



Markanvändningens påverkan på kolinlagring

En undersökning av Helsingborgs kommuns
markanvändning med fokus på gröna ytor
mellan åren 2000–2017

SIMONE TIJBURG 2022
MVEN30 EXAMENSARBETE FÖR MASTEREXAMEN 30 HP
MILJÖVETENSKAP | LUNDS UNIVERSITET



Not. Trädkronor mot blå himmel. Copyright Simone Tijburg 2022. Använd med tillstånd.



WWW.CEC.LU.SE
WWW.LU.SE

Lunds universitet

Miljövetenskaplig utbildning
Centrum för miljö- och
klimatforskning
Ekologihuset
223 62 Lund

Markanvändningens påverkan på kolinlagring

En undersökning av Helsingborgs kommun med fokus
på gröna ytor mellan åren 2000 och 2017

Simone Tijburg

2022



LUNDS
UNIVERSITET

Simone Tijburg
MVEM30 Examensarbete för masterexamen 30 hp miljövetenskap- fördjupning
tillämpad klimatstrategi, Lunds universitet
Intern handledare: Peter Olsson, Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds
universitet
Extern handledare: Fredrik Bengtsson, Helsingborgs stad

CEC - Centrum för miljö- och klimatvetenskap
Lunds universitet
Lund 2022

Abstract

The ongoing climate change, caused by anthropogenic emissions, are making humans adapt to a new status quo, but focus should also be on mitigating climate change. One possible solution for this is to use the nature's ability to sequester carbon from the atmosphere. To do this, it is necessary to gain knowledge about the current situation regarding land cover and the capacity to store in different types of land cover. The aim of this study is to investigate the change in land cover in Helsingborg municipality between the year 2000 and 2017 and its potential to store carbon. The methods used are remote sensing by orthophotographs in combination with modelling of potential carbon storage.

The results show that there has been a development regarding land cover. The land cover for 2017 showed an increase in hard surfaces and a decrease in agricultural land, but also a slight increase in vegetation, compared to 2000. The land cover has an ability to potentially store a total of 5.06 Mt carbon. The agricultural land in the municipality has an ability to store 3,3 Mt carbon, high vegetation 1,1 Mt, low vegetation 0,4 Mt and hard surfaces 0,2 Mt. Scenarios were created to test out how different types of land cover development could potentially influence the carbon storage in the land cover. The scenarios show that implementing more areas with high vegetation could increase the potential carbon storage up to 0.68 Mt, and implementing green roofs could increase the potential carbon storage up to 0.13 Mt.

Keywords: Climate change, land cover, carbon sequestration, remote sensing, GIS

Populärvetenskaplig sammanfattning

Hur kan Helsingborgs kommun bidra till de omställningarna som krävs för att lyckas tackla klimatförändringarna? En lösning är att ta hjälp av naturen, så kallade naturbaserade lösningar (nature-based solutions, NBS). Dessa har förmåga att ta upp koldioxid från atmosfären och binda det som kol i marken. Dessutom bidrar NBS till andra fördelar, såsom biologisk mångfald och mänskligt välbefinnande. Trots att vegetation gör så mycket gott för oss människor är den inte så prioriterad som den borde vara. Denna studie undersöker hur vegetationen har utvecklats mellan år 2000 och 2017 i Helsingborgs kommun och hur vegetationen, tillsammans med resten av kommunens markanvändning, kan bidra till lindring av klimatförändringarna genom dess förmåga att binda kol.

På grund av de pågående klimatförändringar som sker just nu till följd av ökade växthusgasutsläpp från mänsklig aktivitet behövs åtgärder för att inte förvärra situationen. Klimatförändringarna bidrar bland annat till högre medeltemperaturer och det är därför viktigt att både arbeta med anpassnings- och lindringsåtgärder för att inte medeltemperaturen ska stiga allt för mycket. Ett av Sveriges 16 miljömål är ”Begränsad Klimatpåverkan”. Detta mål innebär att växthusgasutsläppen måste minska, men även att det skapas möjligheter för kolinlagring i markanvändningen, alltså i skog, mark och vatten. Denna typ av åtgärd är en naturbaserad lösning och innebär att genom att ge skog, mark, och vatten mer omsorg och plats kan naturens egna mekanismer hjälpa till med att binda koldioxid från atmosfären. Detta genom exempelvis via växters fotosyntes, och på så vis hjälpa människan att delvis ta hand om de överflöd av växthusgaser som vi har pumpat ut i atmosfären.

Denna studie undersöker hur markanvändningen, med fokus på gröna ytor, i Helsingborgs kommun har utvecklats under 17 år mellan åren 2000 och 2017. Studien undersöker även hur denna utveckling kan bidra till att koldioxid tas upp och låses in som kol i vegetation och mark.

Resultatet visar att det har skett en förändring av markanvändningen i Helsingborgs kommun mellan 2000 och 2017. Det har blivit fler byggnader och andra hårdgjorda ytor och mindre jordbruksmark. Men trots att de hårdgjorda ytorna har blivit fler så har inte mängden gröna ytor blivit färre, de är näst intill den samma. Dock har en del av den markanvändning som tidigare bestått av

växtlighet idag blivit hårda ytor, detta innebär att denna markens förmåga att binda kol har försämrats och kan idag inte längre ta till sig koldioxid från atmosfären.

För att kunna öka mängden koldioxid som tas upp från atmosfären i marken behöver markanvändningen vårdas och mer växtlighet behöver få ta plats och växa fram i kommunen. För att lyckas med detta kan all typ av markanvändning behöva optimeras för att maximera lindringsförmågan mot klimatförändringarna så mycket som möjligt.

Begreppsförklaring

Antropogena växthusgasutsläpp: Växthusgasutsläpp orsakade av mänsklig aktivitet.

GIS: Geografiska Informations System. Program som hanterar och analyserar geografisk information.

Gröna ytor: Ytor som består av vegetationstäckan.

Hårda ytor: Hårdgjorda ytor skapade av människan. Dessa kan exempelvis bestå utav asfalt eller cement.

Markanvändning: Markutnyttjande. All mark är klassad som olika markanvändningstyper och är influerade av mänsklig påverkan.

Mitigera: Mildra eller lindra. I denna studie hänvisas mitigera till mildring eller lindring av klimatförändringar.

Kt: Kiloton, ett kiloton är det samma som 1000 (tusen) ton.

Mt: Megaton, ett megaton är det samma som 1 000 000 (en miljon) ton.

NBS: Nature Based Solutions, lösningar som är inspirerade och stärka av naturen.

Spatial: Rumslig, relaterar till en plats eller till uppfattningen om en plats.

VARI: Visible Atmospherically Resistant Index, ett index som kan särskilja vegetation från icke vegetation hos markanvändningen.

Innehållsförteckning

Abstract	3
Populärvetenskaplig sammanfattning	5
Begreppsförklaring	7
Innehållsförteckning	9
1. Inledning	11
<i>1.1 Bakgrund</i>	11
<i>1.2 Studieområde</i>	12
<i>1.3 Syfte & frågeställningar</i>	14
<i>1.4 Avgränsningar</i>	14
<i>1.5 Etisk reflektion</i>	15
2. Material & Metoder	17
<i>2.1 Data</i>	17
<i>2.2 Programvaror</i>	19
2.2.1 Geografiska informationssystem.....	19
2.2.2 R	19
<i>2.3 Analys av utveckling av gröna ytor</i>	19
2.3.1 Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)	20
2.3.2 Uträkning av VARI-värden	20
2.3.3 Bearbetning av VARI-data	21
2.3.4 Fastställande av gränsvärden	21
2.3.5 Annan landtäckning	23
2.3.6 Utveckling av markanvändning	23
<i>2.4 Analys av kolinlagringspotential</i>	23

2.2.1 Modellering av kolinlagring	23
2.2.2 Canopy Height Model	24
2.2.3 Beräkning av potentiell kolinlagring	24
2.5 Potentiell kolinlagring i förlorad vegetation	25
2.6 Kolinlagringsscenario	26
2.6.1 Implementering av hög vegetation	26
2.6.2 Implementering av gröna tak	26
3 Resultat	27
3.1 Utveckling av gröna ytor	27
3.2 Potentiell kolinlagring	31
3.3 Kolinlagringspotential i förlorad vegetation	33
3.4 Scenarion för kolinlagringspotential	34
3.4.1 Implementering av hög vegetation	34
3.4.2 Implementering av gröna tak	35
4 Diskussion	37
4.1 Utveckling av markanvändning	37
4.2 Kolinlagringspotential	38
4.1 Metoddiskussion	40
4.2 Vidare forskning	42
5 Slutsats	43
Tack	45
Referenser	47

1. Inledning

Följande avsnitt beskriver bakgrunden till studien samt det studieområde som varit aktuellt vid genomförandet av studiens analyser och resultat.

1.1 Bakgrund

På grund av de pågående klimatförändringarna, som bland annat innebär stigande medeltemperaturer till följd av antropogena växthusgasutsläpp, måste alla världens länder arbeta för att anpassa sig till konsekvenserna av vad ett föränderligt klimat kan medföra (IPCC, 2021). Sveriges engagemang i denna omställning har resulterat i att 16 nationella miljömål tagits fram som ska hjälpa till att klara av den omställning och anpassning som beslutats (Sveriges miljömål, u.å.). Detta arbete kan även innebära implementering av åtgärder som syftar till att minska växthusgasutsläpp (mitigation) i atmosfären och återfinns i målet "begränsad klimatpåverkan" (Sveriges miljömål, 2021). För att nå detta mål krävs det bland annat en omställning av transportsektorn samt kraftiga utsläppsminskningar från industrier. Vidare krävs även åtgärder som resulterar i kolinlagring i skog, mark och vatten (Naturvårdsverket, 2019), så kallade naturbaserade lösningar (nature-based solutions, NBS). NBS är åtgärder som är inspirerade av naturen. Dessa ämnar skydda, återställa och hantera ekosystem på ett hållbart sätt, samtidigt som de tacklar samhällsutmaningar både effektivt och adaptivt (Cohen-Shacham et. al., 2016). NBS består av blå och gröna ytor och definieras som ytor som domineras av ytvatten eller vattendrag respektive vegetationstäckan (Gunawardena et. al., 2017). Att nyttja och implementera gröna ytor i både urbana och rurala områden kan bidra till ökat kolupptag och att lindring av klimatförändringarna kan uppnås. Med hjälp av NBS skapas även resiliens och minskad sårbarhet mot klimatförändringarna samt att de kan bidra till biologisk mångfald och främjandet av mänskligt välbefinnande. Kolinlagring via vegetation klassas som lindringsåtgärder av klimatförändringar, men de kan även indirekt verka som anpassningsåtgärder då de även kan fungera som buffertzoner vid nederbörd, skydd mot sol och höga temperaturer med hjälp av skuggor samt bidra till rening av luft (Naturvårdsverket, 2021).

