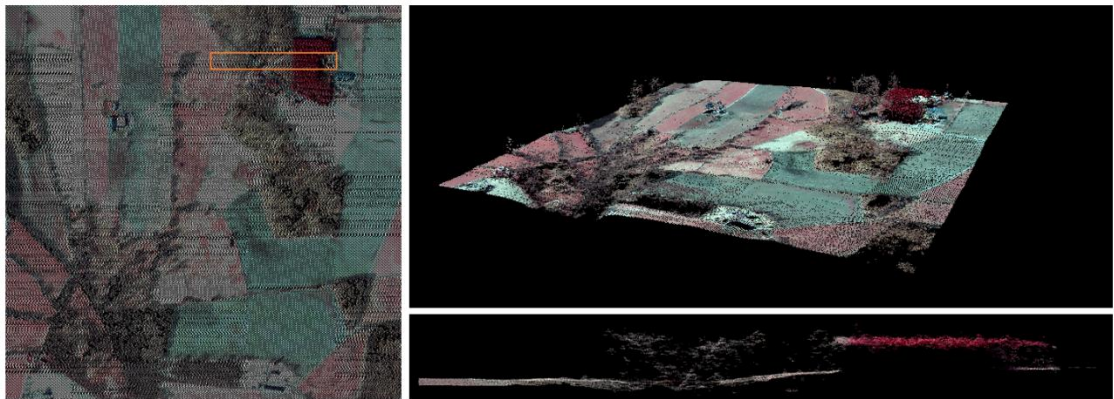
5.3 Trädhöjd från ytmodeller

Vid vilket gränsvärde sätts skillnad mellan vegetation & icke-vegetation (direkt avgörande av vad som anses vara vegetation och icke-vegetationssatta höjdpunkter)

Gränsen som är satt till nollvärde som delar NDVI i positiva och negativa värden för vad som anses vara vegetation och icke-vegetation är justerbar, men definierad utifrån vetenskapen att negativa värden med stor sannolikhet består av icke-vegetation, medan positiva värden främst utgör vegetation. Gränsvärdet är inte statiskt då både geografisk position och både års- och säsongsvisa variationer kan förekomma. Vegetation kan dock inte erhålla ett negativt värde, däremot kan icke-vegetation ha ett positivt värde.

Användbarheten av ytmodeller beroende på när flygbilder tagits

Avgörande för användbarheten av ytmodeller i färg är att tillfället för flygning skett efter lövsprickning. Om flygfotot är taget innan lövsprickning resulterar flygbildsmatchningen i för få höjdvärden, samt att ett lägre NDVI-värde erhålls då andelen grönskande vegetation är lägre eller helt saknas.



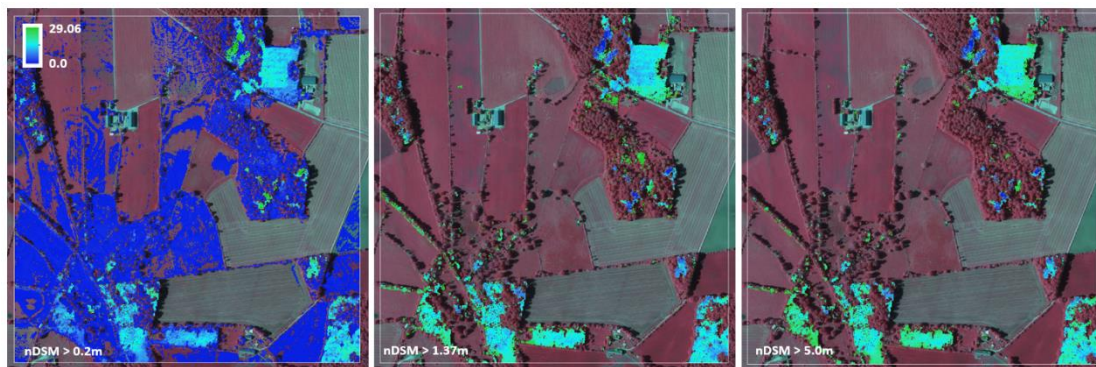
Figur 10. Ytmodell i färg som visar frisk vegetation i nyanser av rött. Inom tvärsnitt finns höjdvärden med frisk vegetation, medan delar av lövskogsparti inte påvisar vare sig vegetation eller höjdvärden.

