



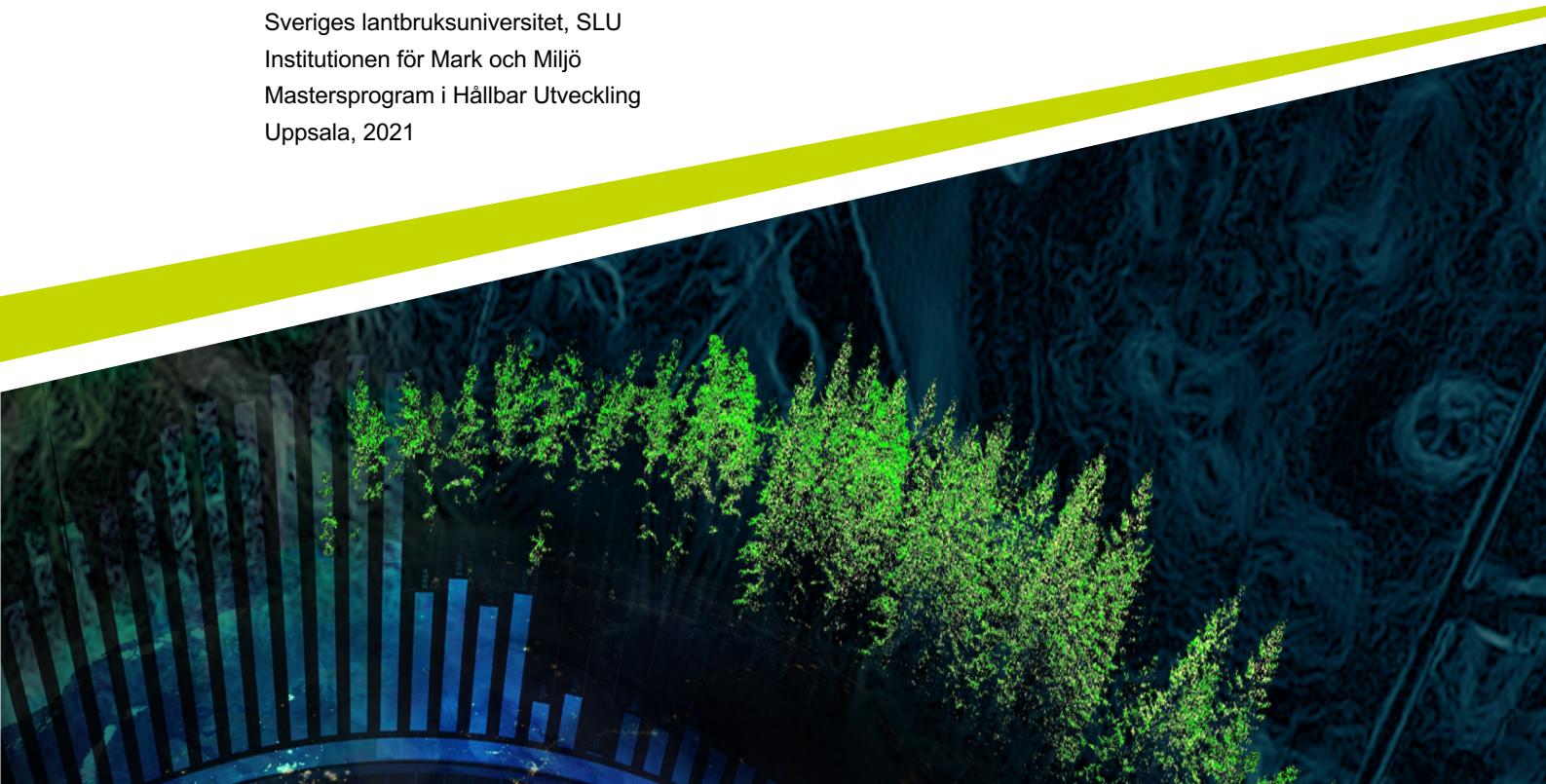
Markanvändning och kolbalans

– beräkning av nettoutsläpp av koldioxid för SLU:s markanvändning

Land use and Carbon balance – calculations of net carbon dioxide emissions for SLU's land use

Camilla Lindberg

Examensarbete/Självständigt arbete • (30 hp)
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för Mark och Miljö
Mastersprogram i Hållbar Utveckling
Uppsala, 2021



