



Kolinlagring inom markanvändningssektorn i Örebro kommun – nulägesrapport och framtidsscenarier som underlag till klimatplan

Agneta Green

2011

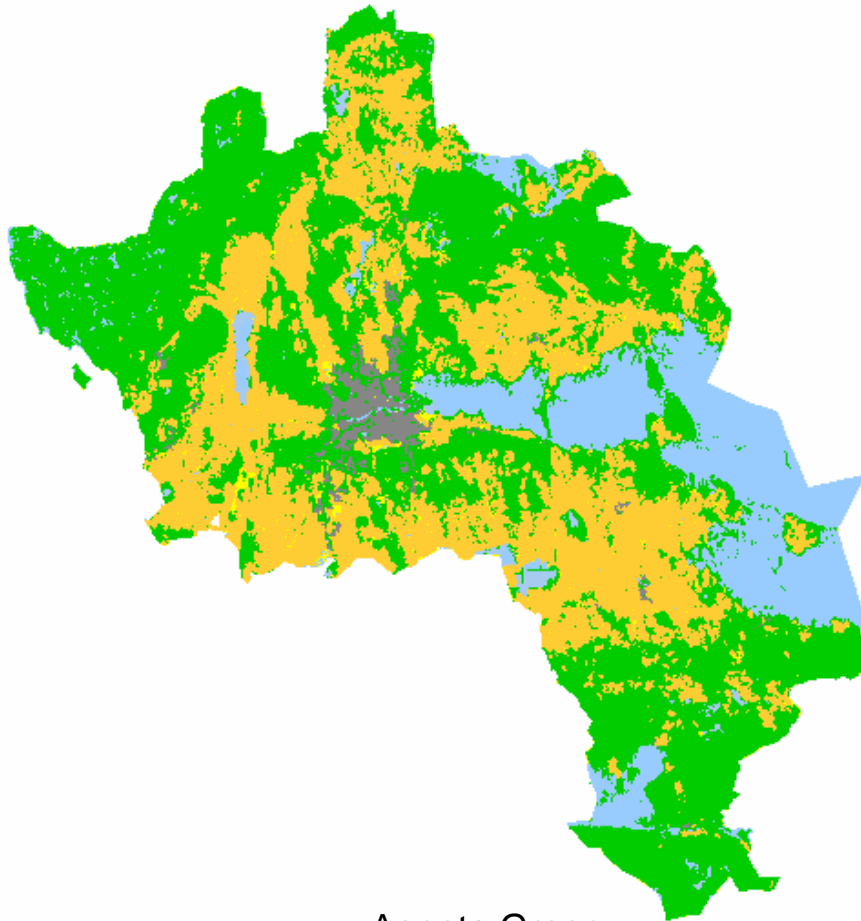
Miljövetenskap

Examensarbete för kandidatexamen 15 hp

Lunds universitet

Kolinlagring inom markanvändningssektorn i Örebro kommun

– nulägesrapport och framtidsscenarioer som underlag till klimatplan



Agneta Green
Kandidatuppsats i Miljövetenskap 2011

Lund universitet
Miljövetenskapliga institutionen

Handledare:
Anders Lindroth, Lunds universitet, GeoCentrum
Malin Isaksson, Örebro kommun, Klimatkontoret

Abstract

The purpose of this thesis is to investigate the current carbon storage in the land-use sector in Örebro municipality and which consequences different land-uses have on the climate. The municipality wants to investigate the possibility to include the land-use sector in the next climateplan.

This study has found that the carbon storage for ground and vegetation in Örebro municipality (exclusive of lakes and wetlands) today is 8 230 ton C/year. If the current comprehensive plan is implemented, the carbon storage is going to decrease by more than 60 %. One way to compensate for this is to decrease deforestation with 9 % which in year 2030 would correspond to the same amount of carbon. When lakes are included the landscape goes from being a carbon sink to becoming a carbon source to the atmosphere, but here the uncertainty is greater than for other land categories.

Development scenarios show that it is possible to increase the carbon storage. When the community makes decisions regarding the land-use there are other aspects that must be taken into consideration in addition to carbon storage, like the effect of all greenhouse gases, their different global warming potentials and the effects on other environmental goals.

To include the land-use sector in the climate plan is innovative and need further investigation. The shifting landscape around Örebro and that the municipality plans for future land-use create good opportunities to increase the carbon storage. Recommended increase of carbon storage are those who also lead to positive effects in other environmental goals.

Keywords: carbon storage, land use and land use change-sector, climate plan, greenhouse gases, climate change, forestry, recreating wetlands, Salix.

Sammanfattning

Syftet med detta arbete är att utreda markanvändningens kolinlagringsförmåga i Örebro kommun och vilka konsekvenser olika typer av markanvändning kan få för klimatet. Detta för att undersöka möjligheten att inkludera markanvändningssektorn i kommunens nästa klimatplan.

Resultatet visar att kolinlagringsförmågan för Örebro kommuns marker (exklusive sjöar och våtmarker) idag är 8 230 ton C/år. Om den aktuella översiktplanen genomförs kommer kolinlagringsförmågan att minska med drygt 60 %. Ett sätt att kompensera för detta kan vara att minska avverkningstakten med ca 9 % vilket 2030 skulle lagra motsvarande mängd kol. Då även sjöar tas med i beräkningen går kommunen från att vara en kolsänka till att bli en kolkälla gentemot atmosfären, häri ligger dock större osäkerheter än för övriga marker.

Flera utvecklingsscenarier visar möjligheter att öka kolinlagringsförmågan. När kommunen beslutar över markanvändningen är det dock viktigt att man tar hänsyn till alla växthusgaser, deras olika uppvärmningspotentialer och effekter på andra miljömål. Därför behöver djupare studier göras inom olika utvecklingsscenarier.

Att inkludera markanvändningssektorn i klimatplanen är innovativt och behöver utredas vidare. Det varierande landskapet runt Örebro och kommunens roll som planerare av framtida markanvändning ger goda möjligheter till en höjning av kolinlagringen. Rekommenderade kolinlagringshöjande åtgärder är sådana som även leder till positiva effekter för andra miljömål.

Nyckelord: kolinlagring, markanvändningssektorn, klimatplan, växthusgaser, klimatförändring, skogsbruk, restaurering av våtmarker, energiskog.

Innehållsförteckning

ORDLISTA	6
INLEDNING	7
VÄXTHUSGASER OCH KOLINLAGRING	7
SVERIGES RAPPORTERING TILL KLIMATKONVENTIONEN	7
VÅTMARKER SAMT SJÖAR OCH VATTENDRAG	8
MARKAVVATTNAD JORDBRUKSMARK	8
Återvätning av organogen jordbruksmark	8
Energiskog	8
SKOGSBRUK	8
ÖREBRO KOMMUN	9
Örebros klimatplan	9
Översiktsplanen	9
SYFTE OCH MÅL	10
BAKGRUND TILL METODEN	11
NATIONELL METOD FÖR KOLRAPPORTERING AV MARKANVÄNDNINGSEKTORN	11
Markklasser	11
Vad är det som rapporteras?	11
Inventeringarna	11
Brukade och obrukade marker	11
MATERIAL OCH METODER	12
MARKKLASSER	12
AREAN	12
NATIONELLA KOLINLAGRINGSDATA	12
BERÄKNINGAR AV KOLINLAGRINGEN	13
Nuvarande markanvändning och utbyggnation via översiktsplanen	13
Sjöar och vattendrags inverkan på kolbalansen	13
Våtmarkers inverkan på kolbalansen	13
Markavvattnad jordbruksmark - Återvätning av organogen jordbruksmark	13
Markavvattnad jordbruksmark - Energiskog	14
Skogsbruksmetoder	14
RESULTAT	15
NUVARANDE MARKANVÄNDNING OCH KOLINLAGRING	15
MARKANVÄNDNINGEN OCH KOLINLAGRING ENLIGT UTBYGGNATIONEN VIA ÖVERSIKTSPLANEN	16
VÅTMARKERS SAMT SJÖAR OCH VATTENDRAGS INVERKAN PÅ KOLINLAGRINGEN	18
MARKAVVATTNAD JORDBRUKSMARK	19
Återvätning av organogen jordbruksmark	19
Energiskog	19
SKOGSBRUKSMETODER	19
Scenario- varierad avverkningsnivå för Örebros skogar	19
Scenario- uttag av GROT	19
Scenario- uttag av stubbar	19
Scenario- intensivodling	19
DISKUSSION	20
HUR STÅR SIG MINA VÄRDEN (EXKLUSIVE VATTEN OCH VÅTMARKER) MOT DE NATIONELLA?	20
Markkategoriers areor	20
Nationella kolinlagringsdata	20
EFFEKTER AV ÖVERSIKTSPLANEN	20
ATT INKLUDERA VÅTMARKER SAMT SJÖAR OCH VATTENDRAG I KOLBUDGETEN	21
Våtmarker	22
Sjöar	22
MARKAVVATTNAD JORDBRUKSMARK	22
Återvätning av organogen jordbruksmark	22
Energiskog	23
SKOGSBRUK	23
KOMMUNENS RÅDIGHET	25
REKOMMENDATIONER TILL KOMMUNENS KLIMATARBETE INOM MARKANVÄNDNINGSEKTORN	26
AVSLUTANDE DISKUSSION OM ÖVRIGA ASPEKTER	27
TACK	28
REFERENSER	29
BILAGA	35

Ordlista

Boreal- tempererade zonen på norra halvklotet som innehåller stora mängder barrskog.

C- kemiska betäckningen för kol.

GIS- Geografiska informationssystem, datasystem för att bearbeta geografisk data.

GWP₁₀₀- Global Warming Potential. Olika växthusgaser har olika stark klimatpåverkan sett över ett 100-årigt perspektiv (IPCC 2007a). För att kunna jämföra dessa gaser inbördes, samt beräkna deras sammanlagda klimateffekt räknas mängden av en viss växthusgas om till motsvarande mängd koldioxid (IPCC 2007a). För koldioxid är således $GWP_{100} = 1$ och för metan är $GWP_{100} = 25$ (IPCC 2007a).

IPCC- International Panel on Climate Change, FN:s klimatpanel

Klimatförändringen- atmosfärens ökning av växthusgaser skapad av mänskliga aktiviteter, vilken skapar klimatvariationer utöver det naturliga (UNFCCC 1992).

Kolinlagring- hur mängden kol i en viss typ av mark förändras över tiden.

Markanvändningssektorn- den totala arean av ett område inklusive vatten och våtmarker.

ppm- parts per million=miljondelar

Rådighet- möjligheten att påverka.

Växthusgaser- gaser som i atmosfären emitterar den utgående värmestrålningen tillbaka mot jorden (IPCC 2007a). I detta arbete studerar jag enbart kolcykeln vilket gör att växthusgaserna koldioxid (CO₂) och metan (CH₄) ingår. Andra viktiga växthusgaser är vattenånga (H₂O), lustgas (N₂O) och hydroflorkarboner (HFCs), peroflorkarboner (PFCs) och sulfurhexafluorid (SF₆) (IPCC 2007).

Inledning

Många människor är drabbade av klimatförändringarna redan idag genom exempelvis extremare torka eller översvämningar och de negativa konsekvenserna beräknas öka i framtiden (IPCC 2007). För att hindra denna utveckling är det inte enbart utsläppen av växthusgaser från energi- och transportsektorerna som måste minska. Vi måste även stoppa den förändring av markanvändningen som har en negativ påverkan på klimatet.

Människans exploatering av orörda marker leder till växthusgasutsläpp och en sämre kolinlagringsförmåga. Exempelvis bidrar skogsavverkning och ökad area till jordbruk till växthusgasutsläppen (Schlesinger 1997, Kasimir-Klemedtsson et. al. 2001, Le Quèrè et. al 2009). Skogsbruk inklusive avskogning stod 2008 för 12 % av de totala växthusgasutsläppen (Le Quèrè et. al 2009). Samtidigt kan exempelvis gräsmark som konverterats till jordbruksmark åter öka sin kolinlagring i marken om den övergår till gräsmark igen (Schlesinger 1997, Kätterer et al. 2008).

Kommuner runt om i Sverige arbetar med att minska växthusgasutsläppen från framförallt fossila sektorer som energi och transporter. Att även inkludera markanvändningssektorn i detta arbete är innovativt och behöver utredas djupgående för att uppnå bästa resultat.

Växthusgaser och kolinlagring

Enligt IPCC (2007) är koldioxid den viktigaste växthusgasen som människan ger upphov till. År 2004 motsvarade koldioxid 77 % av de totala växthusgasutsläppen (IPCC 2007). Innan industrialiseringen var koncentrationen av koldioxid i atmosfären 280 ppm (IPCC 2007), att jämföra med 2009 års koncentration på 387 ppm (Global carbon project 2010).

Koldioxid som finns i atmosfären binds genom fotosyntes in som kol i biomassa (Schlesinger 1997). När biomassan sedan bryts ner avgår delar av kolet åter till atmosfären som koldioxid och delar lagras som kol i mark och sediment (Schlesinger 1997). Då nedbrytningen sker utan syre, vilket är vanligt exempelvis våtmarker och sjösediment, bildas metan istället för koldioxid (Schlesinger 1997). Mark inklusive vegetation är en kolsänka om inlagringen av kol är snabbare än nedbrytningen, om istället nedbrytningen går snabbare än inlagringen är marken en källa till kol (Karlton et al. 2010).

Under mitt kandidatarbete har jag haft nettoinlagringen av kol som fokus vilket innebär att koldioxid och metan är de växthusgaser som inkluderas. Jag redovisar även klimateffekten för de delar av kolmassan där metan ingår eftersom metan är en 25 gånger starkare växthusgas än koldioxid sett i ett 100-årigt perspektiv (GWP_{100} , ytterligare förklaring se ordlistan) (IPCC 2007a).

Sveriges rapportering till Klimatkonventionen

Sverige rapporterar årligen in den nationella kolinlagringsförändringen för markanvändningssektorn (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF) till Klimatkonventionen, UNFCCC (Naturvårdverket 2011).