Gröna ytor binder koldioxid från atmosfären som en del av sin livscykel, de binder kol via sin fotosyntes och lagrar upptaget av kol i sin biomassa och i marken (Bogren et. al., 2008; de Blij et. al., 2013). Beroende på vilken typ av vegetation och hur mycket vatten som återfinns i och kring de gröna ytorna kan de ta upp och lagra olika mängd kol från atmosfären (de Blij et. al., 2013). Förändrad markanvändning påverkar kolinlagringspotentialen. Gröna ytor byts allt mer ut mot hårdgjorda ytor, såsom asfalt och betong, detta resulterar i att den kol som tidigare varit lagrad frigörs och skapar istället en kolkälla (Liu & Li, 2011).

Hårdgjorda ytor har i de flesta fall lågt albedo (reflektionsförmåga) och hög värmelagringskapacitet. Detta innebär att dessa ytor inte reflekterar solens värmestrålar lika effektivt som gröna ytor (Vaz Monteiro et. al., 2016). I stadsmiljöer är majoriteten av markanvändningen hårdlagda ytor, dessutom utsätts dessa områden i större utsträckning av antropogena värmeutsläpp. Detta resulterar i att lufttemperaturen ofta är högre i städer än i landsbygdsmiljöer. Detta fenomen kallas för "urbana värmeöar" (urban heat island, UHI) (Vaz Monteiro et. al., 2016). För att motverka UHI krävs kraftigt minskade antropogena växthusgasutsläpp, men även förändring av markanvändningen. Denna förändring skulle bland annat kunna innebära utveckling och implementering av NBS, exempelvis med hjälp av med vegetation och fler gröna ytor i urbana områden.

Med hjälp av fjärranalys kan studier som dessa möjliggöras. Insamling av data på avstånd kallas för fjärranalys och innefattar bland annat insamling av data via satellit, flygplan och drönare (Harrie, 2013). Fjärranalys är en effektiv metod för datainsamling över stora geografiska områden och kan användas för att kartlägga planetens miljö och markanvändning. Att samla in data över vatten, mark och atmosfär bidrar till kunskap av hur nuläget ser ut men även hur dessa förändras över tid. Detta kallas för jordobservation och är ett viktigt verktyg vid bland annat arbete med miljö- och klimatfrågor (Harrie, 2013).

Genom att ta reda på gröna ytors potential till kolinlagring hos Sveriges kommuner kan underlag skapas som senare kan ligga till grund för kommande implementering av klimatrelaterade åtgärder i kommunerna. Denna studie undersöker hur markanvändningen i Helsingborgs kommun har utvecklats mellan åren 2000 och 2017 med fokus på gröna ytor, samt hur denna utveckling kan påverka potentiell kolinlagring.

1.2 Studieområde

Helsingborg är en kommun belägen i nordvästra Skåne och har en population på drygt 150.000 invånare (SCB, u.å.). Sett till invånare är Helsingborg Sveriges åttonde största kommun, men till ytan återfinns kommunen på plats 219 av

landets 290 kommuner (Helsingborgs stad, 2021a). Dessa siffror visar på att kommunen har många invånare som ska samsas om en relativt liten yta, samtidigt som andra intressen, såsom industrier och naturområden, också ska ha en given plats i kommunen. Prognoser visar att populationen kommer fortsätta att öka och beräknas ligga kring 190.000 år 2050 (Helsingborgs stad, 2021b). Detta ställer krav på en aktiv planering gällande markanvändning där Helsingborgs stads målbild är att skapa och återskapa fler gröna ytor som är större, mer sammanhängande och med högre kvalitet än tidigare (Helsingborgs stad, 2014).

Enligt Helsingborgs stads klimat- och energiplan 2018–2024 (2018) ska Helsingborg bland annat vara en balanserad, attraktiv och hållbar kommun, de vill även vara ledande inom miljö- och klimatfrågor. Utifrån dessa ambitioner har sex prioriterade områden tagits fram som de ämnar att främst agera inom. Ett av dessa områden är kolinlagring och syftar till att öka kolinlagringen av koldioxid i mark och vegetation. Det framgår dock inget konkret mål hur mycket kolinlagringen ska öka, bara att den ska öka under denna tidsperiod. För att lyckas med detta avser Helsingborgs stad att utveckla markanvändningen med fler gröna ytor och långsammare nedbrytning, inspirera till ett mer klimatanpassat jordbruk samt förbättra och utveckla kolets kretslopp mellan stad och landsbygd (Helsingborgs stad, 2018).

Helsingborgs stad åtog sig i sin översiktsplan från 2002 att utveckla kommunens markanvändning. När översiktsplanen antogs visade data att ängs- och hagmarker återfanns på cirka 600 ha av kommunens landareal (1,8%), skogsmarker utgjorde cirka 2000 ha (5,8%), varav cirka hälften av dessa består av lövskog (Helsingborgs stad, 2002). Utvecklingen förväntades ske genom att bland annat återskapa och skapa nya gröna ytor i form av skog, ängs- och hagmark som motsvarar en yta av cirka 609 hektar. Denna utveckling motiveras med att den kan komma att stärka biologisk mångfald, motverka miljöföroreningar och skapa rekreativvärde (Helsingborgs stad, 2002). Det nämns inget om en potentiell kolinlagring, vilket är ännu en värdefull motivator att implementera dessa ytor. Innan översiktsplanen antogs anlades under en kort tid på 1990-talet relativt stora arealer gröna ytor i kommunen. Under de följande två decennierna har detta arbete fortsatt, men inte i samma hastighet (Fredrik Bengtsson (F. Bengtsson), ekolog, Helsingborgs stad, 2022, muntligen).

I Helsingborgs stads grönstrukturprogram (2014) tas även nya riktlinjer fram gällande implementeringen av nya gröna ytor. Dessa riktlinjer menar att ytterligare 600 ha trädbevuxen mark och 600 ha betes- och slåttermark bör anläggas. För att lyckas med detta vill de implementera fler träd och grönytor i stadsområden och omvandla cirka 5 procent av kommunens åkermark till våtmarker, skog, ängs- och hagmark samt rekreativstråk (Helsingborgs stad, 2014). Genom att öka arealen gröna ytor i kommunen skulle potentialen för att binda mer kol från atmosfären till markanvändningen kunna öka. Detta kan bidra till minskad klimatpåverkan och en mer hållbar kommun, både för människan och

naturen. Har de gröna ytorna i kommunen ökat? Och om så är fallet, hur har detta påverkat kolinlagringen i markanvändningen?

I studien används "Helsingborgs kommun" för den geografiska platsen och avser hela Helsingborgs kommun. "Helsingborgs stad" avser kommunens förvaltningar.

1.3 Syfte & frågeställningar

Denna studie syftar till att undersöka utvecklingen av gröna ytor i Helsingborgs kommun mellan åren 2000 och 2017 samt hur dessa kan bidra till potentiell kolinlagring och på så vis bidra till mitigering av pågående klimatförändringar. För att undersöka detta kommer en fallstudie genomföras av utvecklingen av gröna ytor i Helsingborgs kommun mellan åren 2000 och 2017 samt undersöka dessa ytors förmåga att binda kol. Syftet avses besvaras med följande frågeställningar:

- Hur har gröna ytor utvecklats i Helsingborg mellan åren 2000–2017?
- Hur mycket ny vegetation återfinns i Helsingborgs kommun 2017 i förhållande till 2000 och var har dessa ytor skapats?
- Hur kan markanvändningen som finns i kommunen bidra till potentiell kolinlagring?
- Har vegetationsutvecklingen varit till nytta i förhållande till lindring av klimatförändringarna, i sådant fall hur?

1.4 Avgränsningar

De geografiska avgränsningarna innefattar Helsingborgs kommun och syftar till utveckling av markanvändning som skett inom kommungränsen. Vidare avgränsas studien till att studera markanvändningens koppling till klimatförändringar, detta genom att titta närmare på markanvändningens potentiella förmåga att binda kol, med fokus på gröna ytor.

1.5 Etisk reflektion

Forskningsetik kopplas både till hur forskaren förhåller sig till det som behandlas i forskningen samt forskarens personliga koppling till det som undersöks. Forskningsetik innebär även att det finns flera regler och riktlinjer att förhålla sig till som i slutändan gör forskningen möjlig. Dessa är att tala sanning, kritiskt granska utgångspunkterna för studien, redovisa metod och resultat, redovisa kommersiella intressen, ej stjäla forskningsresultat från andra, dokumentera och arkivera forskningen som bedrivs, ej skada människor, djur eller miljö samt rättvist bedöma andras forskning (Vetenskapsrådet, 2017).

Då denna studie inte involverar människor eller djur bör inga större etiska dilemman uppstå. Studien behandlar däremot miljö, men inte på ett sådant sätt att den kan komma ta fysisk skada. Den data som ligger till grund för studien är redan insamlad innan studien startade och erhålls från Helsingborgs stad, vilket innebär att ingen ny data kommer samlas in som kan medföra potentiella etiska dilemman. Dock innefattar studien vissa data som inte finns att tillgå för allmänheten. Därför är det av stor vikt att denna information inte sprids vidare och att studien genomförs objektivt samt att analyser och resultat presenteras på ett transparent sätt. Ingen har möjlighet att vara 100 % objektiv, men denna studie bygger på mål uppsatta under tidigt 2000-tal samt geografiska data, och då jag inte har någon tidigare koppling till Helsingborgs kommun anser jag att dessa faktorer är svåra att ha en subjektiv uppfattning om.

Skulle resultaten från studien komma att användas i vidare forskning är det av stor vikt att jag kan stå för det arbete som genomförts och vara transparent med alla källor och resultat som studien gett upphov till.

2. Material & Metoder

Följande avsnitt beskriver de material och metoder som legat till grund för studien. Först presenteras den data som använts vid de olika analyserna. Därefter beskrivs de metoder som genomförts för varje analys för studiens resultat.

2.1 Data

Den data som legat till grund för studien har erhållits av Helsingborgs stad och Jordbruksverket. Data består av både raster- och vektordata i form av ortofoton (georefererade flygbilder) respektive LiDAR-data (laserdata i form av georefererade punkter) samt polygoner som beskriver jordbruksmark och byggnader. De data som använts i studien redovisas i tabell 1.

Tabell 1

Tabell över geografiska data som använts för att beräkna och visualisera studiens resultat av utveckling av markanvändning och dess kolinlagringspotential.