Markanvändning och kolbalans – beräkning av nettoutsläpp koldioxid för SLU:s markanvändning

Land Use and Carbon balance – calculations of net carbon dioxide emissions for SLU's land use

Camilla Lindberg

Handledare: Johan Stendahl, SLU, Institutionen för Mark och Miljö
Bitr. handledare: Mattias Lundblad, SLU, Institutionen för Mark och Miljö
Examinator: Anna Mårtensson, SLU, Institutionen för Mark och Miljö

Omfattning: 30hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: **Självständigt arbete i Miljövetenskap**
Kurskod: **EX0897**
Program/utbildning: **Mastersprogram i Hållbar Utveckling**
Kursansvarig inst.: **Institutionen för Mark och Miljö**

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2021

Nyckelord: markanvändning, koldioxidberäkning, klimatrapporering, skogsmark, åkermark, betesmark

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakultet

Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap, Fakulteten för skogsvetenskap

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Hotet som klimatförändringarna utgör för mänskligheten och vår värld som vi känner den är betydande – och SLU är med och bidrar till lösningar på detta hot på flertalet områden. Att ha egna miljömål för universitets verksamhet är ett sätt att aktivt sträva mot att minska påverkan på klimatet. SLU har som mål att vara klimatneutralt år 2027. Detta betyder att utsläppen av växthusgaser, främst koldioxid, ska vara lika med noll. Kartläggningen av var koldioxidutsläpp sker är viktig för identifieringen av vad som krävs för att minska dessa utsläpp

SLU äger omkring 6000 hektar land i olika delar av Sverige, det rör sig främst om skogsmark och jordbruksmark. Hur dessa markområden påverkar klimatet är intressant och viktigt att ta reda på – vilket också är syftet med denna rapport. Målet är att räkna ut hur mycket koldioxid som antingen släpps ut eller tas upp av marken som SLU äger.

Hur en mark används, eller brukas, påverkar nämligen hur kol och koldioxid flödar genom ett ekosystem. Skogar omnämns ofta som jordens lungor och det är just därför att de ”andas” in koldioxid – det vill säga växter tar upp det från atmosfären när de växer. Kolet som sedan finns lagrat i träd och mark kan även släppas ut på olika sätt, tex genom att växtdelarna dör och förmultnar eller att träd huggs ned och förbränns.

Kartläggningen över vilka marktyper som SLU äger visade att 43% av marken är åkermark, 33% skogsmark, 5,4% naturbetesmark och 4,3% långliggande vall. Övrig och bebyggd mark utgör sedan 13% tillsammans. Efter beräkningar av SLU:s markanvändning blev resultatet att skogsmarken tar upp mest kol, drygt 10000 ton koldioxid per år. Även SLU:s åkermark och betesmark tar upp mer kol än vad markerna släpper ut, sammanlagt omkring 1600 ton koldioxid tas upp från atmosfären varje år. Bebyggt och övrig mark har antagits vara i balans vad gäller upptag och utsläpp av koldioxid. Det gjordes även övergripande beräkningar för hur mycket lustgas som SLU:s åkermarker släpper ut och här uppgår utsläppet till 3900 ton koldioxidekvivalenter årligen.

Upptaget av koldioxid som SLU:s olika marker står för är idag större än de utsläpp som universitet har i andra delar av verksamheten. Detta behöver dock inte betyda att SLU redan idag är klimatneutrala – Sverige tex tillräknar sig inte markanvändningens upptag av koldioxid till landets mål om netto noll koldioxidutsläpp. Det finns åtgärder som kan vidtas för att öka upptaget av kol SLU:s marker ytterligare. För skogen kommer främst åtgärder som ökar tillväxten hos träden även öka upptaget av koldioxid, detta kan göras genom att gödsla skogsmarken exempelvis. För jordbruket kan ökad odling av vall, ökad användningen av stallgödsel eller fånggrödor öka upptaget av kol i åkermarken.

Siffrorna för SLU:s markanvändning kan nu inkluderas i de totala koldioxidrapporterna som sammanställs för hela universitetet.