År 2008 var Sveriges totala utsläpp 63 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Pettersson et al. 2009). Under 1990-talet och i början av 2000-talet motsvarade det nationella nettoupptaget (utsläpp minus upptag) från markanvändningssektorn ca 40-56 % av detta utsläpp (Pettersson et al. 2009). Kolinlagringen har därefter minskat på grund av ökade avverkningar samt delvis stormen ”Gudrun” och 2008 stod nettoupptaget endast för 24 % av de totala utsläppen (Pettersson et al. 2009). I den senaste rapporten som gäller för 2009 har Sveriges totala utsläpp

sjunkit till 59,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter samtidigt som markanvändningssektorns funktion som kolsänka ökat till 40,2 miljoner ton koldioxidekvivalenter (Naturvårdsverket 2011). Detta motsvarar 67 % av de totala utsläppen och visar vilken betydelse kolinlagringen har för både klimat och klimatpolitik.

Våtmarker samt sjöar och vattendrag

Våtmarker samt sjöar och vattendrag ingår inte i dagens nationella rapportering till Klimatkonventionen (Naturvårdsverket 2011). Detta kan ge en skev bild av landskapets kolinlagring vilket kan leda till felaktiga beslut och åtgärder. De globala utsläppen av metan från sjöar uppskattas till exempel motsvara 25 % av den totala kolsänkan som marken utgör (omräknat i koldioxidekvivalenter) (Bastviken et al. 2011). Algesten et al. (2003) menar att det är viktigt att räkna med koldioxidavgången från sjöar i boreala landskap eftersom kolbalansen i dessa skogar är känslig och kan gå från att vara en sänka till att bli en källa då vatten räknas med.

Markavvattnad jordbruksmark

Under 1800-talet och en bit in på 1900-talet avvattnades stora områden med sjöar och våtmarker för att användas som jordbruksmark (Kasimir-Klemedtsson et al. 2001). Klimatpåverkan från jordbruksmark på blottlagda organogena jordar, som blir resultatet efter en utdikning, är hög eftersom nedbrytningshastigheten av organiskt material ökar med tillgången på syre (Kasimir-Klemedtsson et al. 2001).

Återvätning av organogen jordbruksmark

Utdikningen har, genom minskad kväve- och fosforering, bidragit till den övergödning vi idag kan se i sjöar och hav samt gjort att livsmiljön för ett stort antal arter har minskat. För att komma till rätta med de problemen är ett av Sveriges delmiljömål att anlägga och återställa våtmarker i odlingslandskapet (Naturvårdsverket 2010). Förutom att rena vatten från näringsämnen avgår växthusgaserna lustgas, metan och koldioxid från restaurerade våtmarker (Søvik et al. 2006).

Energiskog

Odling av energiskog med snabb tillväxt, så som salixarter, lagrar kol i biomassa och mark (Grelle et al. 2007). Det har även potential att ta upp näringsämnen (Grelle et al. 2007) och bidra till minskad övergödning i likhet med våtmarker. Energiskog används idag som energi i värmekraftverk (Grelle et al. 2007) och kan därmed ersätta fossila bränslen, se substitutionsprincipen under skogsbruk.

Skogsbruk

Skogar lagrar kol i både biomassan och marken (Naturvårdsverket 2011). Även månghundraåriga skogar fortsätter att ackumulera kol och innehåller därför stora mängder kol (Luyssaert et al. 2008, Jonsson och Wardle 2010). Inlagringstakten är högre i början, omkring de första 200 åren, för att sedan avta (Ågren et al. 2008).

Ett intensivare skogsbruk tros innebära, förutom en ökad avverkning, ett ökat uttag av GROT (grenar och toppar) och stubbar till energiproduktion (Lundström et al. 2009). Ett ökat uttag av dessa innebär mindre organiskt material vilket i sin tur leder till att mindre kol inlagras (Lundström et al. 2009). Intensivodling av skog genom exempelvis ökad kvävetillförsel ökar däremot biomassan samt inlagringen av kol i marken (Olsson et al. 2005, Hyvönen et al. 2008). Kvävegödsling kan dock utgöra en risk för andra miljömål (Skogsstyrelsen 2007).

Genom att trävaror kan ersätta fossila bränslen och andra energikrävande och koldioxidalandande råvaror som betong, den så kallade substitutionsprincipen, kan även avverkning av skogar anses berättigad i ett växthusgasperspektiv (Sathre och O`Connor 2010). Substitutionsprincipen bygger på det tidsperspektivet att träd är koldioxidneutrala, de binder kol från koldioxid när de växer och avger samma mängd koldioxid när det bryts ner eller förbränns. Fossila bränslen däremot anses bara avge kol eftersom inlagringen av kol sker utanför en överskådlig tid (Sathre och O`Connor 2010). Växthusgasutsläppen som undviks genom att göra substitution anses därför av vissa vara en permanent vinst (Sathre och O`Connor 2010). Detta gör att man idag kan höra förespråkare både för intensivare skogsbruk och för ett hållbarare skogsbruk, båda med klimatet i fokus.

Hur effekten av substitutionen till trävaror påverkar kolinlagringen ligger utanför mitt arbete eftersom denna kolinlagring inte längre ligger inom markanvändningssektorn. Dock har jag kort valt att kommentera effekten i diskussionen.

Örebro kommun

Örebros klimatplan

Inom Örebro kommun finns en klimatplan sedan 2010 där nulägesanalys och åtgärder inom sektorerna energi, transporter och konsumtion ingår (Örebro kommun 2010). Det är ett styrande dokument där det framgår hur kommunen ska jobba för att minska utsläppen av koldioxid med 40 % per invånare till 2020, räknat från år 2000. Detta mål gäller för sektorerna energi och transporter (Örebro kommun 2010). För organisationen Örebro kommun finns ett högre mål uppsatt med att minska utsläppen med 50 % per invånare till 2020 som även inkluderar sektorn för konsumtion av livsmedel (Örebro kommun 2010). Idag ingår inte markanvändningssektorn i Örebro kommuns (2010) klimatplan. I och med att planen beslutades åtog man sig uppgiften att utreda möjligheterna för att inkludera en större del av klimatpåverkan i kommunens mål (Örebro kommun 2010). Där ingick att titta på hur man kan öka den kolinlagrande förmågan i mark genom ändrad markanvändning. I en av underlagsrapporterna till klimatplanen (Beckman och Isaksson 2009) nämns det att kommunen inför nästa klimatplan kan jobba med markanvändningen för att minska klimatförändringen. Detta är innovativt eftersom detta område ingår idag inte i de nationella miljömålen. Effekter av olika politik rörande markanvändning behöver därför utredas djupgående.

Översiktsplanen

Översiktsplanen är ett viktigt dokument i planeringen av vad mark- och vattenresurserna ska användas till inom kommunen i framtiden (Plan- och bygglagen 2010). Klimatförändringen tas upp som en viktig aspekt i Örebros översiktsplan (Örebro kommun 2010a). I den arbetar man för att bidra till att nå de mål om utsläppsminskningar som finns uppsatta i klimatplanen samt med att ta hänsyn till effekter av klimatförändringen som till exempel översvämningar (Örebro kommun 2010a). Idag nämns dock inte hur själva den planerade utbyggnationen av staden enligt översiktsplanen påverkar klimatet utifrån vilken mark man väljer att bygga på (Örebro kommun 2010a). Delvis kan detta möjligen täckas av hänsynen inom översiktsplanen som ska tas till bevarandet av naturresurser och ekosystemtjänster (Örebro kommun 2010a).

Syfte och mål

Syftet med mitt kandidatarbete inom miljövetenskap är att lyfta markanvändningssektorns betydelse för klimatförändringen. På sikt kan kolinlagringspotentialen i skog, vatten och mark leda till att man vid planering av markanvändning tar hänsyn till kolinlagring och hur mark, skog och vatten brukas på ett klimatsmart sätt.

Jag har valt att fokusera på Örebro kommuns kolinlagringsförmåga i markanvändningssektorn. Genom att skapa en samlad bild av den aktuella markanvändningen i kommunen och vilken bedömd kolinlagringsförmåga det innebär kan man fortsätta arbetet med att utreda vilka konsekvenser olika typer av markanvändning kan få för klimatet.

För att skapa en helhetsbild av kommunen studerade jag även våtmarkers samt sjöars och vattendrags kolbalans. Jag har även valt att analysera vad olika utvecklingsscenarier av markanvändningen kan innebära för klimatet. Områden för utvecklingsstudierna har varit utbyggnation enligt översiktsplanen (Örebro kommun 2010a), markavvattnad jordbruksmark och skötsel av skogsbruk. Förutom negativ eller positiv påverkan på kolinlagringsförmågan kan utvecklingsscenarier innehålla målkonflikter med andra miljömål. Syftet är att belysa detta för att utvecklingen av markanvändningen ska gå i rätt riktning för alla Sveriges miljömål.

Bakgrund till metoden

Nationell metod för kolrapportering av markanvändningssektorn

Markklasser

I den nationella rapporteringen till Klimatkonventionen är Sveriges totala land- och sötvattenareal indelad i sju kategorier (Naturvårdsverket 2011).

- ”**Skogsmark**” inkluderar även reservat och skogliga impediment (Pettersson et al. 2009).
- ”**Jordbruksmark**” motsvarar Riksskogstaxeringen ”Åkermark” som är mark med växtodling eller bete och som plöjs eller slåträs (Pettersson et al. 2009).
- ”**Betesmark**” plöjs inte regelbundet (Pettersson et al. 2009).
- ”**Våtmark**” inkluderar både sjöar, vattendrag och våtmarker (Pettersson et al. 2009).
- ”**Bebyggd mark**” är exempelvis hus, tomter, vägar och industriområden (Pettersson et al. 2009).
- ”**Annan mark**” är mark som inte inkluderas i någon av de andra markklasserna (Pettersson et al. 2009).
- ”**Förändrad markanvändning**”, det vill säga mark som byter markanvändningskategori, rapporteras separat in förändringar i kolförråd (Naturvårdsverket 2011).

Vad är det som rapporteras?

- **Kolförrådet i levande biomassa** vilket beräknas utifrån diametern på träd över 1,3m (Pettersson et al. 2009).
- **Dött organiskt material** vilket innebär död ved och förna (Pettersson et al. 2009).
- **Markkolförrådet** som skattas för mineraljord ner till 50cm djup, för jordbruksmark ner till 25cm djup, och för dikade torvjordar beräknas förändringen av markkolförrådet genom användning av emissionsfaktorer för markrespiration (Pettersson et al. 2009).

Inventeringarna

Inom den nationella rapporteringen för markanvändningssektorn beräknas nettoförändringen av kolinlagringen med hjälp av data från riksskogstaxeringen, markinventeringen samt mark- och grödoinventeringen (Naturvårdsverket 2011). I Sverige finns ca 30 000 utslumpade, nu permanenta, provytor (Naturvårdsverket 2011) med en radie på 10m (Sveriges Lantbruksuniversitet 2010). Dessa inkluderar alla markanvändningskategorier förutom fjäll och städer (Naturvårdsverket 2011). På provytorna mäter riksskogstaxeringen mängd biomassa och dött organiskt material (Sveriges Lantbruksuniversitet 2010) medan markinventeringen mäter bland annat markens kolinnehåll (Sveriges Lantbruksuniversitet 2010a). Jordbruksmarkens kolinlagring inventeras av mark och grödoinventeringen (Eriksson et al. 2010). Genom att dessa platser återinventeras vart femte till tionde år kan man beräkna eventuella förändringar i kolförrådet (Naturvårdsverket 2011). Riksskogstaxeringen innehåller 16 markanvändningskategorier som översatts till de sex kategorierna som används för rapporteringen till Klimatkonventionen (Pettersson et al. 2009).

Brukade och obrukade marker

I Sverige klassas skogsmark, jordbruksmark, betesmark och bebyggd mark som brukade marker och för dessa rapporteras kolförrådet i levande biomassa, dött organiskt material och markkol (Pettersson et al. 2009). För de obrukade markerna, ”Våtmark” och ”Annan mark”, rapporteras inga kolförrådsförändringar (Pettersson et al. 2009). Utöver detta rapporteras kolinlagringen för brukad torvmark, det vill säga torvtäkter, för nationellt ändamål (Pettersson et al. 2009).

(För mer detaljer kring den nationella metoden, uträkningarna och rapporteringen se Naturvårdsverket 2011, Naturvårdsverket 2011a, Naturvårdsverket 2011b)

Material och metoder

Markklasser

Med Sveriges metod för inrapporteringen av markanvändningssektorn till Klimatkonventionen (Naturvårdsverket 2011) som grund har jag arbetat fram en modell för Örebro kommun. Jag har utgått ifrån samma markkategorier men mina definitioner av dessa marker kan skilja sig något från de nationella eftersom jag har beräknat arealerna utifrån de kartsikt som finns tillgängliga inom kommunen. För referenser till vad jag inkluderat i de olika markkategorierna hänvisas till bilaga. Andra skillnader mot den nationella rapporteringen är att jag har delat den nationella kategorin "Våtmarker" i två kategorier, "Sjöar och vattendrag" och "Våtmarker", samt att den brukade torvmarken inom kommunen inte ingår i denna rapport. Kategorin "Förändrad markanvändning" har jag uteslutit, kommunens totala mark- och sötvattenyta täcks inom övriga kategorier. Den påverkan som översiktsplanen (Örebro kommun 2010a) beräknas få för markanvändningen redovisas på samma sätt som den nuvarande markanvändningen i "Utbyggnation via Översiktsplanen".

Arean

För att beräkna arean av de olika markklasserna för Örebro kommuns nuvarande markanvändning, samt vilken jordart de befinner sig på, har jag använt mig av GIS-programmet GeoMedia 6.1. Med samma program har jag tagit fram uppgifter på framtida förändringar genom översiktsplanen och ytan av de markavvattnade områdena. I kommunens GeoBas Link finns tillgång till de flesta av de kartsikt som jag arbetat med (se bilagan för referenser till skikten samt vilka beräkningar som jag utfört på de olika skikten). Koordinatsystemet som jag har använt mig av är SWEREF 99 15 00.

Som organogena jordar har jag valt att klassa torv, gyttja samt lergyttja-gyttjelera (Berglund et al. 2009). Detta är marker med organiskt kol (Karlton et al. 2010). Oorganiskt kol förekommer i områden med kalkberggrund (Karlton et al. 2010) vilket inte är fallet i Örebro (SGU Jordartsdatabaser, för referens se bilaga). Mark som inte klassas som organogena jordar i SGUs (Sveriges Geologiska Undersökning) kartsikt räknar jag som minerogena jordar.

Kartsiktet med "Nyanlagda våtmarker" (se bilaga) räknas till utveckling av våtmarksområden tillsammans med de dikade områdena eftersom de inte ingår i kommunens skikt för våtmarker.