Där tidigare flygfoton från 2016 påvisade grön frisk vegetation, har flygfoton från 2018 inte lyckats registrera samma vegetation på grund av att lövsprickning inte skett. Ett glest eller obefintligt bladverk medför att flygbildsmatchningen istället uppfattar området som en del av marken och några trädhöjder kan därför inte framställas.

Konvertering från absolut till relativ höjd utan någon klassning av markpunkter

Det finns inbyggda algoritmer för att separera mark från objekt ovan mark, men det är svårigheter i att trimma in algoritmerna till att inte under- eller överskatta de olika klasserna.

Att konverteringen från absolut till relativ höjd är beroende av ytterligare data i form av en DEM kan medföra vissa felaktigheter i konverteringen. Differensen i höjdvärden mellan DEM och ytmodellen kan vara åt vardera håll. Dels kan skillnaden vara så att ytmodellens höjdvärden är högre än DEM, och då resultera i trädhöjder något högre än faktiskt värde. Å andra sidan kan ytmodellens höjdvärden vara lägre än DEM, och då resultera i något lägre trädhöjder än faktiskt värde. Dessutom kan den falska differensen ge upphov till att absoluta höjdvärden för mark i ytmodellen blir relativa höjdvärden efter konvertering. Även där DEM har högre höjdvärden än ytmodellen kan absoluta höjdvärden blir relativa höjdvärden. Dessa falska höjdvärden ovan mark, ser dock ut att försvinna vid en ökning av lägsta gränsvärde (Figur 11).

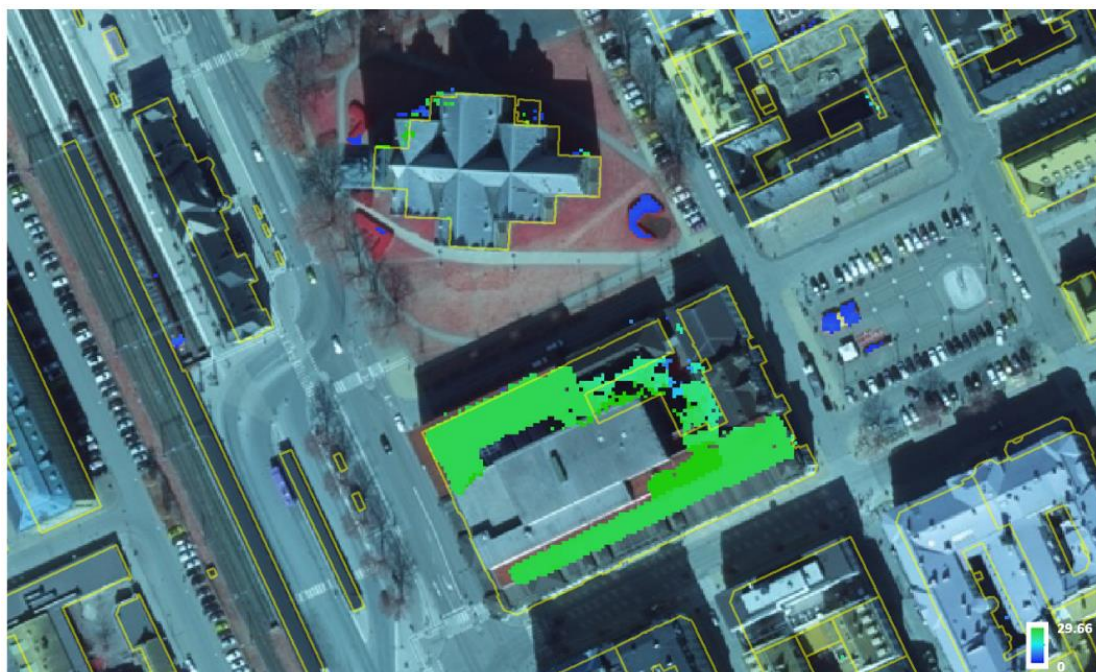


Figur 11. På grund av att ytmodellen producerats utifrån flygfoton tagna innan lövsprickning fångas partier av lövskog inte upp. Vid ett lågt tröskelvärde (0.2m) för vad som anses vara vegetation ovan mark finns en viss täckning, men vid både brösthöjd (1.37m) och 5m identifieras enbart träd och skogspartier upp som innehåller frisk vegetation och står tätt. ©Lantmäteriet

Ytterligare metoder för att särskilja mark från höjder ovan mark finns att tillgå. Dels finns det möjlighet att med enbart befintligt punktmoln från ytmodell särskilja mark som en egen klasskod. För de algoritmer som kan nyttjas krävs dock lokala justeringar utifrån täthet av antingen vegetation eller bebyggelse. Nyttjande av programspecifika algoritmer kan i och med eventuell felklassificering av mark kontra objekt ovan mark, ge upphov till samma felkällor som i denna studie använd metod.