Sammanfattning

SLU äger såväl skogsmark, åkermark som betesmarker runt om i Sverige som påverkar kolinlagring och utsläpp på olika sätt – denna rapport kartlägger denna kolbalans och beräknar årliga nettoutsläpp av koldioxidekvivalenter. Beräkningar för kolbalansen hos SLU:s markanvändning har inte tidigare gjorts och därmed inte inkluderats i universitets årliga rapport om koldioxidutsläpp. SLU:s markanvändning utgör totalt sett en sänka av kol och lagrar in drygt 12200 ton koldioxid varje år. Främst sker kolinlagring i universitets skogsmark som ensam står för nettoupptag på 10800 ton CO₂/år. Även åkermarken, naturbetesmarken och långliggande vall står sammantaget för en netto kolinlagring. Utsläpp av lustgas beräknades och åkermarken har ett utsläpp av lustgas i storleksordningen 3900 ton koldioxidekvivalenter per år. Sänkan markanvändningen utgör är större än SLU:s totala koldioxidutsläpp från andra sektorer, vilket betyder att universitet redan nu skulle kunna betraktas som klimatneutralt – vilket annars är målet för 2027. Rekommendationer kring åtgärder för att öka kolinlagringen ytterligare framhäver produktionshöjande åtgärder i skogsbruket, ökad vallodling på åkermarkerna samt användning av fånggrödor och stallgödsel för att öka kolinlagringen.

Nyckelord: markanvändning, koldioxidberäkning, klimatrapportering, skogsmark, åkermark, betesmark

Abstract

SLU owns forest land, arable land and pastures around Sweden that affect carbon storage and emissions in different ways - this report maps this carbon balance and calculates annual net emissions of carbon dioxide equivalents. Calculations for the carbon balance of SLU's land use have not previously been made and thus not included in the university's annual report on carbon dioxide emissions. SLU's land use constitutes a net sink of carbon and stores just over 12200 tonnes of carbon dioxide each year. Carbon is mainly stored in the university's forest land, which alone accounts for net uptake of 10800 tonnes of CO₂/year. Arable land, natural grazing land and long-lying meadows together also account for net carbon storage. Emissions of nitrous oxide were calculated and the arable land has an emission of nitrous oxide in the order of 3900 tonnes of carbon dioxide equivalents per year. The reduction in land use is greater than SLU's total carbon dioxide emissions from other sectors, which means that universities could already now be considered climate neutral - which is otherwise the goal for 2027. Recommendations regarding measures to increase carbon storage further emphasize production-increasing measures in forestry, increased grass cultivation on arable land and the use of catch crops and manure to increase carbon storage.

Keywords: land use, carbon dioxide calculations, climate reporting, forestry, arable land, grazing land

Förord

Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) ligger i framkant i forskning kring hållbar utveckling och markanvändning och har lång erfarenhet inom fortlöpande miljöanalys. Universitetet äger också, relativt till andra universitet i Sverige, stora markområden runt om i landet. I universitetets kontinuerliga miljöarbete utförs beräkningar på koldioxidutsläpp för hela organisationen, men inverkan av markanvändning inklusive skogsbruk har inte inkluderats tidigare då inga sådana beräkningar har gjorts.

SLU har som mål att vara klimatneutralt år 2027. Detta för att minska sin påverkan på klimatet. Det finns potential för markanvändningssektorn att bidra till minskade utsläpp genom åtgärder som ökar inlagringen av kol i marken. För att identifiera var denna potential finns, måste en kartläggning av markanvändningen hos SLU ske samt beräkningar av hur den nuvarande kolbalansen ser ut.