Nationella kolinlagringsdata

Det är de nationellt framtagna kolvärdena för biomassa, dött organiskt material och markkol på de brukade markkategorierna (Naturvårdsverket 2011, Naturvårdsverket 2011b), som jag använder i mina beräkningar för att beräkna kolinlagringsförmågan i kommunen. Dessa värden, se tabell 1, är framtagna med hjälp av Erik Karlton (2011) ur CRF-tabeller (Commun Reporting Format) för inventeringen under 2009 vilken ännu inte är publicerad. (Liknande värden finns i CRF-tabeller sektor 5 för inventeringar gjorda fram till och med 2008, se Naturvårdsverket 2011b). Data saknas för kolinlagringen på "Bebyggd mark" på organiska jordar, se Tabell 1. Värdet för markkol på jordbruksmark på organogena jordar kan dock användas även för bebyggd mark på organogen jord (Karlton 2011a) vilket ger "Bebyggd mark" på organogen jord det totala värdet av -3,876 ton C/ha/år.

Tabell 1: Utsläpp/upptag per hektar och år för de olika markkategorierna beroende på jordart. Negativt värde betyder utsläpp av kol, positivt betyder upptag.

	Kolinlagring organiska jordar Ton C/ha/år	Kolinlagring minerogena jordar Ton C/ha/år
Bebyggd mark	Värde saknas	-0,456
Betesmark	-1,204	0,623
Jordbruksmark	-3,688	0,022
Skogsmark	-0,215	0,537
Våtmark	obrukad mark	obrukad mark
Annan mark	obrukad mark	obrukad mark

Beräkningar av kolinlagringen

Nuvarande markanvändning och utbyggnation via översiktsplanen

Kolinlagringsförmågan för de marker som klassas som brukade beräknade jag i Microsoft Office Excel 97-2003 med hjälp av areorna från GeoMedia 6.1 och data för kolinlagringsförmågan för olika marker i tabell 1. För att kunna göra jämförelser med koldioxidemissioner räknade jag om massan kol till koldioxid med faktorn 44/12.

Sjöar och vattendrags inverkan på kolbalansen

Algesten et al. (2003) har genom analyser av koncentrationen av totalt organiskt kol (TOC) i sjöar som uppmättes under den nationella inventeringen 1995 undersökt nettoavgången av koldioxid från sjöar i 21 regioner i Sverige. Genom att använda mig av ett medelvärde av detta för region 20 och 21 (Algesten et al. 2003), vilka är de som ligger närmast Örebro kommun, får jag ett nettoutsäpp av kol på 48 g C/m²/år. Detta är omräknat så att värdet gäller per m² sjö och inte per m² avrinningsområde som i rapporten (Algesten et al. 2003). Eftersom jag saknar arealberäkningar för vattendrag och sjöar separat antar jag sjöarnas värde för sammanlagda ytan av sjöar och vattendrag.

Förutom koldioxid avgår metan från sjöar genom flöden från bubblor, genom ett diffust flöde, genom att lagrat metan i vatten avgår vid omrörning samt genom flöden via vattenvegetation (Bastviken et al. 2004). Jag gör antagandet att metanemissioner inte ingår i kolvärdena från Algesten et al. (2003). Bastviken et al. (2004) har tagit fram en samlad metanavgång för bubblor, diffust flöde samt lagrat metan för Sveriges sjöar. Genom att dividera detta värde med totalytan Svenska sjöar (SMHI 2008) och beräkna massan kol får jag ett värde på 2 g C/m²/år. Till detta tillkommer 0,5 g C/m²/år vilket är medelvärdet av metanavgången via vattenvegetationen (Bastviken et al. 2004).

Våtmarkers inverkan på kolbalansen

För beräkningarna av våtmarkers nettokolinlagring har jag använt värden från Degerö Stormyr i Västerbotten (Nilsson et al. 2008). Den nuvarande nettoinlagringen av kol var där 23,55 g C/m²/år (SD +- 3,4) (35,3 g C/m²/år upptag genom koldioxid, 11,75 g C/m²/år utsläpp från metan). Detta är baserat på mätningar under 2004 och 2005 då man tagit hänsyn till de relevanta flödena vilka är: utbytet av koldioxid mellan land och atmosfär, utbytet av metan mellan land och atmosfär, total organiskt kol från nederbörden, avrinningen av totalt organiskt kol, oorganiskt kol i lösning (DIC) och metan i vattendrag (Nilsson et al. 2008). Degerö Stormyr klassas som fattig kärr (Nilsson et al. 2008) men jag applicerar detta värde för alla våtmarker inom kommunen.

Markavvattnad jordbruksmark -Återvätning av organogen jordbruksmark

Nyanlagda och återvätnade våtmarker skiljer sig från naturliga våtmarker genom att de ofta får ta emot en höge halt av näringsämnen eftersom de är skapade just för att reducera halten näringsämnen från jordbruk eller avloppsreningsverk (Stadmark och Leonardson 2005). Därför menar Stadmark och Leonardson (2005) att samma värden för växthusgasutsläpp som för naturliga våtmarker inte kan användas. Lustgas- och metanavgången är troligtvis högre på

grund av en högre halt näringsämnen och organiskt material (Stadmark och Leonardson 2005).

Nettflödet av metan och koldioxid, för en konstruerad våtmark i odlingslandskapet med syfte att minska näringsläckaget är baserat på medelvärden hämtade från Hovi i Finland uppmätta under 2002-2003 (Søvik et al. 2006). Eftersom de är angivna för vinter (januari-april) respektive sommar (juni-oktober) har jag genom vegetationsperiodens längd som är 190 dagar för Örebro (SMHI 2009) beräknat ett helårsvärde för den här typen av våtmarker i Örebro. I de beräkningarna har värden för sommar ansetts vara lika med vegetationsperioden, och övriga dagar har jag ansett vara vinter. Värden för utsläpp är $14 \text{ g C/m}^2/\text{år}$ (SD + -3,0-3,5) för metan och $265 \text{ g C/m}^2/\text{år}$ (SD 92,7-94,6) för koldioxid.

Markavvattnad jordbruksmark - Energiskog

Undersökningar av nettoutbytet av koldioxid från en energiskog i Enköping (Grelle et al. 2007) använder jag som grund för att beräkna effekten av att anlägga energiskog på organogen jordbruksmark. Denna energiskog ligger på en före detta sjöbotten och är en del av reningen av avloppsvatten (Grelle et al. 2007). Under 2003 uppmättes kolinlagringsförmågan till 8,18 ton C/ha (Grelle et al. 2007).

Skogsbruksmetoder

Lundström et al. (2009) har beräknat den nationella effekten av olika utvecklingsalternativ inom skogsbruket. De har tittat på olika nivåer av avverkning, GROT-uttag och uttag av stubbar med tanke på kolinlagringen mellan åren 2010 och 2030. Utfallet av dessa scenarier antar jag gälla även för skogsmarken i Örebro. Basscenariot är en fortsättning på dagens skogsbruk och bygger på avverkningstakt, dagens uttag av GROT (8 TWh) och inget uttag av stubbar (Lundström et al. 2009). Scenariot gäller för skogsmark på minerogena jordar (Lundström et al. 2009), jag har dock valt att applicera det på den totala mängden skogsmark i Örebro kommun. Eftersom skogsbruk på organogen mark står för högre växthusgasutsläpp per ha idag jämfört med minerogen skogsmark kan konsekvensen av detta val innebära att en ökad avgång från dessa marker, genom ett intensivare skogsbruk, inte kommer med i dessa beräkningar.

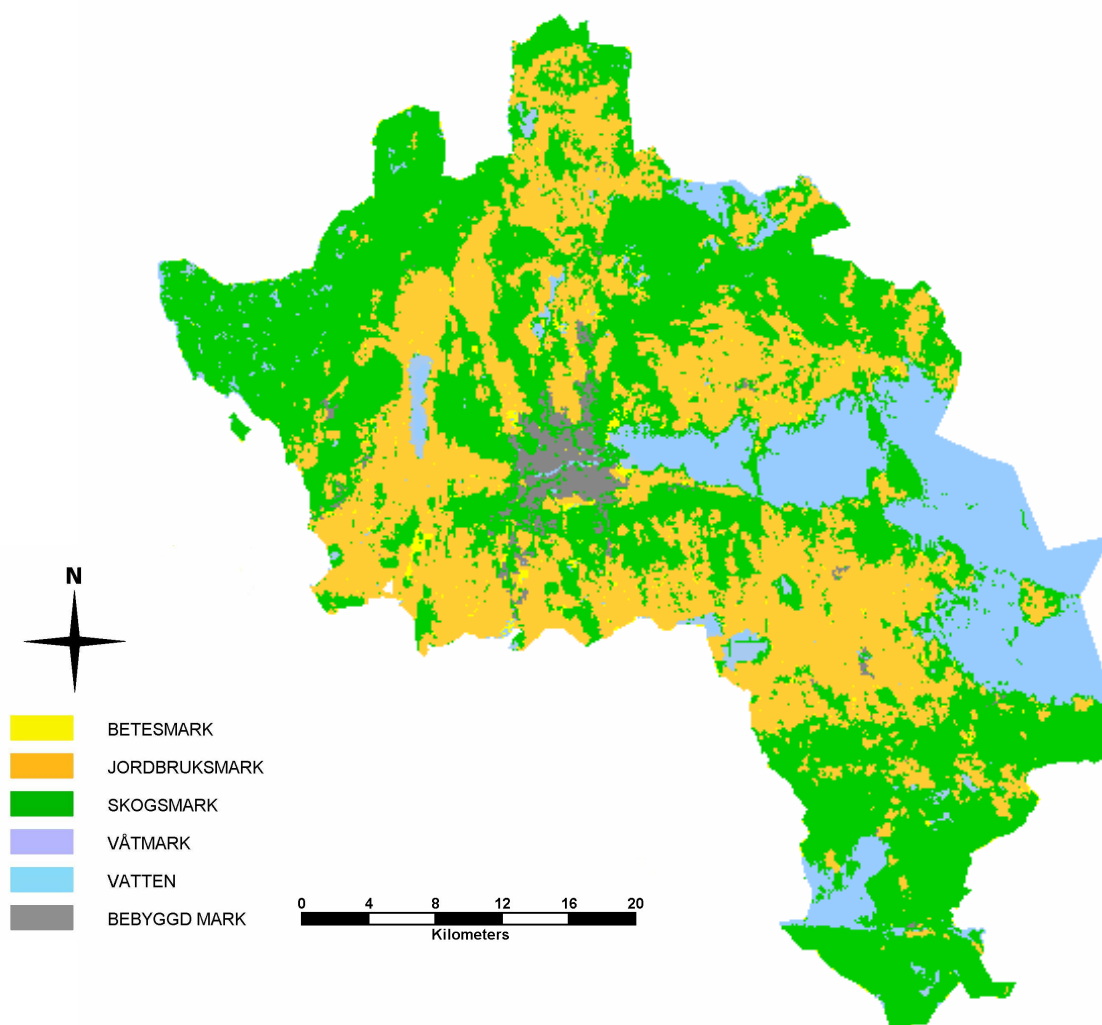
På femton platser i Sverige och Finland, där påverkan av intensivskogsbruk undersökts, har mellan 600 och 1800 kg kväve tillförts under 14-30 år (Hyvönen et al. 2008). Kollagret i marken har under den tiden i genomsnitt ökat med 11 kg och i biomassan 25 kg för varje kg tillfört kväve (Hyvönen et al. 2008). Slår jag samman ökningen i jord och biomassa utifrån att 1200 kg kväve har spridits per hektar och fördelar det på 22 år ökar kolinlagringen med närmare 2 ton C/ha/år. Detta värde multipliceras med 10 % av den totala skogsmarken i kommunen. Det nuvarande värdet för kolinlagringen på minerogena jordar, tabell 1, appliceras på totalarean skogsbruksmark i Örebro kommun för att få ett jämförelsetal mot ett scenario med kvävegödning på 10 % av skogsmarken.

Resultat

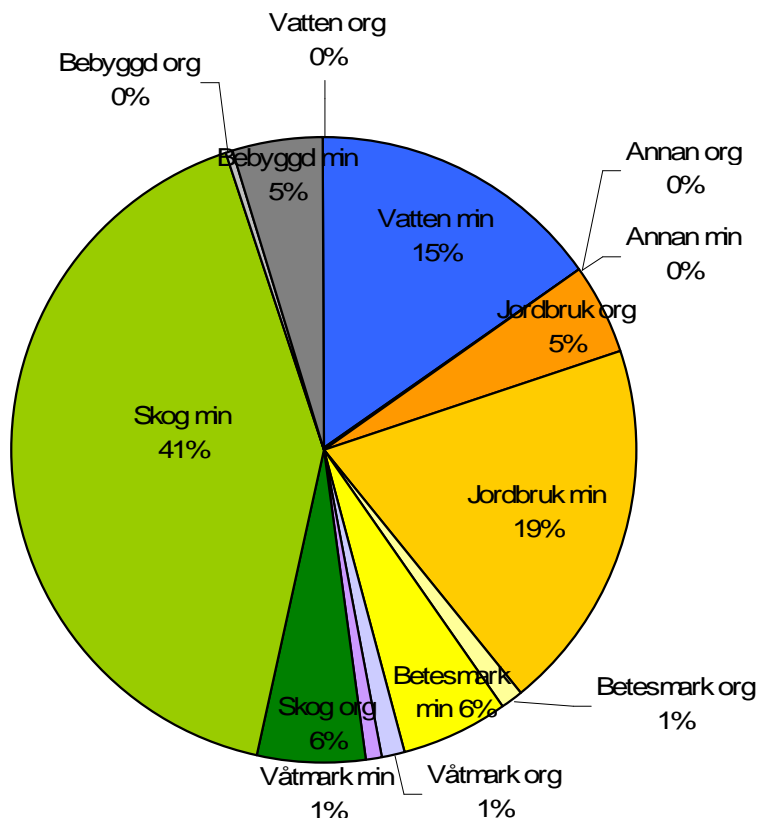
Nuvarande markanvändning och kolinlagring

Skogsmark som står för den största delen av kommuns mark (figur 1 och 2) är också den markklass inom kommunen som står för det högsta nettoupptaget av kol, 36 252 ton C/år (figur 3). Högst upptag per ytenhet har dock betesmark som ligger på minerogena jordar med ett upptag på 0,623 ha och år (tabell 1). Totalt bidrar betesmarken med en nettoinlagring av kol på 3 842 ton C/år. Bebyggd mark har en nettoavgång av kol med -4 763 ton C per år (figur 3). Genom ett stort utsläpp av kol från den organogena jordbruksmarken (figur 3) hamnar den totala jordbruksmarken på en minskning av kolförrådet med -27 101 ton per år.