Figur	Fil	Typ	Beskrivning	Upplösning	Källa
Markanvändning 2000 fig 1	Ortofoto	Raster	Flygfoton över Helsingborgs kommun	0.5m	Helsingborgs stad
	Byggnader Helsingborgs kommun	Vektor	Polygoner som återger byggnader i kommunen	-	Helsingborgs stad
	Jordbruksmark, IACS/block data 2000	Vektor	Polygoner som beskriver stödberättigad jordbruksmark enligt EU:s definitioner	-	Jordbruksverket
Markanvändning 2017 fig 2	Ortofoto	Raster	Flygfoton över Helsingborgs kommun	0.16m	Helsingborgs stad
	Byggnader Helsingborgs kommun	Vektor	Polygoner som återger byggnader i kommunen	-	Helsingborgs stad
	Jordbruksmark, IACS/block data 2017	Vektor	Polygoner som beskriver stödberättigad jordbruksmark enligt EU:s definitioner	-	Jordbruksverket
Potentiell kolinlagring 2017 Fig 3	VARI-värden från ortofoto 2017	Raster	Raster som återger kommunen med vegetation och icke-vegetationsvärden	1m	Skapad utifrån data från Helsingborgs stad
	Höjddata Helsingborgs kommun	Vektor	Punktdata som återger m.ö.h.	-	Helsingborgs stad

2.2 Programvaror

2.2.1 Geografiska informationssystem

Geografiska informationssystem (GIS) är program som hanterar geografisk information samt kommunicerar geografisk information mellan användare. Dessa program är datoriserade informationssystem och har förmåga att samla in, lagra, bearbeta, analysera samt visualisera geografiska data. Hur geografiska data kommuniceras är till exempel via kartor, satellitbilder samt statistisk information.

Vidare ska även GIS-program kunna hantera flera olika datakällor samtidigt, detta möjliggör att analys och visualisering av tidigare ej kända spatiala samband kan urskiljas (Harrie, 2013). Det GIS-program som använts i denna studie är QGIS Bucuresti 3.12.3 (QGIS, u.å.).

2.2.2 R

R är en gratis programvara och är ett språk och en programmeringsmiljö som är skapad för att utföra statistiska beräkningar, datamanipulation samt framställa grafiska data. R beskrivs som en programvara som är effektiv för datahantering och datalagring och har en stor integrerad samling av verktyg för att genomföra dataanalyser (R Core Team, 2021). Då denna studie har inneburit analys av stora mängder data har R varit ett väl fungerande verktyg då det har förmågan att bearbeta data och skapa nya data på ett smidigare sätt än QGIS. Dock kan inte R visualisera data på samma sätt som QGIS, därav har den data som tagits fram med hjälp av R senare analyserats och visualiserats i QGIS.

De funktioner och datasets som kan användas i R återfinns i olika så kallade bibliotek. Dessa paket skapas för att kunna samla relaterade funktioner och verktyg tillsammans och kan på så vis hanteras och brukas utefter vilka behov användaren har (R Core Team, 2021). De paket som används i denna studie är ”raster” (Hijmans, 2022), ”rgdal” (Bivand et. al., 2021) och ”sp” (Pebesma & Bivand, 2005) och är framtagna för att hantera rasterdata och andra spatiala data.

2.3 Analys av utveckling av gröna ytor

Att studera förändring av markanvändning över tid är nödvändigt för att öka förståelsen av mänskliga aktiviteter och hur dessa kan påverka naturen (Butt et. al., 2015; Haque & Basak, 2016). Att ha pålitlig och aktuella

markanvändningsdata är även nödvändigt för att kunna bidra till hållbar utveckling genom planering av den fysiska miljön (Haque & Basak, 2016). En effektiv metod för att göra detta är att analysera flygbilder då dessa kan täcka in större geografiska områden och bidra till en bättre översikt över det studerade området.

För att studera utvecklingen av gröna ytor i Helsingborgs kommun har flygbilder från 2000 och 2017 använts. Då studien undersöker ett stort geografiskt område har flera flygbilder satts ihop i en så kallad mosaik då det inte går att framställa ett foto som täcker hela området. Data från 2000 består av 94 sammansatta flygbilder och data från 2017 består av 445 flygbilder.

Det referenssystem som använts i denna undersökning är SWEREF 99 1330, som är en transversal Mercator-projektion, samt höjddreferenssystemet RH 2000.

2.3.1 Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)

Spektrala vegetationsindex är vanligt förekommande vid övervakning, kartläggning och analysering av vegetation och avser återge dess struktur och dess tidsmässiga och spatiala variation (Gitelson et. al., 2001). En vanligt förekommande metod för detta ändamål är Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Viana et. al., 2019). Dock kräver denna metod att data som analyseras består av ett infrarött band, något som data i denna studie ej besitter. Data som funnits att tillgå består av ett rött, grönt och blått band (RGB-ortofoton). För att kunna utföra de analyser som krävs för studiens resultat har därför Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) använts.

VARI innebär att modellen utläser och separerar icke-vegetationspixlar från vegetationspixlar, detta genom hur ration mellan de röda och gröna banden förhåller sig till varandra i pixlarna. Vidare subtraheras även det blå bandet för att ytterligare motverka atmosfäriska effekter som kan påverka reflektionen av vegetationen. Beräkningen förväntas ha en felmarginal på mindre än 10%, vilket gör den till ett bra komplement till bland annat NDVI (Gitelson et. al., 2001). Beräkningen av VARI beskrivs på följande vis:

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B} \quad (0.1)$$

2.3.2 Uträkning av VARI-värden

För att genomföra analys av förändring av gröna ytor mellan år 2000 och 2017 användes RGB-ortofoton för respektive år från Helsingborgs stad. Denna data har

legat till grund för alla de analyser som genomförts för att komma fram till de resultat som studien landat i.

Då data från 2000 bestod av 94 ortofoton och 2017 av 445 ortofoton skapades en så kallad loop i R som genomförde uträkningen av VARI-värdena. Inom loopen beräknades därefter VARI-ekvationen för varje enskilt ortofoto.

2.3.3 Bearbetning av VARI-data

För att ha möjlighet att jämföra markanvändningsutvecklingen mellan 2000 och 2017 behövde data genomgå viss bearbetning. Alla ortofoton för respektive år sattes ihop till ett lager, pixelstorleken hos ortofotona ändrades till 1 meter och varje enskild pixel behövdes justeras till exakt samma koordinater hos båda dataseten, dessa bearbetningar genomfördes i R.

2.3.4 Fastställande av gränsvärden

De pixelvärden som VARI resulterar i har ingen fast skala som beskriver hur mycket vegetation som markanvändningen består av. Indexet indikerar att desto högre pixelvärde desto grönare och friskare vegetation. Skalan för pixelvärdet sträcker sig från -1 till +1, där alla värden över 0 förväntas indikera vegetation. För att undersöka hur pixelvärdena förhåller sig till VARI-indexet skapades ett punktlager i QGIS. Totalt placerades 130 punkter för respektive år slumpmässigt ut över respektive ortofoton över Helsingborgs kommun på olika typer av markanvändning. Detta för att skapa en uppfattning om hur värdena förhåller sig till olika marktyper och hur värdena skiljer sig åt för respektive år. Vilken typ av markanvändning som punkterna placerades på bedömdes manuellt utifrån ortofotona med avsikt att fördela punkterna jämnt för varje markanvändningstyp.

Värdena analyserades i Excel där tabeller skapades för att analysera pixelvärdena, detta för att fastställa vilka värden som kan klassas som vegetation och inte. Vid analys av pixelvärden för år 2000 hade majoriteten av all vegetation ett pixelvärde över 0, med vissa undantag. Andra typer av markanvändning, såsom hårdgjorda ytor och vissa typer av åkermark som inte bestod av grön vegetation, hade ett pixelvärde under 0. Vissa pixelvärden, såsom pixlar som återfanns på svarta tak, hade oväntat höga värden som enligt VARI-indexet indikerar på att det är vegetation. Detta korrigerades genom omvandling av pixelvärden till icke-vegetation med hjälp av kodning i R. Även jordbruksmark tillgavs ett icke-vegetationsvärde då denna inte klassas som gröna ytor.

Då VARI-indexet förväntas ha en felmarginal på <10% (Gitelson et. al., 2001) bidrog detta till att ett annat värde än 0 valdes för att utläsa vad som var vegetation och inte. Vid granskning av pixelvärdena framgick det tydligt att

majoriteten av de gröna ytorna för år 2000 hade ett pixelvärde strax över 0 och icke-vegetation hade ett värde som sträckte sig från -1 till cirka 0.09. Vid granskning av pixelvärden för år 2017 framgick det att samtliga pixelvärden var lägre än pixelvärdet för 2000. Detta på grund av att data för 2017 hade en högre upplösning (0.16 meter jämfört med 0.5 meter för 2000) vilket bidrog till att fler pixelvärden slogs samman när upplösningen ändrades till 1 meter. Detta i sin tur bidrog till att ett lägre pixelvärde valdes som gränsvärde för pixlar med vegetation respektive icke-vegetation. Pixelvärden för icke-vegetation år 2017 återfanns mellan -1 och -0.11. Det indexvärde som valdes som gränsvärde var +0.1 för år 2000 och -0.1 för år 2017, se tabell 2 och 3 för data som legat till grund för gränsvärdena. Alla värden som återfanns under dessa gränsvärden klassades som icke vegetation.

Tabell 2

Tabellen beskriver hur medelvärde, minvärde, maxvärde samt standardavvikelse (SD) såg ut hos respektive marktyp under år 2000.

VARI-värde 2000	Åker	Åker sädesslag	Gräsmatta	Gräsmatta park	Lövskog
Medel	0,505462	-0,08536	0,320391	0,420988	0,657743
Min	-0,06112	-0,11514	-0,08102	0,277165	0,263967
Max	0,987124	-0,02217	0,660571	0,578926	1,219038
SD	0,249088	0,030241	0,168396	0,112886	0,254934
VARI-värde 2000	Parkering	Tak röd	Tak svart	Träd	Väg
Medel	0,007188	-0,30824	0,269172	0,426081	0,019527
Min	-0,02507	-0,35957	-0,38301	0,261235	-0,08467
Max	0,039443	-0,22695	0,651677	0,608952	0,105495
SD	0,045615	0,040339	0,261978	0,116697	0,059488

Tabell 3

Tabellen beskriver hur medelvärde, minvärde, maxvärde samt standardavvikelse (SD) såg ut hos respektive marktyp under år 2017.

VARI-värde 2017	Åker	Åker sädesslag	Gräsmatta	Gräsmatta park	Lövskog
Medel	0,032743	-0,10204	0,028763	0,02668	0,089192
Min	-0,09076	-0,15609	-0,06275	-0,05394	-0,05015
Max	0,129854	-0,06853	0,116364	0,128179	0,189828
SD	0,053117	0,027975	0,05287	0,071321	0,057204
VARI-värde 2017	Parkering	Tak röd	Tak Svart	Träd	Väg
Medel	-0,04589	-0,24706	-0,03213	-0,03213	-0,04581
Min	-0,06455	-0,374	-0,06696	-0,06696	-0,08073
Max	-0,03406	-0,11725	0,020586	0,020586	-0,02323
SD	0,014481	0,09859	0,028429	0,028429	0,015722

2.3.5 Annan landtäckning

De pixlar som klassats som icke vegetation i VARI-rastret jämfördes med originalortofotona samt data för byggnader och jordbruksmark. Det framgick att dessa pixlar återfanns på hårdgjorda ytor, såsom vägar och parkeringar, därav togs ett beslut om att klassa dessa pixlar som hårdgjorda ytor.