Andra felkällor (sedumtak fångas upp då det är ett höjdvärde med ett positivt NDVI-värde).

I och med att metoden söker ut objekt ovan mark med ett positivt NDVI-värde inkluderas även sedumtak som en del av resultatet. Denna typ av vegeterade höjdoobjekt kan dock exkluderas från resultatet med stöd av kända byggnadsytor (Figur 12).

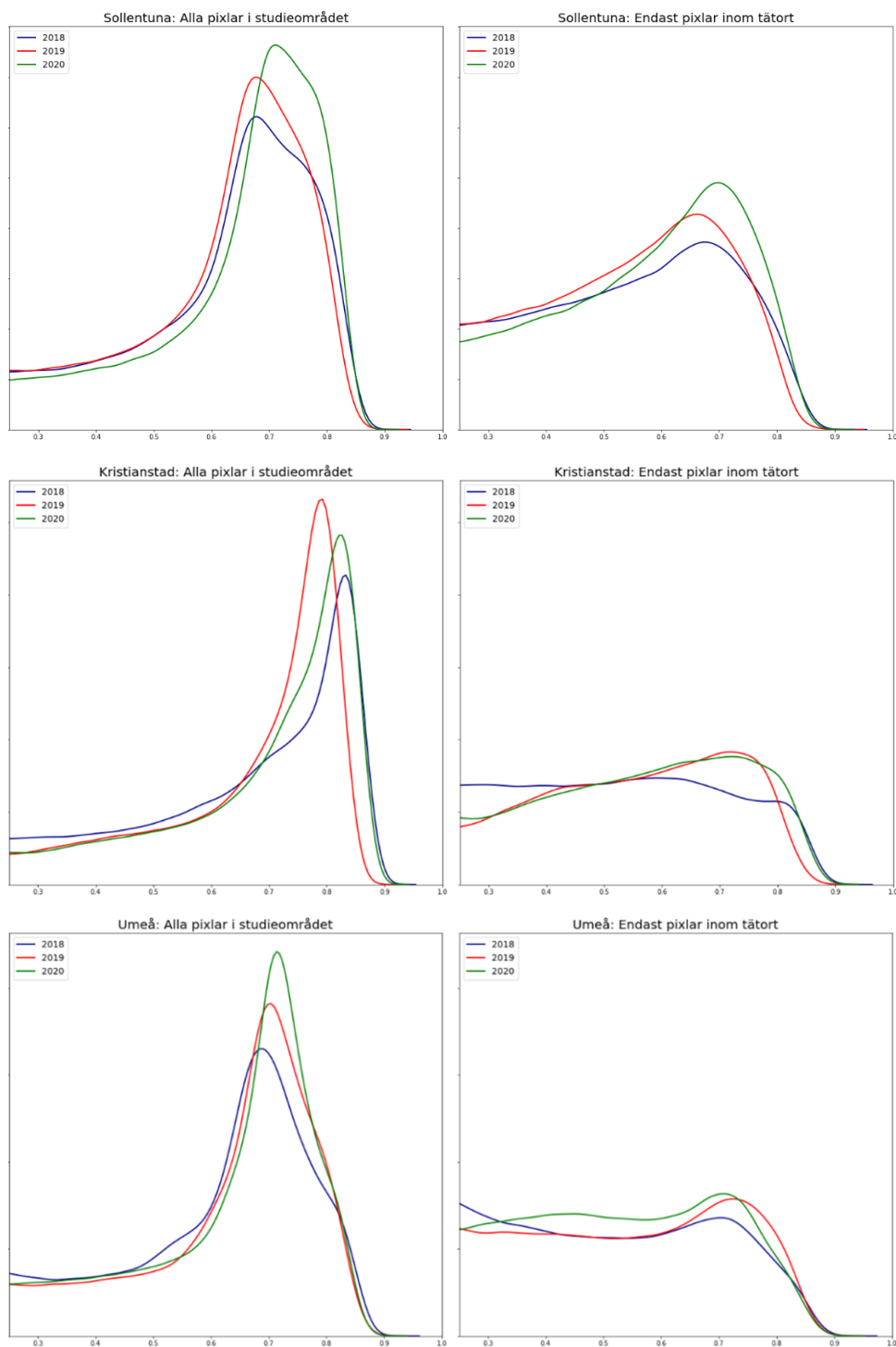


Figur 12. Metoden söker utifrån ytmodeller ut objekt ovan mark som har ett positivt NDVI-värde. Hus och byggnader med sedumtak faller inom denna kategori och fångas upp. Dessa ytor exkluderas med hjälp av exempelvis byggnadsytor från Lantmäteriets fastighetskarta. ©Lantmäteriet

6 Resultat

6.1 NDVI-trend och förändringar

Grafer som visar trenden i NDVI inom respektive studieområde mellan 2018-2020 sammanställdes för att illustrera stabiliteten i en NDVI-analys.



Figur 13. NDVI-trend inom respektive studieområden. X-axlarna visar NDVI-värden, Y-axlarna relativ förekomst.

I samtliga studieområden har år 2018 relativt sett lägre NDVI-värden än övriga år, vilket kan vara en konsekvens av ett ovanligt torrt och varmt år.

6.2 Noggrannhet och osäkerhetskällor

Noggrannhetsutvärderingen skedde genom okulär granskning av de förändringsytor som differensen mellan de olika årsvisa beräkningarna av maximalt NDVI resulterade i. Initialt genomfördes utvärderingen på 100 stycken slumpvisa förändringsytor oavsett area eller riktning av förändring, dvs. även enstaka pixlar som uppstår på grund av förskjutningar i data som visats i Figur 9 ingår i utvärderingen.

Granskningen gjordes enbart på förändringsytor. En yta som anges som förändrad kunde dock under granskning bedömas som oförändrad, därav att förväxlingsmatrisen (Tabell 2) innehåller fält för att beskriva oförändrat utseende mellan år.