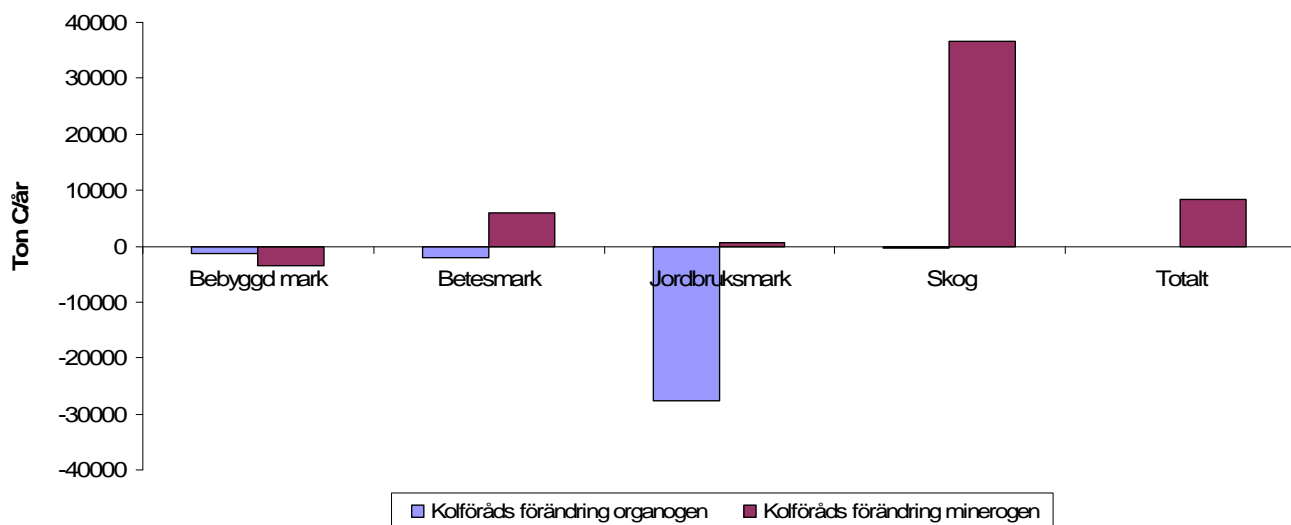
Nettot för den totala kolupptagningsförmågan för dessa markkategorier (figur 3) är 8 230 ton kol per år.



Figur 1: Örebro kommuns markanvändning.



Figur 2: Fördelningen av olika markanvändningskategorier i % av Örebro kommuns totala yta som är 162956 ha. org = organogen mark min = minerogen mark

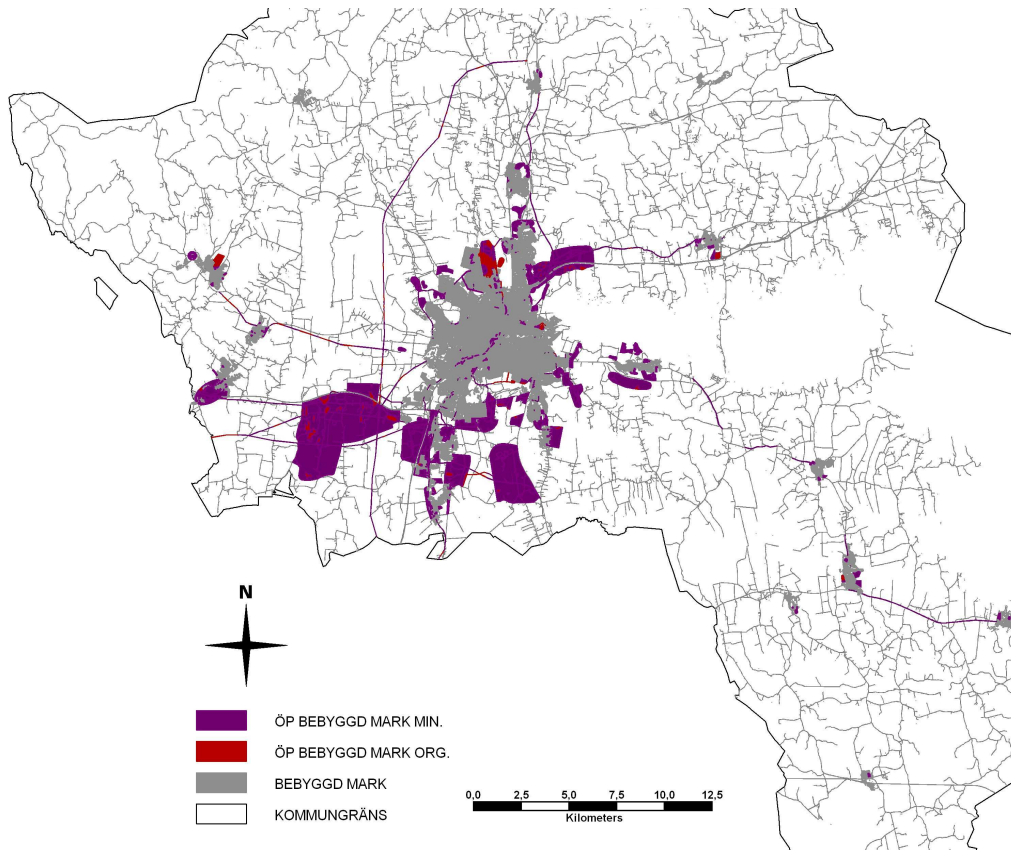


Figur 3: Avgång (negativa värden) och inlagring (positiva värden) i ton kol per år för nuvarande markanvändning i Örebro kommun fördelat över de olika markklasserna inklusive vilken jordtyp de befinner sig på, organogen eller minerogen, samt den totala kolinlagringen för alla markklasser.

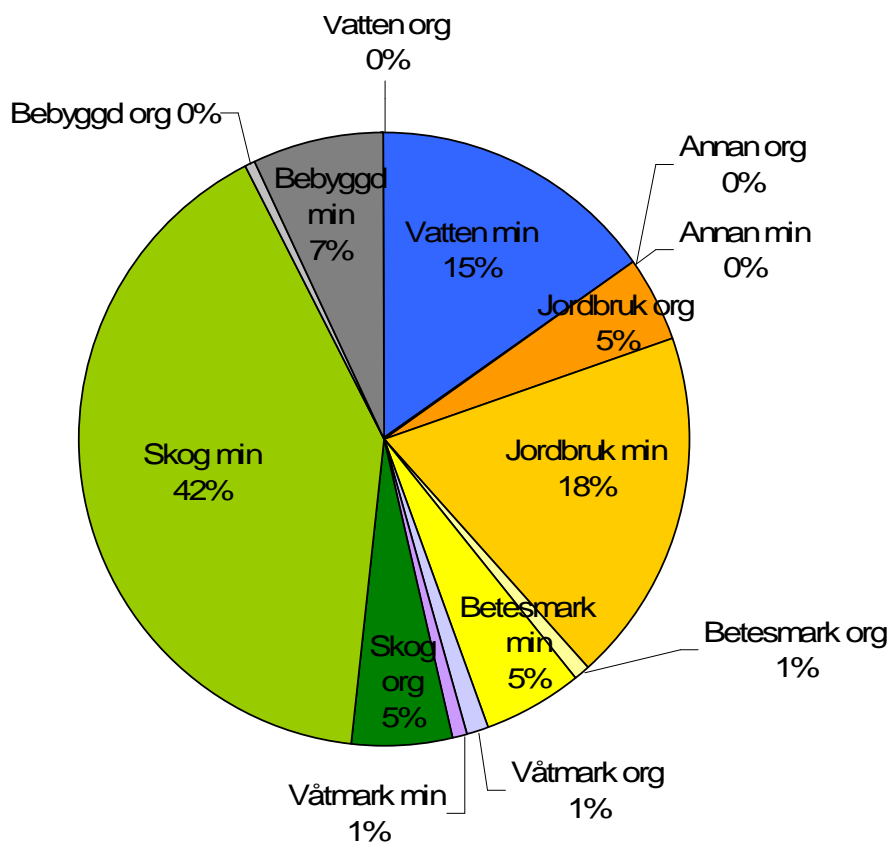
Markanvändningen och kolinlagring enligt utbyggnationen via översiktsplanen

Totalt tillkommer ca 4000ha bebyggd mark om översiktsplanen skulle genomföras fullt ut (figur 4). Det skulle leda till att den totala bebyggda marken ökar med 2 % av den totala ytan, främst på jordbruksmark och betesmark, se figur 5.

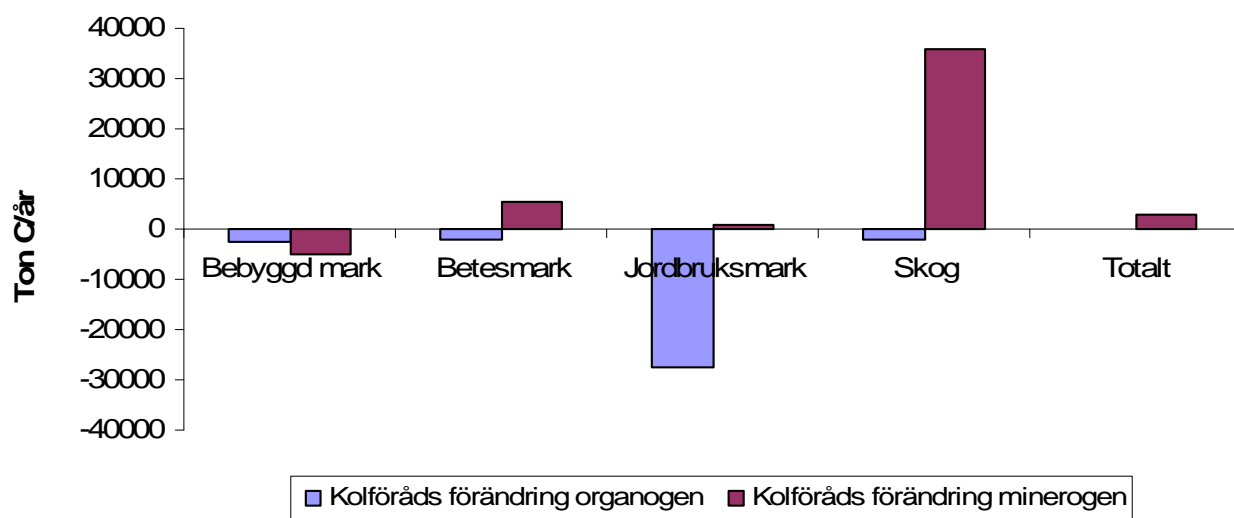
Nettot för den totala kolutpagningsförmågan efter översiktplanen för dessa markkategorier (se figur 6) är 2 991 ton kol per år.



Figur 4: Utbyggnation av "Bebyggd mark" enligt översiktsplanen fördelad på minerogena och organogena jordar. Den nuvarande bebyggda marken visas i grått.



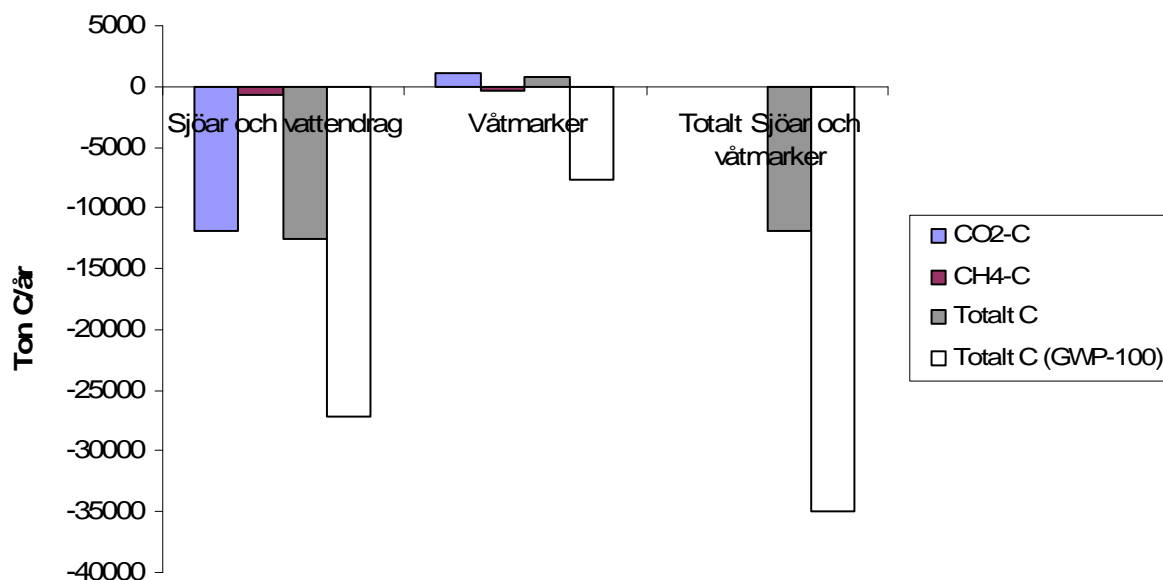
Figur 5: Fördelningen av olika markanvändningskategorier efter planlagd översiktsplan i % av Örebro kommuns totala yta som är 16295 ha.



Figur 6: Kolinlagringen efter översiktplanen. Avgång (negativa värden) och inlagring (positiva värden) av kol per år fördelat över de olika markklasserna inklusive vilken jordtyp de befinner sig på, organogen eller minerogen, samt den totala kolinlagringen för alla markklasser.

Våtmarkers samt sjöar och vattendrags inverkan på kolinlagringen

Enligt mina beräkningar avger kommunens sjöar och vattendrag 12 521 ton C/år (figur 7). Kommunens våtmarker tar istället upp 703 ton C/år (figur 7). Den sammanslagna effekten blir ett nettoutsläpp på 11 818 ton C/år (figur 7).



Figur 7: Utsläpp (negativa värden) och upptag (positiva värden) av kol per år för sjöar och vattendrag respektive våtmarker inom Örebro kommun. Det sammanlagda värdet för dessa redovisas både i den faktiska massan kol och i massan för kol omräknat med GWP-100.