2.3.6 Utveckling av markanvändning

För att få fram utvecklingen av gröna ytor i kommunen mellan de två åren subtraherades 2000 års pixelvärden från 2017. Vidare summerades pixlarna i respektive raster för att få fram arean för de olika markanvändningstyper som varit relevanta vid framtagandet av VARI-värdena, dessa redovisas i tabell 5 i resultatavsnittet.

Den geografiska data som varit relevant vid analys av vegetationsutveckling återfinns i tabell 1.

2.4 Analys av kolinlagringspotential

2.2.1 Modellering av kolinlagring

Den modell som använts för att beräkna potentiell kolinlagring i kommunen är framtagen i ett tidigare forskningsprojekt som bland annat undersökte kolinlagringspotential i Malmö (Cortinovic et. al., 2022). Kolinlagringen modelleras som en funktion av markanvändningen, där inlagrat kol antas vara stabilt, vilket innebär att upptag och utsläpp motsvarar varandra. De kolinlagringsvärden som återges i artikeln har även använts i denna studie (se tabell 4) då de platser som undersöks i det tidigare forskningsprojektet och i denna studie återfinns geografiskt nära varandra och antas därför ha samma förutsättningar för kolinlagring.

Cortinovic et. al., (2022) studie använde inga värden för kolinlagring i jordbruksmark då denna studie endast undersökt urbana förhållanden. För att kunna modellera kolinlagringspotentialen för Helsingborgs kommuns jordbruksmark gjordes en litteratursökning för att hitta ett kolinlagringsvärde. Sökningen resulterade i att värdet 12,5 kg C/m² tilldelades jordbruksmark (Hendriks et. al., 2020; Paustian et. al., 1997).

2.2.2 Canopy Height Model

En av de nödvändiga indata som krävs för att kunna beräkna potentiell kolinlagring är vegetationens höjd och dess trädkronetäckning. Denna kan tas fram med Canopy Height Model (CHM), vilken innebär att Digital Terrain Model (DTM) (som beskriver markterrängen, markens höjd över havet) subtraheras från Digital Surface Model (DSM) (som återger höjden av toppen av ett landskap, såsom trädkronor och byggnader).

Denna modell användes i R tillsammans med lidR-biblioteket (Roussel & Auty, 2022) och resulterade i ett rasterlager som återgav all vegetation i kommunen (förutom jordbruksmark), liknande de raster som skapades för uträkning av VARI-värden, men med data som beskriver vegetationens höjd. CHM kan även återge höjd på andra objekt, såsom elledningar, dessa plockades manuellt bort i efterhand för att få ett raster som endast återgav vegetation.

2.2.3 Beräkning av potentiell kolinlagring

För vidare beräkning av potentiell kolinlagring krävs en åtskillnad på hög och låg vegetation. Denna sattes vid 4 meter, detta utifrån egna bedömningar vid studerande av vegetation i närområdet. Detta innebar att all vegetation som är under 4 meter hög klassas som låg vegetation, detta då kolinlagringen skiljer sig mellan hög och låg vegetation, se tabell 4.

All vegetation över 4 meter identifierades med hjälp av rasterlagret för VARI-värden och rasterlagret för CHM i R. Med hjälp av R skapades ett raster som representerade all vegetation över 4 meter för 2017.

Hårdgjorda ytor binder ingen kol, men de antas ha lagrat kol innan de hårdlades och besitter därför en konstant kolinlagringskapacitet, därav har de tilldelats ett värde för kolinlagring (Hiederer & Köchy, 2011).

För att beräkna kolinlagringskapaciteten summerades antalet pixlar för varje markanvändningstyp. Då pixelstorleken var satt till 1 meter sedan tidigare kunde antalet pixlar multipliceras med antal kg C/m² för att räkna ut total potentiell kolinlagring för varje definierad markanvändningstyps area, detta redovisas i resultatavsnittet i tabell 5.

Den geografiska data som varit relevant vid analys av potentiell kolinlagring återfinns i tabell 1.

Tabell 4

Kolinlagringspotential per markanvändningsklass (kg C/ m²). Källa: Cortinovis et. al., (2022); Hendriks et. al., (2020); Paustian et. al., (1997).

Markanvändning	Vegetation ovan jord	Vegetation under jord	Soil organic carbon (0-100cm)	Total (kg C/ m ²)
Träd	5,19	3,49	23,13	31,81
Låg vegetation	0,19	0,98	11,8	11,8
Jordbruksmark	-	-	12,5	12,5
Hårdgjorda ytor	0	0	4,7	4,7

2.5 Potentiell kolinlagring i förlorad vegetation

För att undersöka hur mycket kol de förlorade gröna ytorna potentiellt hade kunnat binda användes data från tidigare analys av markanvändningsutveckling som beskriver förlorad vegetation. Från denna rasterdata skapades ett raster i R med information om förlorad vegetation.

Vid tidigare analys av potentiell kolinlagring för 2017 års markanvändning togs data fram på fördelningen av hög och låg vegetation hos de gröna ytorna. Dessa procentenheter antogs vara de samma för de förlorade gröna ytorna och applicerades även på dessa pixlar vilket innebär att fördelningen av hög och låg vegetation bedömdes vara 51 respektive 49 procent. För att räkna ut de förlorade gröna ytornas potentiella kolinlagring multiplicerades pixlarna som utgjorde förlorad vegetation med mängden kol som nuvarande markanvändningstyp binder per kvadratmeter (Kg C/m², se tabell 4) för att sedan multipliceras med procentenheten för respektive vegetationsindelning.

Vidare undersöktes vad dessa pixlar bestod av för markanvändning 2017 för att kunna räkna ut den nya kolinlagringspotentialen för dessa ytor. De potentiella kolinlagringsvärdena redovisas i tabell 4. Kolinlagringsvärdena för vegetation subtraherades sedan med kolinlagringsvärdena för den nya markanvändningen för att på så sätt kunna få fram den totala kolinlagringskapaciteten som eventuellt gått förlorad.

2.6 Kolinlagringsscenarion

2.6.1 Implementering av hög vegetation

För att undersöka hur kolinlagringspotentialen kan förändras vid utökad areal hög vegetation genomfördes uträkningar i Excel. Beräkningarna grundas i kolinlagringspotentialen som tidigare tagits fram för 2017 års markanvändning och att hög vegetation implementeras på jordbruksmark.

Scenarion för en ökning av hög vegetation med 10, 25, 50, 75 samt 100 procent undersöktes och beräknades genom att 2017 års data för hög vegetation (areal och kolinlagringspotential) multiplicerades med respektive procentenhet. Resultatet av mängden ökad areal subtraherades från jordbruksmarksarealen. Vidare subtraherades den nya arealen av hög vegetations kolinlagringsförmåga med jordbruksmarkens kolinlagringsförmåga för att få fram den totala mängden kol som den nya markanvändningstypen potentiellt kan binda.

2.6.2 Implementering av gröna tak

En annan möjlighet att nyttja markanvändningen för lagring av kol är att implementera gröna tak på befintliga byggnader. Gröna tak är ett samlingsbegrepp som beskriver tak som är täckta av vegetation. Dessa innefattar allt från tunna sedumtak till tak med både träd och buskar (Myndighetsnätverket för klimatanpassning, 2018).

För att undersöka hur implementering av gröna tak kan påverka den potentiella kolinlagringen genomfördes beräkningar i Excel. Gröna tak klassades som låg vegetation då det inte anses troligt att vegetation över 4 meter skulle installeras på tak. Beräkningarna grundas i data för byggnadsareal från 2017 samt kolinlagringspotential (Kg C/m^2) för låg vegetation, vilken är $11,8 \text{ kg C/m}^2$ (Cortinovis et. al., (2022)).

Scenarion för en ökning av gröna tak med 10, 25, 50, 75 samt 100 procent undersöktes och beräknades genom att 2017 års data för arealen byggnader multiplicerades med respektive procentenhet samt med kolinlagringsvärdet för låg vegetation.

3 Resultat

Följande avsnitt redovisar studiens resultat. Först redovisas utvecklingen av vegetation i Helsingborgs kommun och Helsingborgs tätort mellan åren 2000 och 2017. Därefter redovisas den potentiella kolinlagring som vegetationsutvecklingen kan ha lett till. Vidare redovisas hur mycket kol den förlorade vegetationen hade kunnat binda följt av scenarion med utveckling av markanvändningen och hur dessa hade kunnat påverka kolinlagringspotentialen i kommunen.