Innehållsförteckning

Table of Contents

1. Bakgrund.....	14
1.1. Klimatförändringar och växthuseffekten	14
1.2. Klimatrapportering.....	15
1.2.1. Klimatkonventionen	15
1.2.2. Kategorisering av utsläpp.....	16
1.2.3. SLU och klimatrapportering	17
1.3. Markanvändning och kolbalans	18
1.3.1. Kolets kretslopp i terrestra ekosystem.....	18
1.3.2. Skogsmark	19
1.3.3. Åkermark.....	21
1.3.4. Betesmark	22
1.4. SLU:s klimatarbete	23
1.5. Systemgränser.....	24
1.5.1. Skogsmark	24
1.5.2. Åkermark.....	24
1.5.3. Betesmark	25
1.5.4. Bebyggd och övrig mark.....	25
1.5.5. Tidsperspektiv	25
2. Metod	26
2.1. Insamling av data	26
2.2. Kolbalansberäkning för skogsmark	26
2.3. Kolbalansberäkning för åkermark.....	27
2.3.1. Kolbalansberäkningar i OdlingsPerspektiv	28
2.3.2. Lustgasutsläpp åkermark	28
2.3.3. Långliggande vall.....	28
2.4. Kolbalansberäkning för naturbetesmark	29
2.5. Kolbalansberäkning för bebyggd och övrig mark	29
3. Resultat.....	30
3.1. Kolinlagring för Skogsmark	31
3.2. Kolbalans i Åkermark	32
3.3. Långliggande vall.....	32

3.4.	Kolbalans i Betesmark	32
4.	Diskussion	34
4.1.	SLU:s totala koldioxidberäkningar	34
4.2.	Sverigecontext	34
4.3.	Känslighetsanalys för metodval	35
4.3.1.	Datatillgång	35
4.3.2.	Begränsningar i kalkylprogrammet	36
4.3.3.	Nödvändiga avrundningar och generaliseringar	37
4.4.	Framtiden	37
4.4.1.	Skogsmark - hur kan man öka kolförrådet?	38
4.4.2.	Åkermark - hur kan man öka kolförrådet?	40
4.4.3.	Gårdsspecifik diskussion för åkermarken	41
4.4.4.	Betesmark - bör man öka kolförrådet?	43
5.	Slutsats	44

Tabellförteckning

Tabell 1: Torrsvikt för trädslagen tall, gran och lövträd	25
Tabell 2: SLUs nettoutsläpp för markanvändningssektorn	28
Tabell 3: Årlig tillväxt och nettoutsläpp för SLU's skogsmark	29
Tabell 4: Nettoutsläpp för SLU's åkermark	30
Tabell 5: Nettoutsläpp för SLU's långliggande vall	30
Tabell 6: Nettoutsläpp för SLU's naturbetesmark	31

Figurförteckning

Figur 1: Sveriges nettuutsläpp från markanvändningssektorn	16
Figur 2: Arealfördelning av markanvändningsområden SLU	28
Figur 3: SLU's nettoutsläpp från markanvändningssektorn	29

Förkortningar

C	Kol
CH ₄	Metan
CO ₂	Koldioxid
CO ₂ -eq	Koldioxidekvivalent
FN	Förenta nationerna
FAO	Food and Agricultural Organisation
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ICBM	Introductory Carbon Balance Model
K-AL	Växttillgängligt kalium
m ³ /sk	Skogskubikmeter
N, P, K	Kväve, Fosfor, Kalium
N ₂ O	Lustgas
P-AL	Växttillgänglig fosfor
UNFCCC	United Nations Framework on Climate Change

1. Bakgrund

Kartläggning av utsläpp av växthusgaser är viktig för målsättning med minskade koldioxidutsläpp samt för ökad förståelse för kolcykeln och vart potentiella åtgärder bör riktas. ”Markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk” är en av kategorierna som ingår i klimatrapporeringen. Förståelse för hur kol flödar genom terrestra ekosystem är centralt för att förstå markanvändningens roll i den globala kolcykeln, samt förståelse för de processer som bidrar till eller kan bromsa in en ökad koldioxidkoncentration i atmosfären.

SLU:s koldioxidberäkningar för organisationen har tidigare inte inkluderat beräkningar för markanvändning. Därmed finns det ett behov av kartläggning över hur kolbalansen ser ut på SLU:s ca 6000 ha mark. Marken består av mestadels skogsmark, åkermark och betesmark.

Syftet med denna rapport är att beräkna kolbalansen för marker ägda av SLU samt identifiera möjliga åtgärder för att öka kolinlagringen i biomassa och marker.

1.1. Klimatförändringar och växthuseffekten

De kommande årtiondenas klimatförändringar kommer leda till störningar i både naturliga som mänskliga system på jorden. Redan idag har klimatförändringar påverkat ekosystem på samtliga kontinenter, samt hydrologiska cykeln med ökad snö- och isavsmältning och förändringar i nederbörd (IPCC, 2014a). Klimatförändringarna påverkar och kommer påverka biologisk mångfald i form av var arter kan överleva och röra sig, samt tillfällena av extremväder såsom torka, värmeböljor, översvämningar, och cykloner till exempel (IPCC, 2014a).