Markavvattnad jordbruksmark

Den markavvattnade ytan täcker 12 % av kommunen, 18983 ha. På 79 % av denna ligger idag jordbruksmark. Till denna area tillkommer de ”Nyanlagda våtmarker” vilka täcker 133 ha eller knappt 0,1 % av kommunens yta.

Återvätning av organogen jordbruksmark

Nyskapade våtmarker skapade för att minska näringsläckaget från jordbruksmark avger 28 ton C/m²/år. För att få den verkliga förändringen i kolinlagring då man nyskapar våtmarker måste man dock ta hänsyn till de utsläpp eller upptag som marken ger upphov till idag utan att vara återvätdad. Om man tänker sig att denna yta idag består jag jordbruksmark på organogena jordar ger återskapandet av våtmarker istället en minskning av utsläppen med 9 ton C/m²/år. Är det istället en betesmark på minerogen jord som man nyskapar en våtmark på går marken från att vara en sänka av kol på 0,623 ton C/ha/år, till att bli en källa av kol på 28 ton C/ha/år. Om jag antar att de nyskapade våtmarkerna i Örebro består av våtmarker skapade för att minska näringsläckaget från organogen jordbruksmark innebär detta alltså en minskning av utsläppen med 120 ton C/år.

Energiskog

I de fall energiskog ersätter organogen jordbruksmark förändras marken från att ha varit en kolkälla till en kolsänka. Skillnaden i utsläpp är 12 ton C/ha/år.

Skogsbruksmetoder

En fortsättning av dagens avverkningstakt fram till 2030 skulle leda till minskad kolinlagring med 5 % (Lundblad et al. 2009) vilket betyder att Örebros skogar skulle ta upp 34 518 ton C/år 2030. Detta utgör basscenariot vilket övriga scenarier, förutom intensivodling, jämförs med.

Scenario- varierad avverkningsnivå för Örebros skogar

10 % ökning av avverkningstakten till 2030- skulle leda till minskad kolinlagring med 66 % (Lundblad et al. 2009) vilket betyder att Örebros skogar skulle ta upp 22 697 ton mindre C/år jämfört med basscenariot 2030.

10 % minskning av avverkningstakten till 2030- skulle istället leda till en ökad kolinlagring med 62 % (Lundblad et al. 2009) vilket gör att Örebros skogar skulle ta upp 21 278 ton mer C/år 2030.

(Markkolsförändringar har inte studerats för dessa två scenarier utan bassceniariots värde för markkol används (Lundblad et al. 2009).)

Scenario- uttag av GROT

Prognostiserad nationell ökning av GROT-uttag på 1,5 M ton C till 2030—skulle leda till minskad kolinlagring med 3 % (Lundblad et al. 2009) vilket betyder att Örebros skogar skulle ta upp 1 103 ton mindre C/år 2030 jämfört med basscenario.

Scenario- uttag av stubbar

Maximalt tillåtet uttag nationellt av stubbar på 2,5 M ton C till 2030—skulle leda till minskad kolinlagring med 27 % (Lundblad et al. 2009) vilket betyder att Örebros skogar skulle ta upp 9 457 ton mindre C/år jämfört med basscenariot 2030.

(Markkolet har inte beräknats för detta scenario utan bassceniariots markkol används (Lundblad et al. 2009).)

Scenario- intensivodling

Intensivodling med kvävegödsling på 10 % av skogsmarken – skulle leda till en ökad kolinlagring med 37 % vilket innebär 15 159 ton C/år ökad inlagring för skogsmarken i Örebro kommun jämfört med nuvarande inlagring.

Diskussion

Hur står sig mina värden (exklusive vatten och våtmarker) mot de nationella?

I samstämmighet med de nationella värdena (Pettersson et al. 2009) är ”Skogsmark” den kategori som är den största kolsänkan i Örebro kommun medan ”Bebyggd mark” och ”Jordbruksmark” är de största källorna (figur 3). Det är främst på de organogena jordarna som utsläppen sker både nationellt (Pettersson et al. 2009) och i Örebro.

Omräknat till koldioxid innebär den nuvarande markanvändningen inom Örebro kommun ett upptag på 30 157 ton per år. Detta motsvarar 3,6 % av Örebros sammanlagda utsläpp som ingår i Klimatplanen (det vill säga sektorerna trafik och energi 2008) (Örebro kommun 2010). Nationellt motsvarar kolinlagringen en betydligt högre procent (mellan 24 % och 67 % under 2000-talet, se inledning) av de totala utsläppen i Sverige (Naturvårdsverket 2011). Detta kan bero på procentskillnader i arealer för markkategorierna. De viktigaste skillnaderna uppskattar jag vara att den organogena marken står för 0,6 % (Pettersson et al. 2009) av Sveriges totala yta men 5 % av Örebro kommuns yta. Skogsmarken i Sverige står även för 60 % (Pettersson et al. 2009) men för 47 % i Örebro. Till detta tillkommer att befolkningen per ytenhet är starkt kopplad till energianvändningen.

Markkategoriers areor

Areorna på den nuvarande markanvändningen i kommunen är baserade på inventeringar gjorda 2007-2009 (för referens se bilaga). Noggrannheten på dessa ytor överensstämmer med respektive GIS-skiktets noggrannhet (för referens se bilaga). Arean för de ”Nyanlagda våtmarkerna” är inte medräknade i den nuvarande markanvändningen men eftersom de motsvarar mindre än 0,1 % av kommunens totala yta anser jag att det är försumbart. Den största osäkerheten i area står ”Betesmark” för eftersom det GIS-skikt där betesmark inkluderas även består av andra öppna ytor och att jag därför behövt göra betydande antaganden då jag tagit fram betesmarkens area. I nationell data utgör betesmark 0,1 % av den totala ytan (Pettersson et al. 2009), jämfört med Örebros där andelen är 7 %. Detta behöver inte innebära att den beräknade ytan för betesmark inom kommunen är felaktig. Dock kan delar av det som jag har räknat till betesmark nationellt klassas som bebyggd mark, se djupare diskussion av effekten av detta under ”*Effekter av översiktsplanen*”.

Nationella kolinlagringsdata

Den nationella kolinlagringsdatan är från sammanställningen av inventeringen 2009 och borde på så vis innehålla liknande osäkerheter som inventeringen 2008 (Naturvårdsverket 2011, 2011a och 2011b). I dessa värden ingår kol som kan ha avgått som endera koldioxid eller metan (Naturvårdsverket 2011). Den mängd som avgått som metan är dock försumbar (Karlton 2011a), varför jag inte räknar om detta till koldioxidekvivalenter.

Effekter av översiktsplanen

Mina resultat visar att utbyggnationen planerad i översiktsplanen (Örebro kommun 2010a) minskar kolinlagringen i kommunen. Då jag jämför de värden jag har kommit fram till för den nuvarande kolinlagringen på de brukade markerna (figur 3) med värdena efter översiktsplanen (figur 6) får jag fram att kolinlagringsförmågan för markklasserna ”Bebyggd mark”, ”Betesmark”, ”Jordbruksmark” och ”Skogsmark” sammanlagt kommer att minska med 5 240 ton C/år eller 19 199 ton koldioxid. Detta motsvarar nästan hälften av den minskning av utsläppen kommunen jobbar för att uppnå inom insatsområde G1: Enerigeffektivisering inom klimatplanen (Örebro kommun 2010).

En planerad ökning av ”Bebyggd mark” med 2 % skulle minska kommunens kolinlagringsförmåga med nästan två tredjedelar. På liknande sätt kan en eventuell

överskattning av betesmark som istället borde vara bebyggd mark få stor effekt för resultatet. Anledningen till att effekten blir så stor är att stora delar av kommunens upptag redan försvunnit i och med den organogena jordbruksmarken stora utsläpp, samt att delar av utbyggnation sker på organogen mark vilket medför stora utsläpp.

Med utgångspunkt från översiktsplanen (Örebro kommun 2010a) valde jag att bearbeta de skikt som jag ansåg kunna påverka areorna för markklasserna (se bilaga). Det är uteslutande planer för olika sorters bebyggelse som kommer att ta andra markklasser i anspråk. Jag har dock uteslutit planer på vindkraftsutbyggnad, återställning av torvtäkt samt eventuell nedläggning av mineralbrytning även om detta troligen kommer att ha direkt och/eller indirekt verkan på markanvändningen.

Att inkludera våtmarker samt sjöar och vattendrag i kolbudgeten

Anledningen till att "Våtmarker" (inklusive sjöar och vattendrag) inte räknas med nationellt idag är att de inte är brukade (Naturvårdsverket 2011) och att människans möjlighet anses vara liten att påverka deras kolbalans därför är liten.

Avgången av kol från sjöar speglar omgivningen eftersom de tar emot kol och näringsämnen via vattendrag och grundvatten från avrinningsområdet (Huttunen et al. 2003). Utsläppen av koldioxid och metan är högre från övergödda sjöar, vars avrinningsområden ofta består av torvjordar eller skogsbruk, i jämförelse med näringsfattiga sjöar (Huttunen et al. 2003). Huttunen et al. (2003) skriver att "det är tydligt att förändringar i avrinningsområdet, så som förändrad markanvändning, kan störa sjöars växthusgasbalans". Detta tolkar jag som att åtgärder för att öka kolinlagringen i skogsbruk och jordbruk skulle kunna få effekter i sjöarnas koldioxidbalans. Detta skulle också innebära att för att minska sjöarnas bidrag av koldioxid och metan till atmosfären så är det åtgärder i andra markkategorier i avrinningsområdet som kan ge effekt. Schrier-Uijl et al. (2011) som analyserat detta tar upp minskad spridning av gödningsmedel som en lösning på växthusgasutsläppen från sjöar. Att ha ett helhetsperspektiv för markanvändningssektorn är därför viktigt så att man inte genomför åtgärder som är positiva för kolinlagringen i en av markkategorierna men får negativa konsekvenser inom en annan.

Mina resultat visar att man genom att inkludera "Våtmarker" samt "Sjöar och vattendrag" kolbalans förändrar kommunens totala landskapsbild, från att vara en sänka till att bli en källa till kol på 3 587 ton C/år (figur 7).

De värden som jag använder mig av bygger på ett fåtal rapporter och i vissa fall bara en undersökningsplats. Detta innebär att osäkerheten bakom mina kolinlagringsvärden för "Våtmarker" samt "Sjöar och vattendrag" är större än för de övriga markkategorierna. Av denna anledning har en känslighetsanalys gjorts. Denna visar att osäkerheten bakom "Våtmarker" samt "Sjöar och vattendrag" värden behöver vara större än 27 % för att ändra detta resultat.

I ett klimatperspektiv är det viktigt att ta hänsyn till att metan är en starkare växthusgas än koldioxid, se inledning. Då massan för kolet omräknas med GWP_{100} (IPCC 2007a) blir våtmarker istället en nettokälla till växthusgaser med ett utsläpp på 7715 ton C/år, likaså förstärks sjöar och vattendrag som källor till att avge 27 217 ton/år vilket ger det sammanlagda utsläppet på 34 932 ton C/år per år för våtmarker samt sjöar och vattendrag (figur 7). Detta förstärker bilden av landskapet i Örebro kommun som en källa till växthusgaser.

Våtmarker

Metanavgången är det som gör våtmarkerna i kommunen till en källa till växthusgaser vilket bekräftas av nationella siffror av Olsson et al. (2002). Om man väljer att räkna i kolmassa eller kolmassa omräknat till GWP₁₀₀ beror på syftet med undersökningen, att kartlägga kolinlagringen eller för att hitta källor till växthusgaser.

Underlaget av kolinlagringsdata för alla typer av våtmarker som ryms inom arean för Örebro kommun (se bilaga -Länsstyrelsens våtmarksinventering) är bristfällig och inte heller rimlig att rymmas i mitt arbete. Av den anledningen ger jag alla våtmarker samma värde för kolinlagringen som fattigkärret Degerö Stormyr (dock ej de nyanlagda våtmarkerna) (Nilsson et al 2008). Nettoflödet av koldioxid skiljer sig mellan olika typer av våtmarker (Tolonen och Turunen 1996). De värden som jag använder mig av överensstämmer med data från andra torvbildande våtmarker (Lund et al. 2010). Torvbildande våtmarker står för 95 % av kommunens våtmarker (se bilaga -Länsstyrelsens våtmarksinventering). Att kolinlagringsdata från Västerbotten används för Örebros våtmarker antas inte ge någon betydande felkälla då den geografiska lokaliseringen verkar ha mindre betydelse (Lund et al. 2010).

Det finns också stora variationer i metanflödet mellan olika våtmarkstyper och regioner (Nilsson et al. 2001). På grund av detta är det viktigt att dessa stämmer överens med området man undersöker (Nilsson et al. 2001). Metanutsläpp sker inte från alla våtmarker (Nilsson et al. 2001). För de torvbildande våtmarkerna borde mina värden vara en överskattning av det verkliga värdet eftersom alla våtmarker i kommunen beräknas tillhöra en myrtyp som avger metan. Samtidigt är det sannolikt att metanavgången från de icke torvbildande våtmarkerna, som står för 5 % av kommunens våtmarker, underskattas med detta generella värde (Nilsson 2011). Detta genom att icke torvbildande våtmarker antas ha en högre växtproduktion, vilket leder till en högre utsöndring av enkla kolföreningar som fungerar som substrat för metanproducerande bakterier (Schlesinger 1997). Då metan omräknas med GWP₁₀₀ förstärks en eventuell överskattning/underskattning.

Sett ur ett historiskt perspektiv visar borrhärdor från olika myrtyper i Finland att den långsiktiga inlagringen (koldioxid upptag minus metanavgång och borttransport av kol via avrinnande vatten) varit 26,1 g C/m²/år (Tolonen och Turunen 1996) vilket ger en bild av att de värden jag använt mig av ändå är realistiska.

Sjöar

Huttunen et al. (2003) konstaterar att boreala sjöar är nettokällor till koldioxid till atmosfären vilket överensstämmer med det jag redovisar.

Svårigheterna med att skatta metanavgången från sjöar poängteras i flera rapporter (Bastviken et al. 2004, Huttunen et al. 2003). Dessa värden är därför de som har störst osäkerhet. De värden som jag använder är troligtvis underskattade eftersom variationen i flödet från metanbubblor är betydande och stora utsläpp under kort tid därför kan missas (Bastviken et al. 2004). Räknat i enbart kolmassa så står metan för en mindre del än koldioxid och effekten av felet kanske därför inte blir stor. När jag beräknar kolet från metan i GWP₁₀₀ ökar felet vilket kan leda till betydande avvikelser från det verkliga värdet.