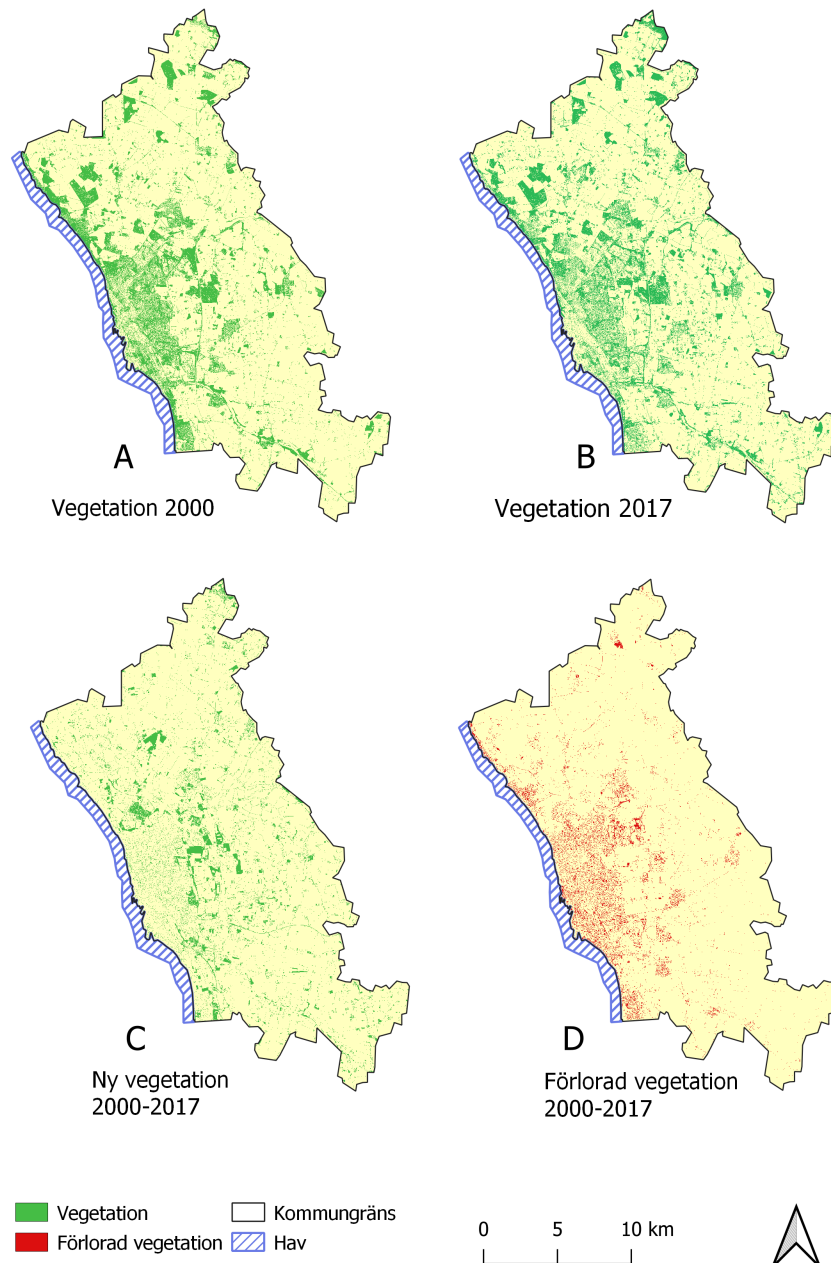
3.1 Utveckling av gröna ytor

Den data som användes visade att hela kommunen är cirka 393 kvadratkilometer stor och majoriteten av ytan består av jordbruksmark, detta för både år 2000 och 2017. Det har inte skett någon större utveckling av vegetation vad gäller arealen, genomförda analyser visar att arealen vegetation har ökat med 0.15 kvadratkilometer (0,04 %) mellan 2000 och 2017, tabell 5. Däremot har arealen för byggnader ökat och arealen för jordbruksmark minskat. Detta tyder på att jordbruksmark tagits i anspråk för att skapa ytor för byggnader, vilket innebär en ökning av hårdgjorda ytor, men också för implementering av ny vegetation, tabell 5. Förlusten av vegetation har främst skett i kommunens tätorter, varav den största förlusten har skett i Helsingborgs tätort, figur 1D. Det har främst tillkommit större partier med ny vegetation utanför eller i anslutning till tätorterna. Var vegetationsutvecklingen har ägt rum beskrivs i figur 1A-D.

Tabell 5

Tabell över vegetationsförhållandena i Helsingborgs kommun år 2000 och 2017. Även jordbruksmark och byggnader är representerade då de varit väsentliga vid analyser av vegetation.

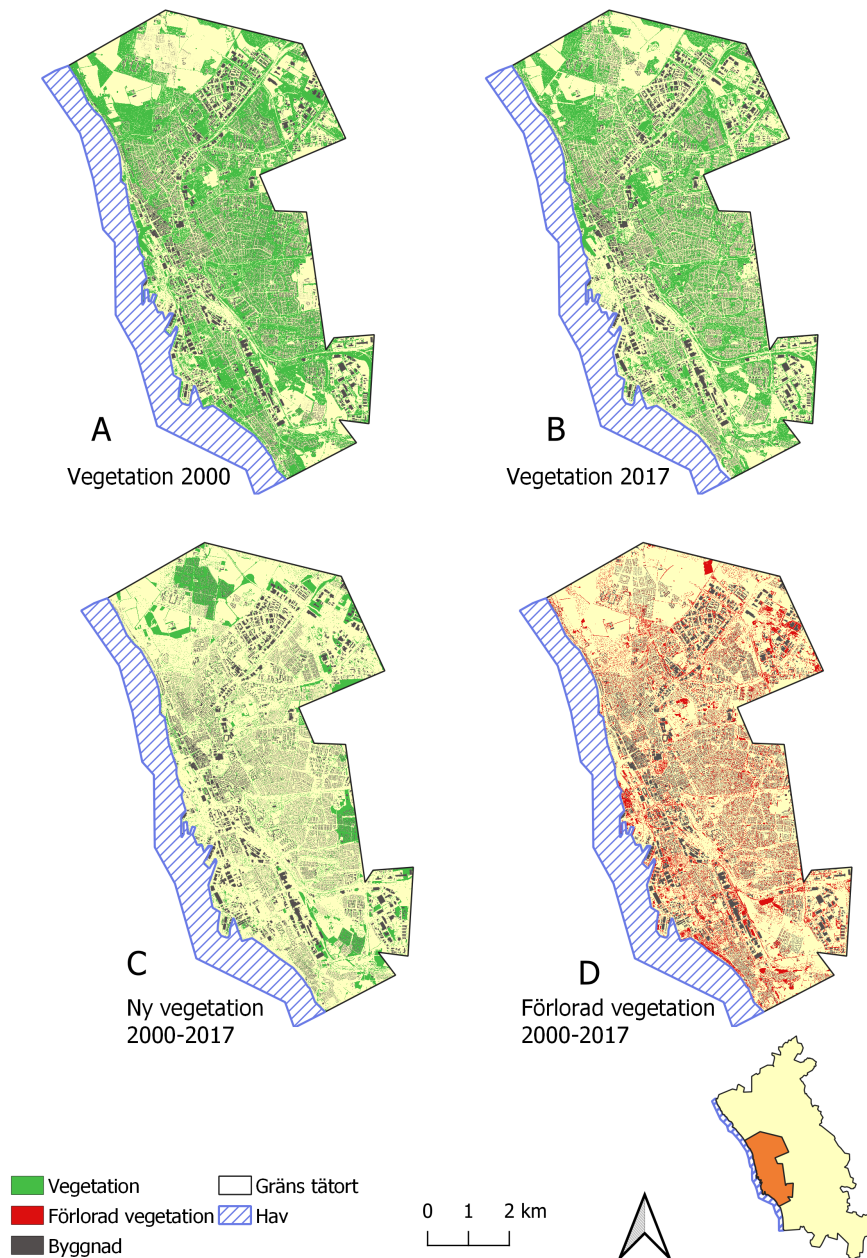
Markanvändning	2000 km ²	2000 %-enheter	2017 km ²	2017 %-enheter	Differens km ²	Differens %-enheter
Vegetation	69,63	17,72	69,78	17,75	0,15	0,04
Hårdgjorda ytor	33,22	8,45	46,76	11,9	13,54	3,45
Jordbruksmark	279,53	71,12	265,14	67,46	-14,39	-3,66
Byggnader	10,66	2,71	11,36	2,89	0,7	0,18



Figur 1 Utveckling av gröna ytor i Helsingborgs Kommun.

Vegetationsförhållandena under åren 2000 (A) och 2017 (B) samt var vegetation tillkommit (C) och försvunnit (D) mellan dessa år.

Det går att utläsa att både ny och förlorad vegetation kan kopplas till ökning av byggnader i området. Nya byggnader har implementerats där det tidigare varit grönområden eller åkermark. Samtidigt har ny vegetation implementerats vid utbyggnad av tätorten, detta främst i form av vegetation i anslutning till byggnader, men även större grönytor har tillkommit emellan områden med byggnader, dessa antas vara anlagda parker och grönområden. Det går även att utläsa att vegetationen var mer sammankopplad i tätorten 2000, 2017 är den mer segregerad och tydliga partier utan vegetation kan urskiljas, se figur 2.



Figur 2. Utveckling av gröna ytor i Helsingborgs tätort
 Vegetationsförhållandena under åren 2000 (A) och 2017 (B) samt vart gröna ytor tillkommit (C) och försvunnit (D) mellan dessa år.

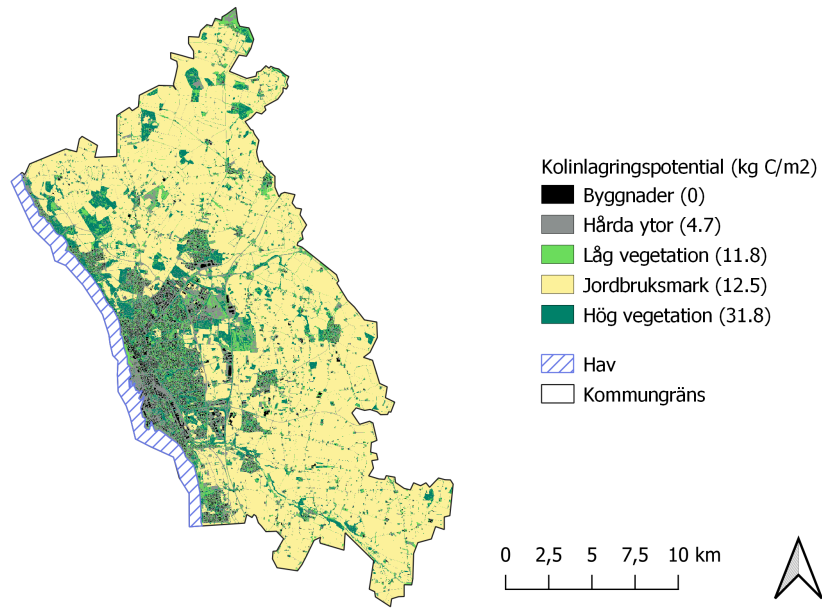
3.2 Potentiell kolinlagring

Baserat på markdata från 2017 är den totala kolinlagringspotentialen för hela Helsingborgs kommun 5,06 Mt kol. Den markanvändningstyp som binder mest kol är jordbruksmark som kan lagra 3,31 Mt, vilket står för 65 procent av den totala kolinlagringspotentialen. Vad gäller vegetationen (ej jordbruksmark medräknat) är det hög vegetation som har högst förmåga att binda kol och besitter en potential att binda 1,12 Mt kol, 22 procent, av kommunens kolinlagringskapacitet. Den vegetation som klassats som låg har en potential att binda 0,41 Mt kol, vilket motsvarar 8 procent. Hårdgjorda ytor beräknas binda 0,22 Mt och står för 4,3 procent av den totala kolinlagringspotentialen. Fördelningen av potentiell kolinlagring sammanfattas i tabell 6 och visualiseras i figur 3.

Tabell 6

Tabell över kolinlagringspotential per markanvändningstyp samt total kolinlagringspotential i Helsingborgs kommun.

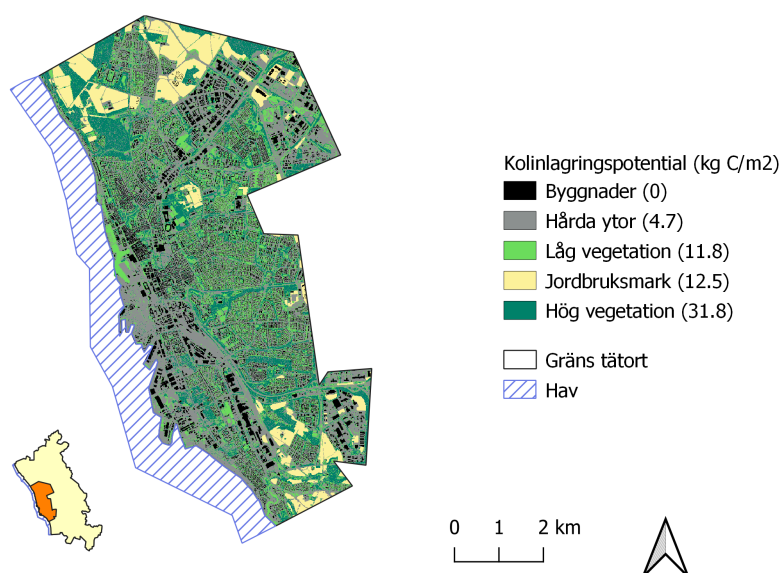
Markanvändning	Area (Km ²)	Kolinlagring (kg C/ m ²)	Total kolinlagringspotential (Kt C)	Total kolinlagringspotential (Mt C)	Total kolinlagringspotential (%)
Hög vegetation	35,24	31,81	1120,7	1,12	22,13
Låg vegetation	34,54	11,8	407,6	0,41	8,1
Hårdgjorda ytor	46,76	4,7	219,8	0,22	3,35
Jordbruksmark	265,14	12,5	3314	3,31	65,42
Byggnader	11,36	0	0	0	0
Totalt	393	-	5062,3	5,06	-



Figur 3 Potentiell kolinlagring i Helsingborgs kommun

Kolinlagringspotentialen hos markanvändningen i kommunen under 2017. Färgerna i figuren återger markanvändningens potentiella kolinlagring per kvadratmeter.