Vår tids klimatförändringar beror på mänsklig påverkan på jordens strålningsbalans. Stora mängder koldioxid har sedan industrialismens början släppts ut i atmosfären, främst på grund av utvinning och förbränning av fossilt kol (IPCC, 2013). Idag är det högre koncentration CO_2 i atmosfären än det har varit de senaste 800 000 åren (IPCC, 2013). 2019 passerade koldioxidkoncentrationen 410 ppm, vilket är en ökning med 48% sedan 1850 (NASA, 2021). Den atmosfäriska koldioxiden absorberar vissa våglängder solinstrålning, en växthuseffekt som är nödvändig för att jorden ska vara beboelig. Dock med ökande halter atmosfärisk koldioxid förskjuts strålningsbalansen och utgående strålning från jorden blir mindre än inkommande strålning från solen – detta leder till en global kontinuerlig uppvärmning av jordsystemet. Koldioxid är inte den enda så kallade växthusgasen

som bidrar till den globala uppvärmningen, även metan (CH₄) och lustgas (N₂O) ökar i atmosfären på grund av mänskliga aktiviteter.

Enligt FN:s klimatorgan krävs globala krafttag för att minska utsläpp av koldioxid om man vill förhindra katastrofala följder av klimatförändringarna, samt en förståelse för hur kol flödar i det globala systemet (IPCC, 2014a). Detta innefattar identifiering av viktiga sänkor och källor till kol, koldioxid och andra växthusgaser och omfattningen av dessa utsläpp och upptag.

1.2. Klimatrapportering

1.2.1. Klimatkonventionen

Under klimatkonferensen i Rio 1992 undertecknade FN:s medlemsstater Klimatkonventionen (UNFCC¹) om åtgärder mot klimatförändringar som sedan trädde sedan i kraft 1994. Det beslutades om att växthusgaser i atmosfären, främst koldioxid, måste begränsas genom internationellt samarbete "till en nivå som förhindrar farlig störning av klimatsystemet" (Naturvårdsverket, 2021a).

Kyotoprotokollet hör till Klimatkonventionen. Protokollet skrevs under 1997 och trädde i kraft 2005, och var en överenskommelse om att industrialiserade länder skulle minska sina årliga utsläpp av 6 växthusgaser med 5,2% jämfört med 1990 års nivåer under perioden 2008–2012. En andra åtagandeperiod löpte mellan 2012–2020 där parterna skulle minska sina utsläpp med 18% jämfört med 1990 års nivåer. Rapportering för "markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk" ingick i båda åtagandeperioderna där kolförrådsförändringar, växthusgasupptag och -utsläpp skulle redovisas. I andra åtagandeperioden hade även naturliga störningar och våtmarksdränering och restaurering lagts till utöver att rapportering kring skogsmark, åkermark och betesmark skulle inkluderas (UNFCC, 2021a)

Efterträdaren till Kyotoprotokollet är Parisavtalet som trädde i kraft i november 2016, där nästan samtliga världens länder har skrivit under på att begränsa den globala uppvärmningen till 2°C jämfört med förindustriella nivåer samt att kontinuerligt öka sina ambitioner. Avstämningar kring ambitionsnivåer sker varje femte år (Naturvårdsverket, 2021a). I Parisavtalet ingår att länderna ska lämna in nationella klimatplaner som dessutom ska uppdateras vart femte år, och då inkludera ambitionshöjningar. Ambitionsnivån i klimatarbete är upp till vart land att bestämma. EU har en gemensamt beslutad klimatplan som gäller för alla EU:s medlemsländer med som mål att minska utsläpp av växthusgaser med 40% jämfört med 1990 års nivåer. Sverige lämnar således inte in en egen klimatplan till FN (Naturvårdsverket, 2021a).

Sverige måste enligt Klimatrapporteringsförordningen rapportera siffror kring mänsklig klimatpåverkan till både till FN och EU (Riksdagsförvaltningen, 2021).

¹ United Nations Conference on Climate Change

Till FN ska utsläpp och upptag av växthusgaser rapporteras årligen enligt olika kategorier specificerade av UNFCCC. Rapporterna till EU-kommissionen är identiska med de som lämnas in till UNFCCC.