Tabell 2. Förväxlingsmatrisen visar på eventuella skillnader mellan förändringsanalys mellan max NDVI beräkningar och okulär granskning om faktisk förändring skett. Där rad och kolumn för negativ förändring av NDVI möter varandra ansågs den negativa NDVI förändringen överensstämma med verkligheten. För de positiva NDVI förändringarna överensstämde okulärt 4st av 83st ytor. Medan 10st av 17st ytor överensstämde för de negativa förändringarna.

Klass	Okulär granskning			
	0 (ingen förändring)	- (negativ förändring av NDVI)	+ (positiv förändring av NDVI)	
-	7	10	0	17
+	78	1	4	83
total	85	11	4	100

Minsta karteringsenhet vid utvärdering av förändring

Vid den initiala utvärderingen noterades att förändringsytor bestående av enskilda eller få sammanhängande pixlar oftare indikerade på förändring som ej skett. Både falska positiva och falska negativa förekom, även om falska positiva förändringsytor var i majoritet. Ytterligare okulär granskning med framställning av förväxlingsmatris genomfördes där en minsta karteringsenhet om 10st sammanhängande pixlar (1000m²) upprättats. I utvärderingen slumpades 50st ytor av vardera förändring (negativ eller positiv) fram (Tabell 3).

Tabell 3. Förväxlingsmatrisen visar på eventuella skillnader mellan förändringsanalys mellan max NDVI beräkningar och okulär granskning om förändring skett. Minsta karteringsenhet för denna utvärdering var 1 000m². Där rad och kolumn för negativ förändring av NDVI möter varandra ansågs den negativa NDVI förändringen överensstämma med verkligheten. Detsamma gäller i motsatt riktning för positiva förändringar. Vid en minsta enhet om 1 000m², överensstämde 27st av 50 ytor positiva förändringsytor, medan 46st av 50st ytor överensstämde för förändringar i negativ riktning.