Markavvattnad jordbruksmark

Återvätning av organogen jordbruksmark

Cirka 95 % av de våtmarker som fanns på Närkeslätten har dikats ut (Örebro kommun 2010b). I de lokala miljömålen ingår att nya våtmarker ska skapas (Örebro kommun 2010b). Mina resultat visar att återvätning av organogen jordbruksmark kan minska utsläppen av kol. Resultaten visar också att det är viktigt ur klimatsynpunkt att ta hänsyn till vilken mark man väljer att anlägga nya eller återskapa våtmarker på. Marker som idag är en källa till kol är ur klimatperspektiv ett bra val att anlägga våtmarker på. Trots att nyskapade och/eller återskapade våtmarker själva är en källa till kol kan utsläppen minska då den tidigare marken

har gett upphov till större utsläpp. Marker som däremot idag är kolsänkor, exempelvis betesmark på minerogena jordar, blir efter en omställning till våtmark en källa vilket gör dessa marker mindre lämpliga enligt det angreppsperspektiv som denna studie har.

Dessa resultat ska användas med försiktighet eftersom de enbart är baserade på en studie samt att det har varit svårt att jämföra resultatet då få studier är gjorda inom området. Stadmark och Leonardson (2005) har gjort mätningar av koldioxid- och metanflöden i södra Sverige från konstruerade våtmarker i jordbrukslandskap men på grund av att de redovisar värden per timme med stor variation är en jämförelse med mina värden för osäker att göra.

Då jag tar hänsyn till metans styrka som växthusgas blir emissionerna från återvätade våtmarker 6 ton C/ha/år vilket överskrider utsläppen från organogen jordbruksmark som har ett utsläpp på 3,688 ton C/ha/år (Tabell 1). Nationella data för organogen jordbruksmark är dock ej omräknade till GWP₋₁₀₀ (se diskussion "Nationella kolinlagringsdata") varför det inte går att dra några slutsatser från den jämförelsen. För att få en helhetsbild ur klimatperspektiv borde även lustgas ingå i beräkningarna. Lustgas är en 298 gånger starkare växthusgas än koldioxid (IPCC 2007a) och avgår både från konstruerade våtmarker (Søvik et al. 2006) och utdikad jordbruksmark (Kasimir-Klemedtsson et al. 2001).

Det finns olika typer av konstruerade våtmarker som renar avloppsvatten som även skiljer sig åt ur ett klimatperspektiv (Søvik et al. 2006). För att kunna säga vilken typ av våtmark som är att föredra måste man även ta hänsyn till hur stor yta som krävs för en viss mängd vatten, hur stor reningseffekten är (Søvik et al. 2006) och/eller hur stor den positiva effekten är för den biologiska mångfalden. Bästa möjliga teknik vore här att rena så stor mängd kväve till så lågt växthusgasutsläpp som möjligt. Jämfört med konventionella reningsverk konstaterar Søvik et al. (2005) att våtmarker tenderar att släppa ut mindre mängder växthusgaser.

Det finns andra klimatrelaterade vinster med våtmarker. Våtmarker minskar näringsbidraget till sjöar (Søvik et al. 2006) vilket är viktigt även i klimatsammanhang eftersom en ökad övergödning kan leda till ökade utsläpp av metan och koldioxid (Huttunen et al. 2003). En annan anledning till att återskapa våtmarker är att dessa är naturliga översvämningsområden som kan buffra vattenmängder och på så vis lindra klimatförändringens effekter av häftiga skyfall och översvämningar (Naturvårdsverket 2007, Lennartsson och Simonsson 2007).

Energiskog

Mitt resultat visar att odling av energiskog på organogen jordbruksmark kan göra att marken och biomassan lagrar kol. Lagringen i biomassan vilken är 63 % av den totala inlagringen (Grelle et al. 2007) återgår dock som koldioxid till atmosfären då skörden förbränns i exempelvis värmekraftverk. Samtidigt kan energiskogen ersätta fossila bränslen, se diskussionen om substitutionsprincipen under skogsbruk.

Det återstående av inlagringen finns i markkolet vilket till stor del anses vara konstant även efter skörd (Lindroth 2011). Då endast lagringen i markkolet räknas som kolinlagring är fortfarande marken en sänka för kol på 2,97 ton C/ha/år (Grelle et al. 2007). Detta gör att det fortfarande är lönsamt ur kolinlagringsperspektiv att odla energiskog på organogen jordbruksmark eller annan mark som idag utgör en källa till kol.

För att få ett helhetsperspektiv krävs fortsatt undersökning av energiskogens betydelse för övriga växthusgaser samt näringsläckage.

Skogsbruk

Enligt Lundström et al. (2009) är det scenarierna med olika avverkningsnivåer som "ger den absolut största effekten på kolinlagringen". Mina resultat visar att en minskad avverkningstakt ökar inlagringen. Denna kolinlagring anses också bli bestående, även om

inlagringstakten avtar med ålder på skogen så anses även gammal skog fortfarande ta upp kol och de övergår inte till kolkällor (Luyssaert et al. 2008). Detta gör även att särskilt avverkningen av gammelskogar medför att stora mängder kol kommer att avges (Luyssaert et al. 2008) förutom att stora naturvärden kommer att gå förlorade.

Att öka avverkningen leder till ett minskat upptag av koldioxid och utöver det ett utsläpp när biomaterialet förbränns eller bryts ner. Ur klimatsynpunkt är det då bättre att använda GROT eftersom man istället för både utsläpp från nedbrytningen i skogen och utsläppet från det fossila bränslet endast får en emission nämligen den från förbränning av GROT. Effekten av ett uttag av stubbar skulle på samma sätt som GROT på sikt kunna resultera i en vinst ur utsläppsynpunkt. Genom en större avgång från markkolet vid detta uttag behövs det dock mer forskning för att kunna utvärdera effekten (Lindroth 2011). Eftersom nedbrytningstakten för stubbar även är långsammare än för GROT tar det längre tid att räkna hem en eventuell sådan vinst (Liski et al. 2011).

Resultatet av de olika scenarierna måste sättas i ett större sammanhang. Genom substitutionsprincipen, då fossila eller växthusgaskrävande produkter byts ut mot träprodukter, innebär den minskade kolinlagringen från avverkning, uttag av GROT och stubbar inte nödvändigtvis ett utsläpp (Sathre och O'Connor 2010). Sathre och O'Connor (2010) har tagit fram en förändringsfaktor som visar skillnaden i växthusgasutsläpp genom att göra det här utbytet. Enligt deras sammanställning av 21 olika studier innebär bytet till 1 ton C från trä istället för de material de ersätter ett minskat utsläpp med 2,1 ton C (Sathre och O'Connor 2010). Att ersätta fossila bränslen med biobränslen från skogen ger en mindre vinst (Sathre och O'Connor 2010). Värdena skiljer sig åt mellan olika studier beroende på hur man väljer att göra beräkningarna. Tidsperspektiv, livscyklar, om man väljer att inkludera effekter av en förändrad markanvändning och efteranvändningsfasen eller ej är bland annat saker som påverkar förändringsfaktorn (Sathre och O'Connor 2010). Liski et al.(2011) menar att de olika sätten att göra beräkningarna på ofta leder till överskattningar av bioenergis klimatfördelar. De menar också att bioenergi inte är klimatneutral på grund av att ett uttag i skogen leder till en växthusgas avgång och minskade inlagringen av kol (Liski et al 2011).

I scenariot för intensivodling av skog ingår inte hela produktionscykeln. Enligt Sathre et al. (2010) uppvägs ökningen av markkolet vid kvävegödsling av den minskning av markkolet som sker vid avverkning. Ett liknande scenario med balanserad kvävegödsling på 10 % av Sveriges skogsyta men som enbart tar med skillnaden i biomassa visar en ökning av inlagringen på 36 % (Lundblad et al. 2009). Detta är i samma storleksklass som mitt scenario inklusive markkol vilket kan betyda att det finns större potential med kvävegödsling än det resultat jag visar. Ökningen av biomassan kommer dock inte heller att bli kvar i skogen utan merparten kommer att tas ut vid en avverkning. Effekten av intensivodling beror då helt på hur man väljer att tillgodoräkna sig de skogliga produkterna genom substitutionsprincipen.

Intensivodling kräver mer insats av energi jämfört med ogödslade bestånd. Utifrån ett scenario att det skulle bedrivas intensivodling på 10 % av Sveriges skogar beräknade Sathre et al.(2010) substitutionseffekten av det "extra" biomaterialet. 100 % av biomaterialet antogs ersätta fossila bränslen eller energikrävande byggmaterial och man tog hänsyn till bland annat växthusgaskostnaden för gödslingsmedlet och transporter under flera rotationsperioder (Sathre et al. 2010). Omräknat till värden gällande för Örebro kommun skulle det medföra en årlig minskning av växthusgasutsläppen på 40 100ton CO₂-ekvivalenter utöver den engångsinlagring i skog och träprodukter som skulle ske (Sathre et al. 2010). Även här var ökningen av biomassa till följd av kvävegödsling 18 % högre än i mitt scenario.

Att öka avverkningstakten eller öka uttaget av GROT och stubbar bidrar alltså inte till att ta upp växthusgaser utan tvärtom. Däremot kan de genom substitutionsprincipen bidra till ett minskat utsläpp av växthusgaser. Sathre et al. (2010) skriver dock att teknologin och politiken inte finns för att 100 % av biomaterialet ska kunna ersätta fossila bränslen eller

energikrävande material, vilket gör att de insparade utsläppen är överskattade. För att komma till rätta med klimatförändringen krävs mer än att varor byts ut. Mängden varor och energi som används måste minska.

Stora intressen står bakom dessa scenarier. Kolinlagringen i skogen står alltså emot substitutionsprincipen när kommunen väljer utvecklingsscenario. Till detta måste man även ta hänsyn till effekterna på övriga miljömål, se vidare under ”Avslutande diskussion”.

Kommunens rådighet

Örebros möjligheter att påverka kolinlagringen inom markanvändningssektorn borde främst ligga inom kommunens roll som planerare och förvaltare av mark, samt genom att, som man skriver i Miljömålsprogramet (Örebro kommun 2010b), ”skapa förutsättningar för ett hållbart samhälle på lokal nivå. Det måste vara enkelt och lönsamt för individer, företag och organisationer att agera på ett sätt som gör att vi når miljömålen.”

Kommunen har planmonopol och genom översiktsplanen beslutar kommunen om riktlinjer för hur mark och vatten ska användas (Plan- och bygglagen 2010). Detaljplaner och områdesbestämmelser innehåller juridiskt bindande bestämmande hur mark och vatten ska användas (Plan- och bygglagen 2010). För att göra planering hållbar ur ett klimatperspektiv kan nyckeltal för förändring av växthusgaser vid förändrad markanvändning vara en hjälp (se diskussion angående nyckeltal under ”Framtida klimatarbete...”). Genom att använda sig av ett hållbart skogs- och jordbruk på kommunens egna innehav av mark, 5000 ha skog och 2000 ha jordbruksmark, kan man även få större genomslagskraft genom att vara ett föredöme för andra. Idag finns inte mig veterligen klimatplaner inom Sveriges kommuner med mål inom markanvändningssektorn. Örebro kommun kan här verka för förändringar även på en nationell nivå. Även kommunens roll som upphandlare är viktig i kommunens miljöarbete (Örebro kommun 2010b). Genom att minska köttkonsumtionen samt välja lokalt naturbeteskött där detta är möjligt kan kommunen påverka kolinlagringsförmågan inom markanvändningssektorn både lokalt och globalt (Beckman och Isaksson 2009).

I de nu gällande planerna för Örebro finns inga mål för markanvändningssektorn där klimatargument är initiativet (Örebro kommun 2006, 2010, 2010a och 2010b). Generella mål för att minska utsläppen (Örebro kommun 2010 och 2010b) samt andra mål om att exempelvis värna och utveckla stadens grönområden (Örebro kommun 2006) eller förtäta staden istället för att glesa ut (Örebro kommun 2010a) är dock relevanta och kan bidra till för klimatet positiv markanvändning.

Rekommendationer till kommunens klimatarbete inom markanvändningssektorn

- Inkludera markanvändningsperspektivet i klimatplanen, översiktsplanen och miljömålen. Örebro kommun har ett varierat landskap vilket gör att det bör finnas goda möjligheter att påverka kolinlagringen på ett positivt sätt. Att inkludera markanvändningen i kommunens planer är innovativt och det krävs vidare utredning för att nå bästa resultat. Det även lämpligt att ställa sig frågan hur likt kommunens beräkningar och arbetssätt ska vara de nationella när det gäller markanvändningssektorn. Jag rekommenderar att kommunen även inkluderar våtmarker samt sjöar och vattendrag eftersom det är viktigt med en helhetsbild och markanvändning i avrinningsområdena kan skapa effekter i växthusgasemissionerna från sjöar och våtmarker.

- Bokföring/tillgodoräkning. Ett problem som jag ser är att sätta upp mål för en ökning av kolinlagringen samtidigt som detta inte ska dra ner på utsläppsminskningarna inom de fossila sektorerna. Detta är även en av anledningarna till att markanvändningssektorn inte ingår i de svenska miljömålen idag och bara i begränsad utsträckning under Kyotoprotokollet (Lundblad 2010). Det handlar om hur man väljer att tillgodoräkna sig inlagringen. Inlagringen i mark och vegetation har alltid existerat men den har minskat genom att människan har tagit mark i anspråk. Sett i det perspektivet borde utsläppen från andra sektorer minska, eller rent av ta upp koldioxid, för att kompensera den förlust av kolinlagring som skett. Jag rekommenderar att kommunen inkluderar markanvändningssektorn i framtida planer för vi behöver vara rädda om våra naturliga kolsänkor. Jag rekommenderar däremot inte att kommunen räknar dem som kompensation för de fossila utsläppen. Kolinlagringen är känslig för störningar och en inlagring är inte med säkerhet bestående (Regeringens proposition 2008/09).