1.2.2. Kategorisering av utsläpp

Det finns standarder för hur nationella klimatrapporeringen till FN ska se ut (UNFCCC, 2014). Utsläppen av koldioxid delas in dessa sex kategorier: "Energi", "Industri", "Jordbruk", "Markanvändning, förändrad markanvändning, och skogsbruk", "Avfall" och "Övrigt". Ländernas rapportering ska följa några fastställda principer som innebär att den ska vara transparent, konsistent, jämförbar, komplett och så noggrann som möjligt. Det är inte endast koldioxid som beräknas för de olika kategorierna, dock räknas alla växthusgaser om till koldioxidekvivalenter beroende på gasens uppvärmningspotential. Koldioxidens uppvärmningspotential har i dagens rapportering normaliserats till 1, lustgas (N₂O) har en uppvärmningspotential på 298 CO₂-eq och metan (CH₄) på 25 CO₂-eq till exempel (Forster et al., 2007).

Kategorin "Markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk" (LULUCF² på engelska) kommer i denna rapport kallas markanvändningssektorn.

Enligt IPCC står markanvändningssektorn för nästan en fjärdedel av alla antropogena utsläpp av växthusgaser. Majoriteten av utsläppen kommer från skövling av skog och jordbruk (IPCC, 2014b). IPCC har tagit fram vägledning för hur utsläpp från markanvändning bör beräknas och rapporteras i deras rapport *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* (IPCC, 2003) och IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories volym 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use (IPCC, 2006). Enligt rapporterna är uppmätta värden på markkol och biomassa och dess förändringar alltid att föredra, med skulle det inte vara möjligt har IPCC sammanställt medelvärden på biomassa och kol i biomassa samt diverse förändringsfaktorer för olika klimatiska zoner och ekvationer till beräkningarna.

Markanvändning kan definieras på olika sätt, IPCC använder följande kategorier (IPCC, 2006):

- skogsmark,
- åkermark,
- gräsmark,
- våtmark,
- bebyggd mark,
- övrig mark.

Mark kan vidare vara brukad eller inte, vilket måste definieras för kategorierna skog-, åker-, gräs- och våtmark. Med brukad mark menas att människor påverkar eller använder sig av markens resurser för produktion av varor eller tjänster. Det är den brukade marken som ingår i rapporteringen då övrig mark anses vara i balans.

² Land Use, Land Use Change and Forestry

1.2.3. SLU och klimatrapporering

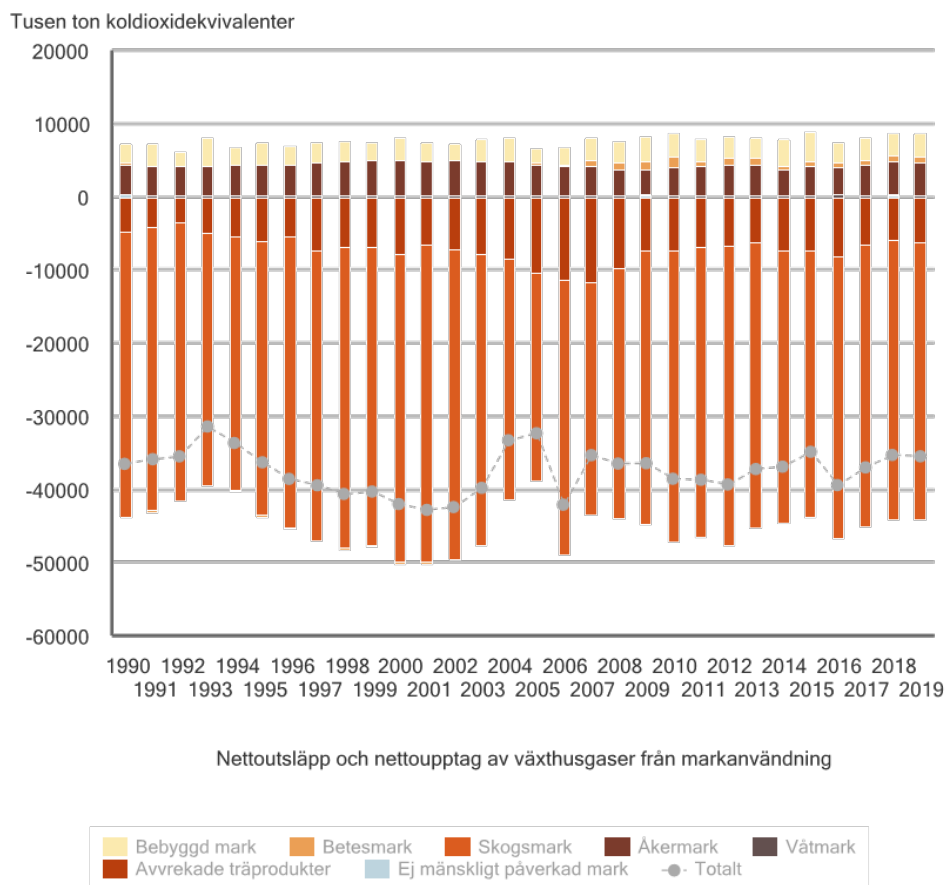
Sveriges lantbruksuniversitet bidrar på uppdrag av regeringen till Sveriges klimatrapporering, inom markanvändningssektorn (Riksdagsförvaltningen, 2021). Markinventeringen och Riksskogstaxeringen står för inventeringen av den svenska marken som en del av Sveriges nationella miljöövervakningsprogram. Markinventeringen utförs på Naturvårdsverkets uppdrag medan Riksskogstaxeringen är SLU:s ansvar.