Okulär granskning				
Klass	0 (ingen förändring)	- (negativ förändring av NDVI)	+ (positiv förändring av NDVI)	
-	4	46	0	50
+	23	0	27	50
total	27	46	27	100

Förskjutning av Sentinel-2

Uppkomsten till de falska positiva och negativa förändringsytorna har primärt två orsaker. En problematik av geometrisk förskjutning mellan olika år av Sentinel-2 ackvisitioner. Även om motverkande åtgärder genomförts för att minimera denna problematik, kvarstår delvis denna effekt.

Årsvisa variationer av andel frisk vegetation

Ytterligare en orsak till falska förändringsytor är de naturligt förekommande årsvisa variationer av andel frisk vegetation som i sin tur påverkar utfallet av maximalt NDVI. I detta fall är åtgärd justering av det tröskelvärde som appliceras för minsta giltig differens mellan årsvisa maximala NDVI-beräkningar.

6.3 Klassningar

Där både höjdvärden och ett positivt NDVI fanns att tillgå resulterade i extraheringen av vegeterade höjdojekt i träd och buskar. Både i större sammanhängande ytor och som enskilda träd och buskar (Figur 14). Den inverterade metoden ger även icke-vegetationsklädda objekt ovan mark, d.v.s. hus och andra byggnader.



Figur 14. Från ytmodellerna i färg framställdes raster visande vegetation ovan mark. Resultatet ovan är klassat i olika intervall av höjdvärden där 3-5m är den lägsta klassen och 30-45m den högsta. Detta resultat framställdes utifrån en ytmodell framställd från flygfoton tagna efter lövsprickning.

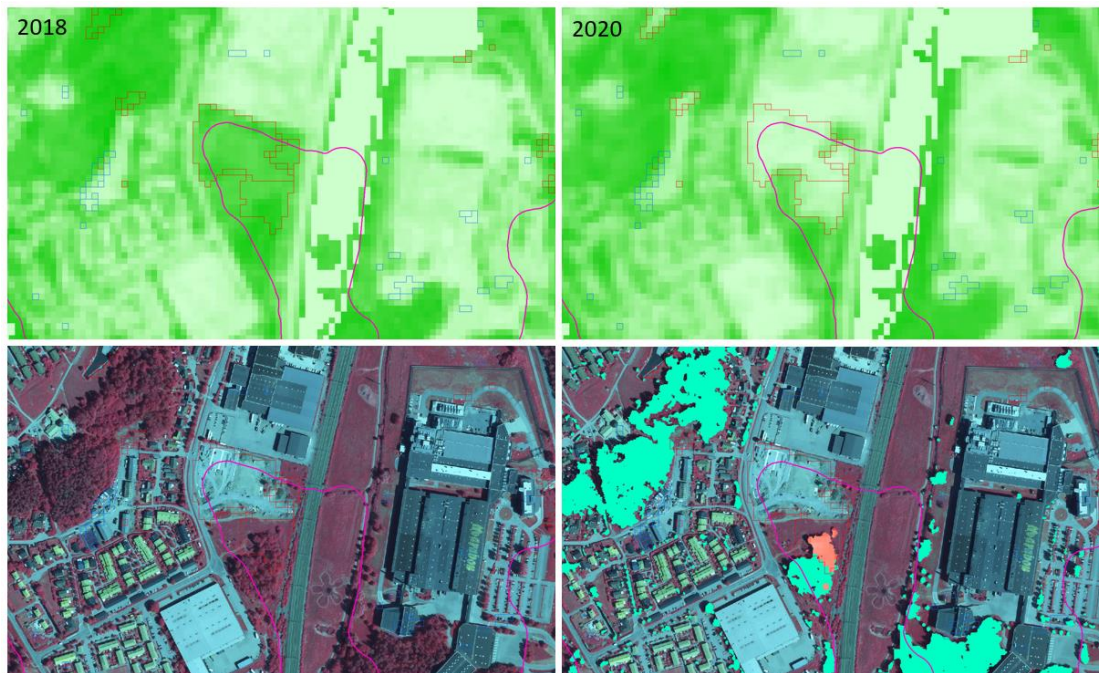
Där höjdvärden och ett positivt NDVI inte fanns i samma utsträckning, fångas enbart partier av barrskog och tätare partier av lövträd upp. Enskilda träd eller mindre partier lövträd fångas upp i viss mån, men i det stora hela finns det för lite av nödvändiga höjdvärden och positivt NDVI för att dessa ska klassificeras som träd (Figur 15).