I Helsingborgs tätort består markanvändningen främst av hårdgjorda ytor och låg vegetation med inslag av hög vegetation. Åkermark återfinns i utkanterna i anslutning till tätortsgränsen, se figur 4.



Figur 4 Potentiell kolinlagring i Helsingborgs tätort

Kolinlagringspotentialen i Helsingborgs tätort 2017. Färgerna i figuren återger markanvändningens potentiella kolinlagring per kvadratmeter.

3.3 Kolinlagringspotential i förlorad vegetation

Enligt analysen för utveckling av markanvändning har totalt 22,6 kvadratkilometer omvandlats från gröna ytor till annan typ av markanvändning. Av dessa simulerades 11,5 kvadratkilometer bestå av hög vegetation och 11,07 kvadratkilometer av låg vegetation. Givet antagandena hade dessa ytor en potentiell förmåga att binda 0,49 Mt kol. År 2017 var dessa ytors potentiella kolinlagring 0,14 Mt, vilket innebär en minskning med 0,35 Mt. Den potentiella kolinlagringen hos dessa ytor från de två åren redovisas i tabell 7 och 8. De förlorade gröna ytorna i Helsingborgs kommun visualiseras i figur 1D.

Tabell 7

Tabell över den förlorade vegetationens kolinlagringspotential.

Markanvändning	Area (Km ²)	Kolinlagring (kg C/m ²)	Total kolinlagringspotential (Kt C)	Total kolinlagringspotential (Mt C)
Hög vegetation	11,52	31,81	366,5	0,37
Låg vegetation	11,07	11,8	130,7	0,13
Totalt	22,6	-	497,2	0,49

Tabell 8

Tabell över vad ytorna med förlorad vegetation består av idag och dess potentiella kolinlagring.

Markanvändning	Area (Km ²)	Kolinlagring (kg C/ m ²)	Total kolinlagringspotential (Kt C)	Total kolinlagringspotential (Mt C)
Hårdgjorda ytor	16,97	4,7	79,7	0,074
Jordbruksmark	5,3	12,5	66,3	0,066
Byggnader	0,32	0	0	0
Totalt	22,6	-	146	0,14

3.4 Scenarion för kolinlagringspotential

3.4.1 Implementering av hög vegetation

Uträkningar visar att implementering av mer hög vegetation har kapacitet att öka den potentiella kolinlagringen i Helsingborgs kommun. I detta scenario tas jordbruksmark i anspråk för implementeringen, och innebär att kolinlagringspotentialen skulle kunna öka med upp till 0,68 Mt, detta om arealen bestående av hög vegetation ökar med 100 procent, alltså 35,24 kvadratkilometer. Potentiell ökning av kolinlagringsförmåga vid denna typ av markanvändningsutveckling redovisas i tabell 9.

Tabell 9

Tabellen visar mängden jordbruksmark som behöver tas i anspråk vid implementering av hög vegetation samt den nya markanvändningens potentiella kolinlagringsförmåga.

Hög vegetaiton	+ 10 %	+ 25 %	+ 50 %	+ 75 %	+ 100 %
Total areal hög vegetation efter ökning (km ²)	38,76	44,05	52,86	61,67	70,48
Jordbruksmark som tas i anspråk (km ²)	3,52	8,81	17,62	26,43	35,24
Ökad C lagring (Mt)	0,07	0,17	0,34	0,51	0,68

3.4.2 Implementering av gröna tak

Vid implementering av gröna tak på befintliga byggnader i kommunen visar genomförd uträkning att kolinlagringspotentialen kan, vid en ökning av 10 procent öka med 0,013 Mt, se tabell 10. Skulle alla tak i kommunen få gröna tak installerade skulle kolinlagringspotentialen kunna öka med upp till 0,13 Mt.

Tabell 10

Tabellen visar potentiell ökning av kolinlagringsförmåga vid implementering av gröna tak på byggnader som återfinns i Helsingborgs kommun.

Gröna tak	+ 10 %	+ 25 %	+ 50 %	+ 75 %	+ 100 %
Kg C/m ²	13415397,58	33538493,95	67076987,9	100615481,9	134153975,8
Kt C	1341,5	3353,8	670,88	1006	1341,5
Mt C	0,013	0,033	0,067	0,1	0,13

4 Diskussion

Studiens syfte var att undersöka utvecklingen av gröna ytor i Helsingborgs kommun mellan åren 2000 och 2017 samt hur dessa kan bidra till potentiell kolinlagring och på så vis bidra till mitigering av växthusgasutsläpp som påverkar de pågående klimatförändringarna. Resultatet visar att det finns en förändring av gröna ytor i kommunen. Det har både tillkommit och försvunnit vegetation under den aktuella tidsperioden och den potentiella kolinlagringen visar på att hög vegetation är den markanvändningstyp som har störst potential att binda kol. Jordbruksmark besitter den största kolinlagringspotentialen på grund av dess utbredning i kommunen.

4.1 Utveckling av markanvändning

Det går att urskilja tydliga förändringar i vegetationstäckningen i kommunen mellan de två åren, se figur 1. Analysen visar att de gröna ytorna har varken ökat eller minskat avsevärt vad gäller arealen, se tabell 5, vilket innebär att det inte går att fastställa en faktisk ökning på grund av osäkerheter i analyserna. Vad som går att fastställa är att utbredningen av gröna ytor i kommunen har förändrats och idag är mer utspridda än tidigare, se figur 1.

Att arealen av gröna ytor inte har minskat trots en ökning av byggnader med 0,65 kvadratkilometer bör ses som en god utveckling då ökningen av byggnader har inneburit att mark tagits i anspråk för att skapa hårdgjorda ytor. Dock framgår det inte i resultatet vilken typ av vegetation som tillkommit eller vilken typ av vegetation som försvunnit. Däremot går det att fastställa att Helsingborgs stads mål om att implementera 609 hektar ny skog, ängs- och hagmark (Helsingborgs stad, 2002) inte har uppnåtts. All vegetation kan antas besitta olika förmåga att binda kol, därav behövs det vidare undersökningar som kan beskriva vilka typer av vegetation som återfinns i Helsingborgs kommun. Däremot framgår det tydligt att jordbruksmarken har minskat, se tabell 5, det kan därför antas att denna tagits i anspråk vid utveckling av både gröna och hårda ytor.

Det går inte att fastställa om vegetationsutvecklingen i kommunen varit till nytta i förhållande till lindring av klimatförändringarna. För att kunna klargöra detta behövs vidare undersökningar göras. Den förändring som skett i

vegetationstäckningen har med stor sannolikhet påverkat bindningen av kol från atmosfären, men om denna förändring varit positiv eller negativ går ej att fastställa med studiens resultat.

För att lyckas implementera fler gröna ytor i kommunen är det av stor vikt att det finns en förståelse för gröna ytors betydelse, både hos beslutsfattare och hos allmänheten. Detta är något som Helsingborgs stad trycker på i sitt grönstrukturprogram (2014) där de menar att det finns potential till utveckling av vegetation och gröna ytor kopplat till ekosystemtjänster och dess koppling till bland annat rekreation, klimat och biologisk mångfald. Alla gröna ytor i kommunen skulle kunna klassas som NBS då den även bidrar till resiliens mot klimatförändringarna samt främjandet av mänskligt välbefinnande. Dessutom bidrar de gröna ytorna, om de sköts på rätt sätt, till minskad sårbarhet vid bland annat nederbörd och förbättrad markhälsa. De hjälper även till att rena luften från föroreningar (Naturvårdsverket, 2019; Griscom et al, 2017).

4.2 Kolinlagringspotential

För att Helsingborg ska nå sina uppsatta mål och kunna bidra till den mitigering av koldioxid från atmosfären som krävs för att motverka klimatförändringarna bör fler gröna ytor implementeras i Helsingborgs kommun. Dessa bör bestå av både hög och låg vegetation, med en majoritet av hög vegetation då denna besitter en högre förmåga att binda kol, se tabell 6. Dock finns det viss problematik med implementering av ny vegetation då stora delar av kommunen består av privatägd mark. En möjlig lösning på detta hade varit att Helsingborgs stad brukar ekonomiska incitament för att exempelvis undvika att skog fälls på privatägd mark (Fredrik Bengtsson (F. Bengtsson), ekolog, Helsingborgs stad, 2022, muntligen). Dessa incitament skulle även kunna leda till att mer skog och andra typer av vegetation planteras för att öka mängden vegetation i kommunen. Att dessutom lägga fokus på att implementera varierad vegetation och motverka monokulturer kan stärka markanvändningens kolinlagringsförmåga avsevärt och då potentiellt bidra till ökad resiliens mot klimatförändringarna (Tilman et. al., 2006). Dessutom stärks den biologiska mångfalden och det mänskliga välbefinnandet (Naturvårdsverket, 2019).

Vidare är det även viktigt att inte endast fokusera på att implementera nya gröna ytor för att öka kolupptaget från atmosfären, det är även viktigt att de gröna ytor som finns idag sköts på rätt sätt. Detta skulle potentiellt kunna påverka upptaget av kol från atmosfären än mer (Santopuoli, et. al., 2020).

Då jordbruksmark avses tas i anspråk för utveckling av annan markanvändning (Helsingborgs stad, 2021b) är det även av stor vikt att resterande jordbruksmark vårdas väl och optimeras för att inte påverka mitigeringen av

koldioxid från atmosfären negativt. Den behöver även skötas så att livsmedelsförsörjningen kan stärkas. Jordbruksmark med god förmåga att binda kol är dessutom mer resilianta mot torka då den har förmåga att binda mer vatten (Soussana, et. al., 2017). Vidare är det även viktigt att ha i åtanke att den kolinlagringspotential som beskrivs i resultatet utgår från att kolinlagringen är stabil. När det kommer till jordbruksmark är det flera aspekter som behövs vägas in vad gäller kolinlagringskapacitet, bland andra att diverse typer av vegetation växer och skördas, därefter plöjs marken för att skapa goda förutsättningar för nästkommande skörd. Detta kan bidra till att kol både binds till marken vid tillkomsten av vegetation och frigörs tillbaka i atmosfären vid skörd och plöjning (Willems et. al., 2011).