Riksskogstaxeringen ansvarar för inventeringen av främst trädskiktet men också markvegetation samt död ved. Här inventeras årligen på 12 000 provytor i en femårig cykel, dvs. totalt ca 40 000 provytor. På provytorna mäts 95 000 träd årligen för att kunna beskriva det skogliga beståndet men också ståndort och historik. Dessa uppgifter kvalitetskontrolleras för att sedan läggas in i en databas, och blir sedan en del av Sveriges officiella statistik. Insamlade fältdata används även för beräkning av flertalet variabler som virkesförråd och årlig tillväxt.

Sedan 1983 har prover tagits på kemiska och markbiologiska egenskaper i den svenska marken av Markinventeringen på institutionen för mark och miljö. Inventeringen omfattar omkring 20 000 provytor spridda över hela landet, som sammanfaller med Riksskogstaxeringens permanenta provytor. Jordmånen och makens profil beskrivs utifrån World Reference Base for Soil Resources (WBR), och innefattar bestämning av humusform, jordart, textur och jordmånstyp, samt markprovtagning. Provytorna återinventeras vart tionde år, vilket innebär att ca 2000 provytor inventeras varje år. All data som samlats in av Markinventeringen sammanställs i databasen och används för uppföljning av miljötillståndet.

Svenska MiljöEmissionsData (SMED) samlar på uppdrag av Naturvårdsverket utsläppsdata och säkerställer underlaget till klimatrapporeringen. SMED består av IVL (Svenska Miljöinstitutet), SCB (Statistiska Centralbyrån), SMHI (Sveriges Metrologiska och Hydrologiska Institut) och SLU, där SLU ansvarar för rapporteringen av markanvändningssektorn. Insamlade data från Riksskogstaxeringen och Markinventeringen används för beräkning av kolförråd i olika komponenter samt förändringar i dessa förråd över tid.

Naturvårdsverket publicerar sedan varje år siffror på Sveriges växthusgasutsläpp från markanvändningssektorn, och siffrorna rapporteras till EU and UNFCCC.



Källa: Naturvårdsverket

Figur 1. Figuren visar Sverige nettoutsläpp av växthusgaser från markanvändning. (Naturvårdsverket, 2021b)

Som kan avläsas från figur 1 så har Sverige en nettoinlagring av kol från sektorn markanvändning i klimatrapporeringen. Detta är tack vare den stora kolsänka den svenska skogen står för, samtliga övriga markanvändningstyper förutom ej mänskligt påverkad mark; bebyggd mark, betesmark, åkermark och våtmark har ett nettoutsläpp av koldioxid.