Figur 15. Från ytmodellerna i färg framställdes raster visande vegetation ovan mark. Resultatet ovan är klassat i olika intervall av höjdvärden där 3-5m är den lägsta klassen och 30-45m den högsta. Detta resultat framställdes utifrån en ytmodell framställd från flygfoton tagna innan lövsprickning, vilket resulterade i att alla träd inte kom med.

Från de olika årsvisa beräkningarna av maximala NDVI-värden följdes förändringar från 2018, 2019 och 2020 upp, där både positiva och negativa förändringar av NDVI noterades. Med

skiktet för trädbevuxen vegetation framställt från ytmodeller i färg kunde även orsak till förändring påvisas i form av exempelvis trädfällning (Figur 16).



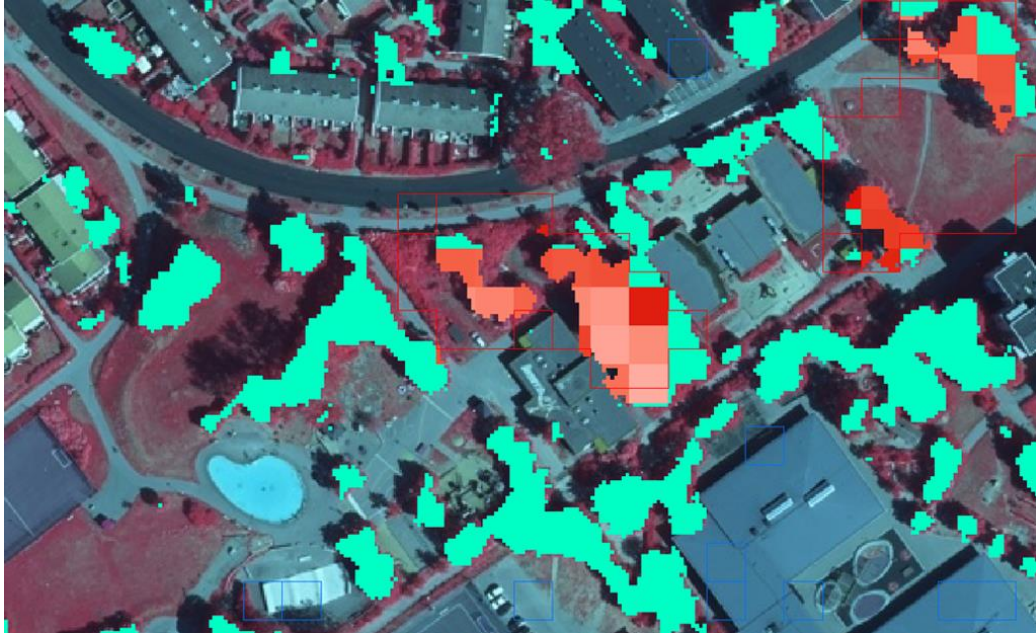
Figur 16. Förändring av maximala NDVI värden mellan 2018 och 2020, där orsak till förändring är exploatering och trädfällning synligt i nedre höger bild.

Mindre förändringsytor verkade ha större benägenhet att identifieras felaktigt som både positiva och negativa förändringar av NDVI. Större förändringsytor identifierades oftare mer korrekt, därav att en större minsta karteringsenhet lämpar sig för att hitta förändring (Figur 17).



Figur 17. Justering av minsta karteringsenhet för att identifiera både positiva och negativa förändringar av NDVI. Mellan 2019 och 2020 sker både en förändring i positiv och negativ riktning inom ytorna. Vegetation tillkom inom blå ytor och vegetation försvann inom röda ytor.

De olika rumsliga upplösningarna mellan NDVI beräknat från Sentinel-2 (10 meter) och rastreringen av trädbevuxen vegetation från ytmodell (1 meter) visas i Figur 18. Differensen mellan NDVI-förändringen och trädskiktet resulterade i ytor som har den lägre av upplösningarna (10 meter), även om detaljrikedomen i ytterkanterna av skogspartier finns kvar.



Figur 18. Differensen mellan förändringar av max NDVI och trädskikt från ytmodeller resulterade i ytor som påvisar eventuell borttagning av träd. I bilden syns i rött de träd som försvunnit och givit upphov till ett förändrat NDVI mellan år. Även skillnad i den rumsliga upplösningen mellan de olika produkterna syns där rastrering från ytmodellen skett i 1m och NDVI från Sentinel-2 i 10m.