Utvecklingen av byggnader har inneburit att fler hårdgjorda ytor har skapats vilket innebär att kolinlagringsförmågan kan påverkas negativt, se figur 3 och 4. Dock är det troligen främst jordbruksmark som tagits i anspråk vid utveckling av byggnader, och då en betydande del av den nytillkomna vegetationen 2017 återfinns i anslutning till byggnader kan det antas att detta kan bidra till viss ökning av kolinlagring. Detta på grund av jordbruksmark, som nämnts tidigare, plöjts årligen (Willems et. al., 2011), eller till och med flera gånger per år, vilket bidrar till att den kol som bundits i jordbruksmarken släpps tillbaka ut i atmosfären.

De gröna ytor som försvunnit har inneburit en förlust av potentiell kolinlagring för kommunen. Dessa har ersatts med markanvändningstyper som inte har möjlighet att binda samma mängd. Dock kan vissa gröna ytor som klassades som låga 2000 ha bestått av åkermark då VARI-uträkningen kan bidra med felbedömningar på <10 procent (Gitelson et. al., 2001). Att ta reda på hur mycket kolinlagringspotential som kan gå förlorad vid utveckling av markanvändning kan ses som ett viktigt verktyg i planeringsprocesser och borde tillägnas mer fokus. Genom att ha med ett perspektiv som beskriver kolinlagring skulle den förlorade kolinlagringen delvis kunna kompenseras vid planerad utveckling av markanvändning.

De scenarion som undersöks visar på att det går att påverka kolinlagringspotentialen i en positiv riktning genom ökning av gröna ytor. Implementering av fler gröna ytor som består av hög vegetation kan bidra till kolinlagringspotentialen med upp till cirka 6,8 miljoner ton (0,68 Mt), se tabell 9. Att implementera fler ytor med hög vegetation skulle även kunna innebära möjligheter för rekreation och stärkt biologisk mångfald om inte endast en eller några få vegetationsarter implementeras (Naturvårdsverket, 2019).

Att implementera gröna tak skulle kunna innebära en effektiv lösning för ökat kolupptag från atmosfären. Det finns en möjlighet att det 2017 redan fanns gröna tak i Helsingborgs kommun, men dessa har inte tagits med i uträkningarna i denna studie. Detta innebär att viss kolinlagring med största sannolikhet inte har räknats med i den totala kolinlagringspotentialen. Vid implementering av gröna

tak tas ingen ny mark i anspråk, istället nyttjas ytor som annars inte brukas till någonting. Att installera gröna tak på 100 procent av alla byggnader kan anses vara orealistiskt, dels är inte alla byggnader anpassade till att kunna få gröna tak installerade, och dels är det ett kostsamt arbete som vad gäller både tid och ekonomi. Men gröna tak är en tydlig NBS då de bidrar färre hårda ytor vilket innebär ökad resiliens vid bland annat nederbörd och torka (Natuvårdsverket, 2021). Dessutom kan gröna tak bidra till lindring vad gäller uppkomsten av UHI (Gunawardena et. al., 2017). Detta innebär att gröna tak kan ses som en effektiv lösning för optimering av markanvändning och kolinlagring.

Avslutningsvis är det även viktigt att ha i åtanke att kolinlagring endast fungerar i viss mån. Markanvändning, och i synnerhet vegetation, binder inte lika mycket kol när den är ”färdigvuxen”, istället skapas en kolbalans där liknande mängd kol både binds och frigörs till atmosfären årligen (Nunes, et. al., 2020). Fokus bör ligga på att försöka återskapa denna balans. Detta kan ske genom bevarande, restaurering och implementering av gröna ytor, förbättrad förvaltning av markanvändningen samt återskapande av kolsänkor (Griscom et al., 2017). Dessa åtgärder har potential att leda till att de pågående klimatförändringarna påverkas i en positiv riktning.

4.1 Metoddiskussion

Studien baseras på geografiska data insamlade under 2000 och 2017, detta har tydligt påverkat datakvaliteten och mängden data skiljer sig från de två olika åren. De är även insamlade under olika tider på året vilket kan ha påverkat resultatet då vegetationen reflekteras olika beroende på hur grön den är vid insamlingstillfället, något som påverkar VARI-värdet.

Studien bygger på stora datamängder vilka har varit svåra att hantera i vissa avseenden. På grund av detta har majoriteten av genomförda analyser varit tidskrävande. Även visualisering av resultatet i form av kartor har varit krävande då dessa ska återge och beskriva dessa stora datamängder på ett förståeligt och pedagogiskt sätt. På grund av detta togs beslut om att skapa inzoomade kartor över Helsingborgs tätort i hopp om att skapa en djupare förståelse för utvecklingen av markanvändning i kommunen och tätorterna.

Det går att urskilja felmätningar av VARI-värden vad gäller klassning av markanvändning. Vissa pixlar som vid jämförelse med flygfoto framgår tydligt vara vegetation men har klassats som hårdgjord yta och vice versa. Genom att klassa byggnader och jordbruksmark som icke vegetation minimerades dessa felmätningar. Dock beräknas ekvationen ha en felmarginal på <10 procent, men vid jämförelse med flygfoton har de pixlar som klassats fel inte ansetts påverka studien nämnvärt då de ej var vanligt förekommande.

För att säkerställa ytterligare att vegetationspixlar separerats från icke vegetationspixlar hade ett Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) kunnat användas. Denna metod kräver dock att rasterdatan (ortofotona) även innehåller ett infrarött band, något som studiens data inte innehöll, därav valet att använda VARI. En jämförelse med exempelvis satellitdata (som i de flesta fall innehåller ett infrarött band) hade kunnat stärka metoden än mer, men på grund av studiens omfång och tidsram har detta inte prioriterats. Satellitdata är dessutom inte optimala data vid analys av vegetation i urbana områden, detta då de inte har samma detaljnoggrannhet som flygbilder. Däremot genomfördes jämförande analyser av VARI-värdena med de ortofoton som legat till grund för indexet, och dessa tyder på att indexet stämmer väl överens med ortofotona.

Analysen av utveckling av markanvändning visar på att jordbruksarealen har minskat med cirka 3,6 procent (se tabell 5) dock påvisar siffror från Helsingborgs stad och SCB att denna siffra är högre, cirka 8,5 procent. Att dessa siffror skiljer sig åt kan vara på grund av den data som använts för att beskriva jordbruksmarken. Denna data kommer ursprungligen från EU och deras 'Common Agricultural Policy' (CAP) och beskriver de jordbruksmarker som givits EU-bidrag för respektive år. Bestämmelserna för vilken typ av mark som kan ansökas bidrag för har ändrats mellan dessa aktuella åren, bland annat har nya klassificeringar av jordbruksmark tillkommit efter 2000, och kan därför ha påverkat datan (Peter Olsson (P. Olsson), Lunds universitet, 2022, muntligen). Det framgår dock i Helsingborgs stads översiktsplan (2002) att jordbruksmark stod för 75 procent av markanvändningen vid antagandet av denna. Enligt SCB (2015) stod jordbruksmarken stå för 66,5% av kommunens totala markanvändning, vilket inte skiljer sig avsevärt från resultatet i tabell 5 (71 respektive 67,5 procent), därav anses data vara tillräckligt pålitlig för att kunna säga något om vegetationsutvecklingen i kommunen.

När det kommer till beräkningar av potentiell kolinlagring avser modelleringen endast beräkna kolinlagringsförmåga hos markanvändning som anses vara stabil, detta innebär att modelleringen inte har med potentiell bindning eller utsläpp av kol till atmosfären med i beräkningen. Vidare är de värden som tilldelats respektive markanvändningstyp baserat på litteraturstudier och kan innehålla vissa osäkerheter. Detta medför att modelleringen inte är helt pålitlig vad gäller potentiell kolinlagring, men den inger ändå förståelse och en inblick i hur markanvändningen påverkar kolinlagringsförmågan. Vidare skapas även förståelse för beroende på hur markanvändningen utvecklas kan den potentiella kolinlagringskapaciteten påverkas avsevärt.

Vid beräkning av kolinlagring tilldelades byggnader kolinlagringsvärde 0, detta på grund av antaganden om att byggnaders förmåga att binda kol antas vara väldigt låg. Byggnader består av olika typer av material, vilket innebär att de kan besitta olika hög förmåga att binda kol, exempelvis kan det antas att träbyggnader kan binda mer kol än byggnader som består av tegel och cement. Detta kan ha

påverkat resultatet gällande kolinlagring, men den anses inte vara så pass betydande att den påverkar slutresultatet avsevärt.

Vidare användes höjddata från 2019 för att genomföra CHM för att beskriva trädkronetäckning i kommunen. Då denna sedan simulerades tillsammans med markanvändningsdata från 2017 kan vissa fel ha uppstått. Detta innebär att vissa punkter kan ha beräknats vara högre än vad de egentligen var då till exempel ett träd med största sannolikhet har vuxit sig högre under de två åren som skiljer data åt. Desto högre ett träd är desto större är det, vilket påverkar dess förmåga att binda kol. Detta innebär att beräkningen av potentiell kolinlagringsförmåga inte blir lika pålitlig. Hade ortofoton från 2020 använts i studien, som tanken var från början, hade denna kombination av data antagligen inte varit mindre missvisande och istället underskattat kolinlagringsförmågan. Höjddatan var dock insamlad med hjälp av LiDAR som har en förmåga att underskatta höjd på just träd och trädkronor. Data var insamlad i slutet av april strax efter lövsprickning vilket stärker studiens resultat något.

4.2 Vidare forskning

Att undersöka markanvändningsutveckling och dess förmåga att binda kol är ett arbete som ständigt bör fortgå, detta då markanvändningen med största sannolikhet förväntas förändras till följd av mänsklig påverkan. En annan markanvändningstyp som kan bidra med hög kolinlagringspotential är blå ytor, såsom våtmarker, sjöar och hav (SMHI, 2021; IUCN, 2021), och hade varit intressant att undersöka vidare. NBS bör betraktas som ett verktyg med stor potential för mitigering av växthusgaser, behovet av dessa lösningar är stort och bör därför undersökas än mer. Vidare kan NBS även påverka andra aspekter, såsom nedkylningsförmåga, vilket också är en intressant aspekt att efterforska.

5 Slutsats

Den här studien visar på att det har skett en utveckling av gröna ytor och resterande markanvändning i Helsingborgs kommun mellan 2000 och 2017. Totalt har markanvändningen i kommunen en potential att binda upp till 5,06 Mt kol, varav hög vegetation är den markanvändningstyp som har den högsta kolinlagringspotentialen per kvadratmeter.

Trots en ökning av byggnader och hårdgjorda ytor har mängden gröna ytor förblivit den samma, möjligen ökat något. Resultaten visar inte vilken typ av vegetation som tillkommit eller försvunnit, bortsett från indelningen hög och låg vegetation, vilket ger en generaliserad bild av kolinlagringspotentialen. De gröna ytor som försvunnit hade en potential att binda 0,49 Mt kol, idag binder samma ytor 0,14 Mt kol vilket indikerar att utvecklingen av markanvändning med största sannolikhet har påverkat kolinlagringspotentialen. Det går inte att fastställa om den förändrade vegetationstäckningen har varit till nytta i förhållande till lindring av klimatförändringarna, för att kunna fastslå detta krävs vidare undersökningar.