- Fortsätta arbetet med vilka konsekvenser olika typer av markanvändning kan få för klimatet. Jag föreslår djupare utredningar angående bland annat förändrad markanvändning, skogsbruksmetoder, jordbruksmetoder och brukningsmetoder för våtmarker (exempelvis torvbrytning och våtmarksslåtter). Dessa utredningar bör behandla potentialen för ökad kolinlagring i kommunen inklusive effekten från övriga växthusgaser samt påverkan på andra miljömål (se "Avslutande diskussion"). Även biofysiska egenskaper så som markytans reflekteringsförmåga påverkar den totala klimateffekten av en förändrad markanvändning (Canadell et. al. 2010).

- Ta fram nyckeltal. Diskussionen angående var det ur klimatperspektiv är lämpligast att anlägga våtmarker visar på att nyckeltal kan vara ett användbart verktyg. Framförallt vid framtagningen av översiktsplanen och detaljplaner kan detta vara ett redskap för att få med ännu ett perspektiv på klimatfrågan som saknas idag. Beroende på var man väljer att expandera med bebyggelse, exempelvis på gammal industrimark eller på skogsmark, påverkar kolinlagringen i olika stor utsträckning. Dessa nyckeltal skulle eventuellt kunna arbetas fram med hjälp av de nationella värden för kolinlagring som finns (Naturvårdsverket 2011b). Ett markområde som har bytt markkategori rapporteras nationellt inom kategorin "Förändrad markanvändning" i 20 år (Naturvårdsverket 2011). Nyckeltalen borde dock rymma ett längre tidsperspektiv och ta med hänsyn till förändringar i utsläpp och upptag av övriga växthusgaser. En viktig fråga att ställa sig är även om all nybyggnation är nödvändig för hållbarutveckling.

- Örebro kommuns påverkan på markanvändningen utanför kommungränsen. Klimatplanen (Örebro kommun 2010) strävar efter att arbeta med den totala klimatbelastning som kommunen ger upphov till, oberoende av var den inträffar. Effekten av vad kommunen importerar och exporterar behöver därför vägas in för att ge en rättvisande bild. Detta är inget som jag har behandlat i min undersökning men det är viktig fråga i många aspekter som jag rekommenderar att man arbetar med den.

- Ta hänsyn till övriga miljömål (se avslutande diskussion nedan).

Avslutande diskussion om övriga aspekter

Att inkludera markanvändningssektorn i nästa klimatplan skulle kunna bidra till att föra Örebro kommun mot en klimatvänligare framtid. När kommunen har prioriterat i klimatplanen har man även beaktat sidovinster och målkonflikter (Örebro kommun 2010). Insatser för att öka kolinlagringen får inte ske till vilket pris som helst. Ett av problemen med klimatförändringen är att våra ekosystem har svårt att anpassa sig till ett annat klimat i den snabba takt som uppvärmningen sker idag (Thomas et al. 2004). Det behövs motståndskraftiga ekosystem för att klara detta på bästa sätt (Walker et al. 2004). Detta har inte enbart betydelse för naturen i sig utan även för de ekosystemtjänster som människan utnyttjar (Folke et al. 2010). Detta är även synsättet i propositionen om de nya miljömålen (Regeringen proposition 2009/10:155) där ekosystemtjänster fått en mer framträdande roll och hållbart nyttjande av marken framhålls. Om exempelvis intensivodling av skog lagrar mer kol men samtidigt bidrar till att göra ekosystemen sårbarare (Gustafsson et al. 2009) försvinner nyttan.

På liknande sätt uppskattar jag att en bevarad och/eller ökad kolinlagring kan bidra till positiva effekter för ekosystemen. Här kommer därför en kort summering av vad arbete med kolinlagringen i mark kan innebära för andra miljömål.

- Att vid utbyggnation välja att förtäta staden och bygga på redan hårda ytor istället för att bygga på exempelvis skogsmark. Detta skulle förutom att ta bort den negativa effekten av minskad kolinlagring, även bidra till miljömålet ”Ett klimat i balans” genom besparingar i exempelvis trafik samt ”Levande skogar” och ”Ett rikt växt- och djurliv” genom bevarandet av skogar.
- Att anlägga våtmarker på organogen jordbruksmark skulle, förutom att minska kolavgivningen från marken, bidra till att nå målet ”Myllrande våtmarker”, ”Ett rikt växt- och djurliv” och ”Ingen övergödning”. (Hänsyn bör dock tas till övriga växthusgaser och den totala klimatpåverkan.)
- Att minska avverkningstakten bidrar förutom till att öka kolinlagringen även till att nå målet för ”Levande skogar” och ”Ett rikt växt- och djurliv”.

Det är viktigt att ha ett brett perspektiv när det gäller klimatfrågorna. I klimatplanen (Örebro kommun 2010) beskriver man vikten av att inte riskera förutsättningarna för liv som vatten, livsmedel och ekosystemtjänster. Det är uppenbart att vissa kolinlagringshöjande metoder kan bidra till negativa effekter för andra miljömål. Jag uppmanar därför till ökad kolinlagring inom markanvändningssektorn då dessa insatser medför positiva effekter för övriga miljömål och inte till negativa, så att vi kan möta klimatförändringarna med ett så motståndskraftigt ekosystem som möjligt.

Tack

Jag vill rikta ett stort tack till mina handledare Anders Lindroth på Lunds universitet och Malin Isaksson på Klimatkontoret i Örebro för att ni har trott på mina idéer och stöttat mig genom arbetsprocessen. Jag vill tacka för den fina stämning och arbetsmiljö som jag har upplevt på Klimatkontoret, och alla arbetskamrater som har bidragit till den. Ett extra tack till Pär Ljungqvist och Per Elvingsson på Klimatkontoret för era kommentarer kring mitt arbete. Jag vill tacka Anita Iversen på Stadsbyggnadskontoret samt Sven-Erik Svensson och Jan Eriksson på GIS-utvecklingsenheten för den hjälp ni gett mig inom GeoMedia. Jag vill även tacka Johan Stendahl, Erik Karlton och Mattias Lundblad på SLU för den handledning ni gett mig angående beräkningar av kolinlagring från de nationella inventeringarna samt data ni delat med er av. Jag vill tacka David Bastviken, Sebastian Sobek, Torben R. Christensen och Mats Nilsson för era tips angående vatten och våtmarksberäkningarna och Alf Ekblad på Örebro universitet för de tankar och idéer du väckt.

Referenser

- Algesten, G., Sobek, S., Bergström, A. K., Ågren, A., Tranvik, L. J., Jansson, M. 2003. Role of lakes for organic carbon cycling in the boreal zone. *Global Change Biology* 10:141-147.
- Bastviken, D., Cole, J., Pace, M., Tranvik, L. 2004. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. *Global Biogeochemical cycles*. 18, GB4009, doi:10.1029/2004GB002238
- Bastviken, D., Tranvik, L. J., Drowing, J. A., Crill, P.M., Enrich-Prast, A. 2011. Freshwater Methane Emissions Offset the Continental Carbon Sink (inklusive Supporting Online Material), *Science* 331:50.
- Beckman, M., Isaksson, M. 2009. Matkonsumtionen klimatpåverkan i Örebro kommun nuläge och trender. Underlagsrapport till Klimatplanens fokusområde matkonsumtion. Örebro kommun. s.1-15.
- Berglund, Ö., Berglund, K., Sohlenius, G. 2009. Organogen jordbruksmark i Sverige 1999-2008. Sveriges Lantbruksuniversitet. Uppsala. s.1-27. Rapport 12. ISSN: 1653-6797
- Canadell, G. J., Ciais, P., Dhakal, S., Dolman, H., Friedlingstein, P., Gurney, R. K., Held, A., Jackson, R. B., Le Quèrè, C., Malone, M. L., Ojima, D. S., Patwardhan, A., Peters, G. P., Raupach, M. R. 2010. Interactions of the carbon cycle, human activity, and the climate system: a research portfolio. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2:301–311 DOI 10.1016/j.cosust.2010.08.003
- Eriksson, J., Mattsson, L., Söderström, M. 2010. Tillståndet i svensk åkermark och gröda Data från 2001-2007. Naturvårdsverket. Stockholm. Rapport 6349. s.131.
- Folke, C., S. R. Carpenter, B. Walker, M. Scheffer, T. Chapin, and J. Rockström. 2010. Resilience thinking: integrating resilience, adaptability and transformability. *Ecology and Society* 15(4): 20. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss4/art20/>
- Global carbon project. 2010-11-21. Carbon Budget 2009. An annual update of the global carbon budget and trends. [<http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/09/hl-full.htm>], hämtad 2011-03-22.
- Grelle, A., Aronsson, P., Weslien, P., Klemedtsson, L., Lindroth, A. 2007. Large carbon-sink potential by Kyoto forests in Sweden—a case study on willow plantations. *Tellus*. 59: 910-918.
- Gustafsson, L., Dahlberg, A., Green, M., Henningsson, S., Hägerhäll, C., Larsson, A., Lindelöw, Å., Lindhagen, A., Lundh, G., Ode, Å., Strengbom, J., Ranius, T., Sandström, J., Svensson, R. & Widenfalk, O. 2009. Konsekvenser för kulturarv, friluftsliv, landskapsbild och biologisk mångfald. Faktaunderlag till MINT-utredningen. Sveriges Lantbruksuniversitet. Rapport. ISBN 978-91-86197-45-2. s.208.
- Hyvönen, R., Persson, T., Andersson, S., Olsson, B., Ågren, G. I., Linder, S. 2008. Impact of long-term nitrogen addition on carbon stock in trees and soils in northern Europe. *Biochemistry* 89:121-137.
- Huttunen, J. T., Alm, J., Liikanen, A., Juutinen, S., Larmola, T., Hammar, T., Silvola, J., Martikainen, P. J. 2003. Fluxes of methane, carbon dioxide and nitrous oxide in boreal lakes

and potential anthropogenic effects on aquatic greenhouse gas emission. *Chemosphere*. 52(3): 609-621

IPCC. Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., Davidson, O., Hare, W., Huq, S., Karoly, D., Kattsov, V., Kundzewicz, Z., Liu, J., Lohmann, U., Manning, M., Matsuno, T., Menne, B., Metz, B., Mirza, M., Nicholls, N., Nurse, L., Pachauri, R., Palutikof, J., Parry, M., Qin, D., Ravindranath, N., Reisinger, A., Ren, J., Riahi, K., Rosenzweig, C., Rusticucci, M., Schneider, S., Sokona, Y., Solomon, S., Stott, P., Stouffer, R., Sugiyama, T., Swart, R., Tirpak, D., Vogel, C., Yohe, G. 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Report.

IPCC. Forster, P. V., Ramaswamy, P., Artaxo, T., Berntsen, R., Betts, D.W., Fahey, J., Haywood, J., Lean, D.C., Lowe, G., Myhre, J., Nganga, R., Prinn, G., Raga, M., Schulz, Van Dorland, R. 2007a. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jonsson, M. och Wardle, D. 2010. Structural equation modelling reveals plant-community drivers of carbon storage in boreal forest ecosystem. *Biology Letters* 6:116-119.

Karlton, E., Jacoson, A., Lennartsson, T. 2010. Inlagring av kol i betesmark. *Jordbruksverket. Jönköping*. s. 44. Rapport 2010:25

Karlton, E. 2011. 2011-02-11. Skriftligen. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Karlton, E. 2011a. 2011-03-03. Skriftligen. Sveriges Lantbruksuniversitet.

Kasimir-Klemedtsson, Å., Nilsson, M., Sundh, I., Svensson, B. 2001. Växthusgasflöden från myrar och organogena jordar. *Naturvårdsverket. Stockholm*. s. 56. Rapport 5132.

Kätterer, T., Andersson, L., Andren, O., & Persson, J. 2008. Long-term impact of chronosequential land use change on soil carbon stocks on a Swedish farm. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 81: 145-155.

Lennartsson, L. Simonsson, L. 2007. Biologisk mångfald och klimatförändringar Vad vet vi? Vad behöver vi veta? Vad kan vi göra? Underlagsrapport till Klimat- och sårbarhetsutredningen, på uppdrag av Naturvårdsverket. Centrum för Biologisk Mångfald. s. 79.

Le Quéré, C., Raupach, R. M., Canadell, J. G., Marland, G., Bopp, L., Ciais, P., Conway, T. J., Doney, S. C., Feely, R. A., Foster, P., Friedlingstein, P., Gurney, K., Houghton, R. A., House, J. I., Huntingford, C., Levy, P. E., Lomas, M. R., Majkut, J., Metzl, N., Ometto, J. P., Peters, G. P., Prentice, I. C., Randerson, J. T., Running, S. W., Sarmiento, J. L., Schuster, U., Sitch, S., Takahashi, T., Viovy, N., van der Werf, G. R., Woodward, F. I. 2009. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nature Geoscience*. 2:831-836

Lindroth, A. 2011-03-28 muntligen. *Naturgeografi och Ekosystemanalys. Lunds universitet. GeoCentrum*.

Liski, J., Repo, A., Känkänen, R., Vanhala, P., Seppälä, J., Antikainen, R., Grönroos, J., Karvosenoja, N., Lähtinen, K., Leskinen, P., Paunu V-V., Tuovinen, J-P. 2011.

Metsäbiomassan energiakäytön ilmastovaikutukset Suomessa, The Finnish Environment 5/2011. pp. 43. ISBN 978-952-11-3840-9 (pdf), ISSN 1796-1637 (online).

Lund, M., Lafleur, M. P., Roulet, T. N., Lindroth, A., Christensen, R. T., Aurela, M., Chojnicki, H. B., Flangan, B. L., Humphreys, R. E., Laurilas, L., Oechel, C. W., Olejnik, J., Rinne, J., Schubert, P., Nilsson, M. B. 2010. Variability in exchange of CO₂ across 12 northern peatland and tundra sites. *Global Change Biology* 16: 2436-2448.

Lundström, A., Duvemo, K., Oritz, C. 2009. Prognoser för markanvändningssektorn-2030. I: Lundblad, M. (red.). Flöden av växthusgaser från skog och annan markanvändning. Slutrapport regeringsuppdrag Jo 2008/3958. Sveriges Lantbruksuniversitet. s.37-47.

Luysaert, S., Schulze, D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, A., Law, B. E., Ciais, P., Grace, J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.

Lundblad, M. 2010. Miljöövervakningen bidrar till den internationella kolrapporteringen. I: Naturvårdsverket. 2010. Skog och mark- om tillståndet i Svensk landmiljö. Naturvårdsverket. Stockholm. s.8-10.