6.4 Metod- och resultatdiskussion

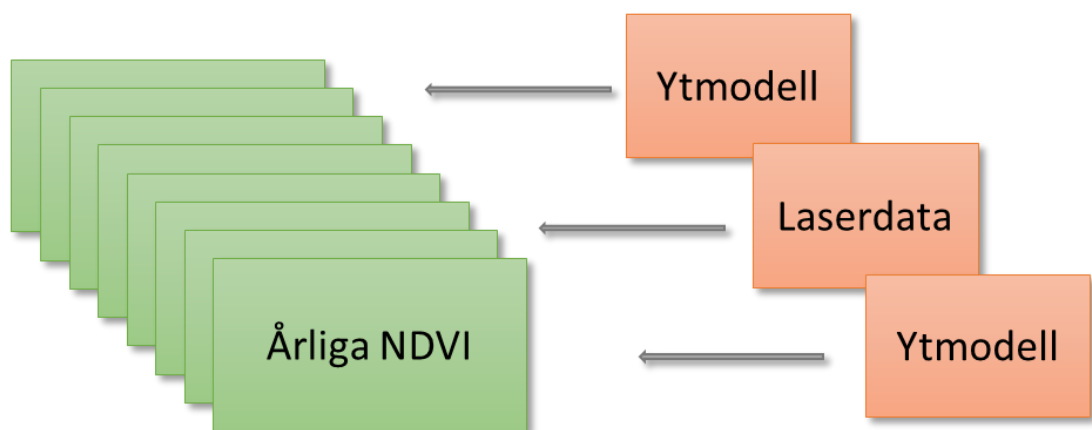
- Metoden ger goda möjligheter till homogent framtagna nationella täckningar.
- Fördelarna med det föreslagna konceptet är att nationell täckning kombineras med mer högupplösande data (ytmodeller alternativt laserdata) som även ger information om trädäckning med X års intervall.
- Förändring av trädäckning över tid kan erhållas
- Enbart en ytmodell från ett årtal har använts i studien, hur differensen mellan två ytmodeller från olika år ser ut är okänt och behöver undersökas vidare.
- En komplett uppdatering av trädskikt kan erhållas när nya ytmodeller blir tillgängliga, såvida att de skapats av flygfoton som tagits efter lövsprickning. I teorin vart fjärde år för olika delar av landet, eventuellt vartannat år om flygning skett efter lövsprickning två flygningar i rad.
- För att effektivt kartera grönytor med NDVI och satellitdata är det en fördel att fokusera på att identifiera icke-vegetationsklädda pixlar, detta eftersom dessa pixlar är mindre känsliga för tillfälliga ändringar i väder och säsongsvariationer.
- Utvärderingen kom fram till att möjligheten till att upptäcka förändringar var större för negativa förändringar av NDVI, än förändring av NDVI i positiva värden.

7 Nationell uppskalning

För att kunna tillgodose behoven av att kunna följa förändringar av vegetationstäckning såväl som trädtäckning behövs en kombination av NDVI och höjdinformation från laserdata alternativt ytmodeller.

Det föreslagna produktionsflödet bygger på att man med regelbundna intervall genererar NDVI kompositer på årsbasis men eventuellt också kompositer som bygger på satellitdata över flera vegetationssäsonger. Intervall för bilderna baseras på användarnas behov.

1. Årliga NDVI kompositer ger statistik och karteringar av vegetationsklädda ytor. Detta ger oss möjlighet att följa trender på årsbasis, samt också på 3-5 års basis för att undvika förändringar som beror på tillfälliga avvikelser vid exempelvis extrem torka enstaka år.
2. Baserat på tillgång på höjddata från laserdata och/eller ytmodeller, kan grönytor med trädtäckning särskiljas från grönytor utan trädtäckning (och naturligtvis också icke vegetationstäckta ytor) med X års mellanrum för att följa trädtäckningens förändring inom tätorter.
 - a. Bortrensning av befintlig trädtäckning kan göras årligen baserat på NDVI av ytor som exploaterats (enbart förändring i en riktning, borttagna träd).
 - b. Kartering av nyttillkomna träd som ger en justerad/uppdaterad baskartering kan enbart göras vid de tillfällen när höjddata av tillräckligt bra kvalitet erhålls (efter lövsprickning). Detta beräknas kunna göras vart 3-4 år om man kombinerar tillgången på ytmodeller med information från laserdata.