Avslutningsvis är det viktigt att ha kolinlagring i åtanke vid all typ av planering av markanvändningsutveckling. Att ta hjälp av naturens egen förmåga att binda kol bidrar till att klimatförändringarna till viss del kan mitigeras på ett mer långsiktigt och hållbart sätt. Att låta mitigeringsåtgärder få ta mer plats i arbetet mot klimatförändringarna kan innebära fler mångsidiga och effektiva lösningar. För att ha möjlighet att öka mängden kol som binds till markanvändningen behöver den vårdas och mer växtlighet behöver få ta plats och växa fram i kommunen. För att lyckas med detta behöver all typ av markanvändning optimeras och vara välfungerande och välmående. Detta kan bidra till att Helsingborg blir en mer hållbar och välfungerande kommun.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Peter Olsson vid Centrum för Miljö- och Klimatvetenskap på Lunds universitet för god handledning och stöttning under arbetets gång. Jag vill även tacka min handledare för nya insikter och djupare förståelse i ämnet jag ägnat min uppsats.

Vidare vill jag tacka Fredrik Bengtsson och Helsingborgs stad för förtroendet att skriva min uppsats i samarbete med er. Tack för ett spännande och utmanade projekt.

Jag vill även tacka mina klasskamrater och handledningsgrupp för givande återkoppling, stöttning och motivation.

Referenser

- Aktuell Hållbarhet. (u.å). *Resultat- Helsingborg*. Hämtat den 12 januari 2022 från <https://kommunrankning.miljobarometern.se/resultat/helsingborg/>
- Bivand, R., Keitt, T. & Rowlingson, B. (2021). *Rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library*. (R package version 1.5-28.) [Datorprogram]. R Core Team. <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>
- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad Saeed, S. & Aziz, N. (2015). Land use change mapping and analysing using remote sensing and GIS: a case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 18(2), 251-259. <https://doi-org/10.1016/j.ejrs.2015.07.003>
- Bogren, J., Gustavsson, T. & Loman, G. (2008). *Klimat och väder* (1:a uppl). Studentlitteratur.
- Cohen-Shacham, E., G. Walters, C. Janzen & S. Maginnis, Eds. (2016). Nature based Solutions to address global societal challenges. Gland, Switzerland, IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Cortinovis, C., Olsson, P., Boke-Olén, N. & Hedlund, K. (2022). Scaling up nature-based solutions for climate-change adaptation: Potential and benefits in three European cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 67. <https://doi-org/10.1016/j.ufug.2021.127450>
- De Blij, H.J., Muller, P.O., Burt, J.E. & Mason, J.A (1996). *Physical geography of the global environment* (4:e uppl.) Oxford University Press.
- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., Stark, R., & Rundquist, D. (2001). Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 76-87. [https://doi-org/10.1016/S0034-4257\(01\)00289-9](https://doi-org/10.1016/S0034-4257(01)00289-9)
- Griscom, B. W., Adams, J., Ellis, P. W., Houghton, R. A., Lomax, G., Miteva, D. A., Schlesinger, W. H., Shoch, D., Contant, R. T., Delgado, C., Elias, P., Gopalakrishna, T., Hamsik, M. R., ... Fargione, J. (2017). Nature climate solutions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(44), 11645-11650.
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584-585, 1040-1055. <https://doi-org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Harrie, L. (2013). *Geografisk Informationsbehandling. Teori, metoder och tillämpningar* (6:e uppl.). Studentlitteratur, Lund.
- Haque, M. I. & Basak, R. (2016). Land cover change detection using GIS and

- remote sensing techniques: A spatio-temporal study on Tanguar Haor, Sunamganj, Bangladesh. *2016 international Conference on Innovations in Science, Engineering and Technology (ICISSET), Innovations in Science and Engineering and Technology (ICISSET), International Conference on, 1-4*. <https://doi.org/10.1109/ICISSET.2016.7856482>
- Helsingborgs stad (2014 26 mars). *Grönstrukturprogram för Helsingborg*. Styrdokument https://helsingborg.se/wp-content/uploads/2014/10/Gronstrukturprogram_sid1_47_webb-sbf.pdf
- Helsingborgs stad. (2021a). *Fakta om Helsingborg, statistik*. Hämtat den 8 februari 2022 från <https://helsingborg.se/kommun-och-politik/statistik/>
- Helsingborgs stad. (2021b 14 december). *Översiktsplan 2021 för Helsingborgs stad*. Styrdokument. <https://dokumentsbf.helsingborg.se/wp-content/uploads/sites/75/2021/12/op2021-texthandlingen-low.pdf>
- Helsingborgs stad. (2018 26 oktober). *Klimat- och energiplan 2018–2024*. (Rapport 100-17) Styrdokument. <https://helsingborg.se/wp-content/uploads/2019/11/kep-2018-2024.pdf>
- Helsingborgs stad. (2002, 12 juni). *Översiktsplan 2002 för Helsingborgs stad*. Styrdokument.
- Hendriks, K., Gubbay, S., Arets, E. & Janssen, J. (2020). *Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems: a lever for nature restoration?* (ISSN 1566-7197) European Environment Agency.
- Hiederer, R. & Köchy, M. (2011). *Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database*. (EUR 25225 EN) Publications Office of the European Union. <https://doi:10.2788/13267>
- Hijmans, R. J. (2022). *Raster: Geographic analysis and modeling with raster data*. (R package version 3.5-15.) [Datorprogram]. R Core Team. <http://CRAN.R-project.org/package=raster>
- IPCC, 2021: *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf
- International Union for Conservation of Nature (2021, november). *Peatlands and climate change*. IUCN. https://www.iucn.org/sites/dev/files/iucn_issues_brief_peatlands_and_climate_change_final_nov21.pdf?fbclid=IwAR1QWjEWQPf1PYR6reAX7sflfFz81OdR9WTOFxYVS-ZLZqOYQfjKH27ve1Q
- Liu, C., & Li, X. (2012). Carbon storage and sequestration by urban forests in Shenyang, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(2), 121–128. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.03.002>

- Myndighetsnätverket för klimatanpassning (2018). *Green roofs*.
<https://www.klimatanpassning.se/en/cases/green-roofs-1.97888>
- Naturvårdsverket (2019). *Begränsad klimatpåverkan- underlagsrapport till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019* (Rapport 6859).
<https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/6800/begransad-klimatpaverkan/>
- Naturvårdsverket (2021). *Naturbaserade lösningar -ett verktyg för klimatanpassning och andra samhällsutmaningar* (rapport 7016).
<https://www.naturvardsverket.se/globalassets/media/publikationer-pdf/7000/978-91-620-7016-2.pdf>
- Naturvårdsverket (u.å.). *Våtmarker och klimat*. Hämtat den 11 februari 2022 från
<https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/vatmark/vatmarker-och-klimat/>
- Nunes, J.R., Meireles, I.R., Pinto Gomes, J & Almeida Ribeiro. (2020). Forest Contribution to Climate Change Mitigation: Management Oriented to Carbon Capture and Storage. *Climate*, 8(2), 21. <https://doi-/10.3390/cli8020021>
- Paustian, K., Andrén, O., Janzen HH., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Van Noordwijk, M. & Wooster, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management*, 13(4SUPPL):230-244.
<https://doi:10.1111/j.1475-2743.1997.tb00594.x>
- Pebesma, E. J. & Bivand, R. S. (2005). *Classes and methods for spatial data in R*. (R News, 5(2), 9-13.) [Datorprogram]. R Core Team. <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>
- QGIS (u.å.) *Download QGIS for your platform*. QGIS. [Datorprogram]
<https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>
- R Core Team (2021). *R: a language and environment for statistical computing*. R foundation for statistical computing, Vienna. [Datorprogram] <https://www.R-project.org/>.
- Roussel, J-R., & Auty, D., (2022). *lidR: Airborne LiDAR Data Manipulation and Visualization for Forestry*. (R package version 4.0.1) [Datorprogram]. R Core Team. <https://CRAN.R-project.org/package=lidR>
- Santopuoli, G., Temperli, C., Alberdi, I., Barbeito, I., Bosela, M., Bottero, A., Klopčič, M., Lesinski, J., Panzacchi, P. & Tognetti, R. (2021). Pan-European sustainable forest management indicators for assessing Climate-Smart Forestry in Europe. *Canadian Journal of Forest Research*, 51(12), 1741-1750.
<https://doi.org/10.1139/cjfr-2020-0166>
- Statistiska centralbyrån. (u.å.). *Kommuner i siffror, Helsingborg*. Hämtat den 8 februari 2022 från <https://kommunsiffror.scb.se/?id1=1283&id2=null>
- SMHI. (2021). *Havens upptag av koldioxid*.
<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/klimat effekter-i-havet/havens-upptag-av-koldioxid-1.5186>
- Soussana, J.-F., Lutfalla, S., Ehrhardt, F., Rosenstock, T., Lamanna, C., Torguebiau, E., Ciais, P., Smith, P. & Lal, R. (2017). Matching policy and science: Rationale for the '4 per 1000' - soils for food security and climate initiative. *Soil and Tillage Research*, 188, 3–15. <https://doi-/10.1016/j.still.2017.12.002>

- Sveriges Miljömål. (2021). *Begränsad Klimatpåverkan*. Hämtat den 4 februari 2022 från <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/begransad-klimatpaverkan/>
- Sveriges Miljömål. (u.å.). *Sveriges Miljömål*. Hämtat den 4 februari 2022 från <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/>
- Tilman, D., Hill, J. & Lehman, C. (2006). Carbon-Negative Biofuels from Low-Input High-Diversity Grassland Biomass. *Science*, 314(5805), 1598-1600. <https://doi/10.1126/science.1133306>
- Vaz Monteiro, M., Doick, K. J., Handley, P., & Peace, A. (2016). The impact of greenspace size on the extent of local nocturnal air temperature cooling in London. *Urban Forestry & Urban Greening*, 16, 160–169. <https://doi-org/10.1016/j.ufug.2016.02.008>
- Vetenskaprådet (2017). *God forskningssed*. https://www.vr.se/download/18.2412c5311624176023d25b05/1555332112063/God-forskningssed_VR_2017.pdf
- Viana, C. M., Oliveira, S., Oliveira, S. C., & Rocha, J. (2019). 29 – Land Use/Land Cover Change Detection and Urban Sprawl Analysis. *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, 621-651. <https://doi-org./10.1016/B978-0-12-815226-3.00029-6>
- Willems, A. B., Augustenborg, C. A., Hepp, S., Lanigan, G., Hoschstrasser, T., Kammann, C. & Müller, C. (2011). Carbon dioxide emissions from spring ploughing of grassland in Ireland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 144(1), 347-351. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.10.001>