Naturvårdsverket. 2007. Myllrande våtmarker. Underlagsrapport till fördjupad utvärdering av miljömålsarbetet. Naturvårdsverket. Stockholm. s.134. Rapport 5771.

Naturvårdsverket. 2010-05-31. Miljömålportalen, delmiljömål [<http://www.miljomal.se/11-Myllrande-vatmarker/Delmal/Vatmarker-i-odlingslandskapet-2010/>], hämtad 2011-03-12.

Naturvårdsverket. 2011. National Inventory Report 2011: Sweden. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Naturvårdsverket. s. 367.

Naturvårdsverket. 2011a. National Inventory Report 2011: Sweden: Annexes. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol. Naturvårdsverket. s. 152.

Naturvårdsverket. 2011b. CRF-tabell för inventeringar fram till och med 2008. [http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/5270.php], Hämtad: 2011-03-10

Nilsson, M., Mikkilä, C., Sundh, I., Granberg, G., Svensson, B.H, Ranney, B. 2001. Methane emission from Swedish mires: National and regional budgets and dependence on mire vegetation. *Journal of Geophysical research*. 106:20 847-20 860.

Nilsson, M., Sagerfors, J., Buffam, I., Laudon, H., Eriksson, T., Grelle, A., Klemedtsson, L., Weslien, P., Lindroth, A. 2008. Contemporary carbon accumulation in a boreal oligotrophic minerogenic mire – a significant sink after accounting for all C-fluxes. *Global Change Biology* 14:1-16.

Nilsson, M. 2011-09-06 skriftligen. Professor in Soil Science, Biogeochemistry. Sveriges Lantbruksuniversitet. Department of Forest Ecology & Management. Umeå

Olsson, M., Lundin, L., Lode, E. 2002. Utredning rörande torvutvinningens effekter för växthusgaser. Sveriges Lantbruksuniversitet. Bilaga 3 i Uthållig användning av torv SOU 2002:100

Olsson P, Linder S, Giesler R, Högberg P. 2005. Fertilization of boreal forest reduces both autotrophic and heterotrophic soil respiration. *Global Change Biology* 11(10): 1745-1753.

Pettersson, H., Lundblad, M., Karlton, E. 2009. Utsläpp och upptag av växthusgaser enligt nuvarande regelverk. I: Lundblad, M. (red). Flöden av växthusgaser från skog och annan markanvändning. Slutrapport regeringsuppdrag Jo 2008/3958. Sveriges Lantbruksuniversitet. s.14-34

Plan- och bygglagen. 2010:900. Utfärdad: 2010-07-01. Ändring införd: t.o.m. SFS 2010:1983 Regeringskansliets rättsdatabaser. Hämtad: 2011-03-22

Regeringens proposition 2008/09:162. En sammanhållen klimat- och energipolitik : klimat. Regeringskansliet. Stockholm. s. 242.

Regeringens proposition 2009/10:155. Svenska miljömål- för ett effektivare miljöarbete. Regeringskansliet. Stockholm. s. 248.

Sathre, R., Gustavsson, L., Bergh, J. 2010. Primary energy and greenhouse gas implications of increasing biomass production through forest fertilization. *Biomass and energy* 34:572-581

Sathre, R. och O`Connor, J. 2010a. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy* 13:104-114.

Schrier-Uijl, A. P., Verarrt, A. J., Leffarlaar, P. A., Berendse, F., Veenendaal, E. M. 2011. Release of CO₂ and CH₄ from lakes and drainage ditches in temperate wetlands. *Biogeochemistry* 102:265–279.

Schlesinger W. H. 1997. *Biogeochemistry: an analysis of global change*. 2nd ed. Academic Press. San Diego, California. pp. 588.

Skogsstyrelsen. 2007. Kvävegödsling av skogsmark. Jönköping. s. 25.

SMHI. 2008. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. Sveriges sjöar. Faktblad nr. 39. Norrköping. s. 4.

SMHI. 2009. Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut. [<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/vegetationsperiod-1.6270>], hämtad 2011-03-12.

Stadmark, J., Leonardson, L. 2005. Emissions of greenhouse gases from ponds constructed for nitrogen removal. *Ecological Engineering* 25:542–551

Sveriges Lantbruksuniversitet. 2010. Skogsdata. Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen. Umeå. s. 119.

Sveriges Lantbruksuniversitet. 2010a-12-28. Markinventeringen. [<http://www.slu.se/sv/centrumbildningar-och-projekt/markinventeringen/bakgrund/mer-om-mi/>], hämtad 2011-03-07.

Søvik, A. K., Augustin, J., Heikkinen, K., Huttunen, J. T., Necki, J. M., Karjalainen, S. M., Kløve, B., Liikanen, A., Mander, U., Puustinen, M., Teiter, S., Wachniea, P. 2006. Emission of the Greenhouse Gases Nitrous Oxide and Methane from Constructed Wetlands in Europe. Published in *J. Environ. Qual.* 35:2360–2373

Thomas. C. D., Cameron. A., Green R. E., Bakkenes. M., Beaumont L. J., Collingham. Y. C., Erasmus B. F. N., de Siqueira. M. F., Grainger. A., Hannah. L., Hughes. L., Huntley. B., van Jaarsveld. A.S., Midgley. G. F., Miles. L., Ortega-Huerta. M. A., Townsend Peterson. A.,

- Phillips, O. L., Williams S. E. 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148
- Tolonen, K., Turunen, J. 1996. Accumulation rates of carbon in mires in Finland and implications for climate change. *The Holocene* 6: 171-178
- UNFCCC. United Nations Framework Convention on Climate Change. 1992. United Nations. Rio. pp. 24.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., Kinzig, A. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. *Ecology and Society* 9(2): 5. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>
- Örebro kommun 2006. Örebro grönstruktur. Örebro. s. 110.
- Örebro kommun. 2010. Klimatplan för Örebro kommun. Örebro. s.68.
- Örebro kommun. 2010a. Vårt framtida Örebro. Översiktsplan för Örebro kommun. Örebro. s. 106.
- Örebro kommun. 2010b. Miljöprogram för Örebro kommun. Örebro kommuns miljömål och prioriteringar i miljömålsarbetet. Örebro. s. 48.
- Ågren, G., Hyvönen, R., Nilsson, T. 2008. Are Swedish forest soils sinks or sources for CO₂-model analyses based on forest inventory data. *Biogeochemistry* 89:139-149.

Bilaga

Arbetsnamn	Namn på kartskikt	Referens	Hämtad från	Genomförda beräkningar
ORGANISKA OCH MINERALA JORDARTER	jogi_a_jg2 ("lokal") jogi_a_jd3 ("lokal") jogi_a_jy1 ("lokal") jolc_jg2("regional") jolc_jy1("regional")	Sveriges Geologiska Undersökning. 1:50K och 100K- jordartsdatabaser över Örebro kommun. ArcView Shape- format Koordinatsystem: SWEREF99 TM	Sveriges Geologiska Undersökni ngar Beställd 2011-01-27	Sammanslagning av de organogena jordarterna: "torv, mosse", "torv, blandmyr", "torv, kärr", "gyttja", "lergyttja-gyttjelera", "torv". Minus det som ligger utanför "KOMMUNGRÄNS". Övrig mark räknas som minerogen dvs. "KOMMUNGRÄNS" minus "ORGANOGENA JORDAR".
SKOGSMARK	Lövskog Barrskog	Lantmäteriet www.metria.se Uppdaterad mellan 2007-2009	GeoMedia- under GSD fastighetska rtan 1:10 000 markdata. Beställd av kommunen från metria under 2010	Sammanslagning av skogstyperna "lövskog", "barrskog", minus "BEBYGGDMARK". Minus det som ligger utanför "KOMMUNGRÄNS" Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar För beräkningar av Översiktplanen: minus "ÖVERSIKTPLANEN"
JORDBRUKS- MARK	Åkermark	Lantmäteriet www.metria.se Uppdaterad mellan 2007-2009	GeoMedia- under GSD fastighetska rtan 1:10 000, markdata Beställd av kommunen från metria under 2010	Sammanslagning av "åkermark", minus "BEBYGGDMARK". Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar. För beräkningar av Översiktplanen: minus "ÖVERSIKTSPLANEN"
BETESMARK	Öppenmark* ¹	Lantmäteriet www.metria.se Uppdaterad mellan 2007-2009	GeoMedia- under GSD fastighetska rtan 1:10 000, markdata Beställd av kommunen från metria under 2010	Sammanslagning av "öppenmark", minus "tätort"*,"VÅTMARK","BEBYGG DMARK". Minus det som ligger utanför "KOMMUNGRÄNS" Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar

				För beräkningar av Översiktplanen: minus "ÖVERSIKTSPLANEN"
VÅTMARKER	Våtmarker med höga naturvärden	Länsstyrelsen våtmarksinventering Fältinventering och flygbildstolkning 1993-1994 Koordinatsystem: RT90 2,5 gon V Senaste uppladdningsdatum 2002-01-27	GeoMedia – under Länsstyrelsen	Sammanlagning av "våtmarker med höga naturvärden" inom kommunen, minus "SKOGSMARK", "BEBYGGDMARK", "VATTEN". Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar För beräkningar av Översiktplanen: minus "ÖVERSIKTSPLANEN"
BEBYGGDMARK	NVDB Vägtrafiknät	NationellaVägDataBasen, Trafikverket	GeoMedia- under trafikverket Hämtad av kommunen 2010-08	Buffer zon på 4,5m för "vägtrafiknät NVDB", "järnväg" minus "vatten". "Öppenmark" minus det som ligger utanför "tätort"*. Sammanlagning av det som ligger inom kommungränsen av "vägtrafiknät NVDB", "järnväg", "byggnader", "öppenmark", "Bebyggelse låg", "Bebyggelse hög", "Bebyggelse tät", "Industri".
	Öppenmark Bebyggelse låg Bebyggelse hög Bebyggelse tät Industriområden Byggnader Järnväg	Lantmäteriet www.metria.se Uppdaterad mellan 2007-2009	GeoMedia- under GSD fastighetskartan 1:10 000, markdata Beställd av kommunen från metria under 2010	Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar
ANNAN MARK	-	-	-	Mark som saknar annan tillhörighet. Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar För beräkningar av Översiktplanen: minus "ÖVERSIKTSPLANEN"

ÖVERSIKTS- PLANEN (bebyggd mark i Örebro kommun 2010a)	Reservat för ny järnväg	Örebro kommuns översiktsplan antagen 2010-03- 24	GeoMedia- under Översiktspl anen 2012- ställningsta ganden	Eget skapat linjeskikt för ” Reservat för ny järnväg” ID: 7875, 7583, 7459, 7374, 7539, 7992.
	Framtida tvärförbindelse för kollektivtrafik Planerad huvudlänk Planerad lokalgata Planerad huvudgata Planerad genomfart Planerad cykelväg			Sammanslagning av ”Framtida tvärförbindelse för kollektivtrafik”, ”Planerad huvudlänk/lokalgata/huvudgata /genomfart/cykelväg”, ”Eget skapat linjeskikt för järnvägsreservat”. Buffer zon på 4,5m. Minus den befintliga ”BEBYGGD MARK”. Minus det som ligger utanför ”KOMMUNGRÄNS”
	Planerad uppställningsplats för farligt gods Utbyggnadsområde bostäder Utbyggnadsområde blandat Utbyggnadsområde verksamheter Utbyggnadsområde Handel Utbyggnadsområde universitetsanknytnav erksamheter Utbyggnadsområde avfallsanläggning Bostäder övrigt ställningstagande Verksamheter övrigt ställningstagande Planerade koloniträdgårdar Yta för järnvägsändamål Utredningsområde för järnvägsändamål			Sammanslagning av ” Planerad uppställningsplats för farligt gods”, ” Utbyggnadsområde bostäder/ blandat/verksamheter/handel /universitetsanknytnaverksamheter/ avfallsanläggning”, ”Bostäder övrigt ställningstagande”, ”Verksamheter övrigt ställningstagande”, ”Planerade koloniträdgårdar”, ”Yta för järnvägsändamål”, ”Utbredningsområde för järnvägsändamål”. Minus den befintliga ”BEBYGGD MARK” och sedan sammanslagning med det beräknade skikten för översiktsplanens vägar och järnvägar. Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar
KOMMUN- GRÄNS	Kommungräns	Lantmäteriet www.metria.se	GeoMedia- under Kommunöv ersikt 1:400 000 Beställd av metria	Sammanslagning av ”kommungräns”

			2010-02	
VATTEN	Vatten	Lantmäteriet www.metria.se Uppdaterad mellan 2007-2009	GeoMedia- under GSD fastighetska rtan 1:10 000, markdata Beställd av kommunen från metria under 2010	Sammanslagning av "vatten" Minus det som ligger utanför "KOMMUNGRÄNS". Senare uppdelat i organogena jordar respektive minerogena jordar. För beräkningar av Översiktplanen: minus "ÖVERSIKTSPLANEN"
NYANLAGDA VÅTMARKER	Nyanlagda våtmarker	Länstyrelsen Från flygbildstolkning och fältinventering (stjärndigitaliserin g) 1993-1994 Revisionsdata 2007-07	Hämtat från Länsstyrels en 2011-02- 01	Sammanslagning av "Nyanlagda våtmarker" inom kommunen. Minus "VATTEN", "VÅTMARK".
MARKAV- VATTNADE OMRÅDEN	Båtnadsområde för dikningsföretag	Länstyrelsens senaste uppladdningsdatu m : 2010-06-16 RT90 2,5 gon V	GeoMedia – under länstyrelsen Medta data uppd. 2010- 07-01	Sammanslagning av " Båtnadsområde för dikningsföretag" som ligger inom kommunen. Minus "VATTEN", "VÅTMARKER", "NYANLAGGDA VÅTMARKER". Senare uppdelat på den befintliga markanvändningen

Tabell 2:

* Referens till skiktet "tätort" GeoMedia- under GSD översiktskarta lantmäteriet. Beställd av kommunen från metria 2010-02

*¹I skiktet "öppenmark" ingår betesmark, torg, gräsytor, banvallar mm. För att få en bild av vad av detta som ändå är betesmark har jag gjort en generalisering; utanför "tätort" är betesmark och innanför "tätort" som hård yta.



LUNDS UNIVERSITET

Miljövetenskaplig utbildning

Centrum för klimat- och
miljöforskning

Ekologihuset

22362 Lund