Figur 19. Översiktlig skiss för ett framtida produktionskoncept. Årliga NDVI kompositer kombineras med höjdinformation för att utöver en kartering av grönytor även kunna ge information över trädtäckning med X års intervall.

Tabell 4. Tabell med uppskattade kostnader för en nationell uppskalning av de föreslagna metoderna.

Arbetsmoment	Uppskattad årlig kostnad		Kommentar kring skattning
	min	max	
Produktion av NDVI-underlag	100	250	Nationellt heltäckande underlag kan produceras. Urval av tätorter ger en effektivisering av produktionstid.
Produktion av Ytmodeller	100	250	Stora datamängder, varför rekommendation att analysen enbart körs inom tätorter. Årlig kostnad för att producera de bilder som finns tillgängliga från det året. Kan kompletteras/ersättas med laserdata när detta är lämpligt.
Kvalitetssäkring	100	?	Stickprovskontroller och analys av förändringar

7.1 Förutsättningar

Förutsättningarna för att de uppskattade kostnaderna i **Tabell 4** skall vara realistiska är:

- Att förvaltningen och ajourhållningen av NMD realiseras och att implementeringen/val av produktionsmiljö möjliggör produktionen av de NDVI-underlag som beskrivs i denna rapport.
- Att tillgången på satellitdata från Sentinel -2 alternativt likvärda data finns tillgängligt kostnadsfritt.
- För att kunna särskilja trädtäckning från övriga vegetationsklädda ytor krävs tillgång på ytmodeller alternativt laserdata från efter lövsprickning.
- Då trädtäckning enbart kan erhållas med ett oregelbundet intervall så kommer man att få man olika tidstämplar för analysen på nationell nivå (dvs ett skiftande omdrev).

7.2 Behov av kompletterande metodtester

Ett identifierat behov/önskemål är att NDVI kompositer över flera år produceras för att undvika en stor påverkan från enstaka år som kan vara extrema och ge utslag i trendanalyser. Detta har inte testats i pågående projekt.

8 Användarförankring

8.1 Workshop

Projektets resultat demonstrerades på en workshop den 3 december 2020.

Kommentarer från workshopen enligt nedan:

- Ett uppdateringsintervall minst vart 4e år är tillräckligt bra för uppföljning. Årsvisa jämförelser kanske inte behövs för just uppföljning med underlagen kan vara nyttiga för andra ändamål.
- Behov av uppdateringsintervall skiljer sig åt beroende på vart du är i landet. I vissa områden med en hög exploateringsgrad finns det ett behov av årliga uppdateringar.
- Det är en skillnad mellan årlig dataförsörjning och årlig uppföljningar. Även ifall man inte gör uppföljningen på årsbasis så finns det ett behov att få tillgång till årliga NDVI kompositer. Viktigt att veta att årliga kompositer/bilder kan visa på brus (exempelvis pga. extrem torka) så det kan vara värt att kombinera ihop flera år för att användas för uppföljning.
- Viktigt med heltäckande/nationella resultat.
- Intressant att kunna använda materialet för olika ändamål, exempelvis för detaljplaner, översiktsplaner och även inom förvaltning.
- Att få tillgång till verktyg för att själv kunna välja exempelvis tidsintervall för analyserna är önskvärt.
- Upplösningen på 10x10 meter kan funka nationellt, men är mer kritiskt på lokal nivå.
- Intressant att kunna tala om vart det inte finns träd längre alternativt kunna utesluta att det finns träd för det arbete som bedrivs inom "Metodförslag 2 – Stadsträd".

8.2 Kopplingar till pilotstudie "Metodförslag 2 – Stadsträd"

Föreslagen metod ger ingen kvalitativa värden på de träd som karteras som borttagna. För detta behöver man samverka med den information som tas fram inom Metodförslag 2 – Stadsträd.

Föreslagen metod kan eventuellt användas för att underlätta vid uppdateringen av träddata i stadstrad.se. Detta är dock inte genomlyst i denna studie utan behöver undersökas närmare. Vikten av att på ett flexibelt sätt kunna välja tidsintervall har lyfts fram som viktigt från detta delprojekt och bör beaktas vid en eventuell framtida implementering.