1.3. Markanvändning och kolbalans

1.3.1. Kolets kretslopp i terrestra ekosystem

Alla levande organismer är uppbyggda av kolföreningar. Kol spelar även stor roll för den globala uppvärmningen på jorden orsakad av koldioxidens växthuseffekt i vår atmosfär. Det är viktigt att ha en förståelse för hur kol flödar genom terrestra ekosystemets olika delar för att bättre kunna urskilja lämpliga potentiella åtgärder för att bromsa klimatförändringarna.

Kol i form av koldioxid från atmosfären tas upp tillsammans med solenergi när vegetationen växer genom fotosyntesen där det omvandlas till syre och energirikt organiskt material. Det organiska materialet är vad som utgör biomassan i ekosystemen; ju högre tillväxt vegetationen har ju mer koldioxid binds upp från atmosfären. Kol lagras både i biomassa ovan mark i form av stam, grenar och blad samt i rotsystem i jorden. En del av kolet lagras dock inte in i vegetationen utan återgår till atmosfären snabbt genom autotrof respiration från vegetationen i form av koldioxid. Kol kan även tas ut och förbrännas eller lagras i till exempel träprodukter. Markdjur som konsumerar det kolrika organiska materialet avger också koldioxid till atmosfären i form av heterotrof respiration. När djur och biomassa dör och förmultnar avges kolet de innehåller ut i form av koldioxid. Under speciella förhållanden som när det döda organiska materialet återfinns nere i marken och får ligga ostört, kan det skyddas från nedbrytningen och lagras på så sätt i jorden under lång tid. Varken jord eller vegetation kan dock lagra kol i en evighet utan kommer så småningom nå jämvikt där koldioxid som släpps ut är lika med den koldioxid som tas upp.

En mängd faktorer påverkar hur kol flödar i terrestra ekosystem. Väder och klimat spelar roll för solinstrålning, nederbörd och temperatur vilket påverkar tillväxt av vegetation och därmed upptag och lagring av koldioxid. Kol som lagrats i jord och vegetation kan förloras av olika anledningar; till exempel genom avverkning av skog, erosion, dränering av torvmark eller plöjning (Garnett et al., 2017).

1.3.2. Skogsmark

I skogsmark lagras kol i biomassa ovan mark, i död ved och i organiskt material i marken och tillsammans representerar de ett betydelsefullt globalt kolförråd. Mängden kol som finns lagrad i skogsekosystem är mer än allt kol som återfinns i atmosfären (UNFCCC, 2021b). Koldioxid omvandlas genom fotosyntesen till kolföreningar i stam, grenar, bark och rötter i skogsbiomassan. Viss kol frigörs till atmosfären från levande biomassa i form av koldioxid i den autotrofa respirationen. Förmultningsprocessen tar vid efter det att levande biomassa blir till död ved och förna som sedan antingen bryts ned av markorganismer, vilket frigör koldioxid eller omvandlas och lagras in som stabilt kol i skogsmarken blir i form av stabila kolföreningar i skogsmarken. Avverkningsrester lämnas ofta kvar för att förmultna och blir då en del av kolförrådet i skogsmarken.

Hur kolets flöden ser ut i ett skogsekosystem är både väder och klimatberoende. Koldioxid tas i regel upp under dagtid och mer koldioxid släpps ut nattetid, på samma sätt tas mer koldioxid upp under vegetationsperioden då trädens tillväxt ökar och nettoutsläppet av koldioxid är högst under vinterhalvåret. Under varma temperaturförhållanden ökar respirationen och mer koldioxid släpps då ut i atmosfären, och fotosyntesens koldioxidupptag ökar med ökad solinstrålning. Kolbalansen i skogsmarken vid en given tidpunkt kan därmed variera stort. (Bergh et al., 2020)

Majoriteten av Sveriges och även SLU:s skog är produktiv skogsmark där skogsbruk bedrivs. Hur skogsskötseln ser ut påverkar i hög grad kolinlagringen i

skogen och hur den varierar över tiden. I Sverige finns det två huvudsakliga skogsskötselstekniker som tillämpas, trakthyggesbruk och kontinuitetsskogsbruk. Vid trakthyggesbruk avverkas samtliga träd på en gång för att nya sedan planteras på platsen. Efter en avverkning minskar upptaget av koldioxid markant medan utsläppen via den heterotrofa respirationen fortsätter på ungefär samma nivå, och först efter att de nyplanterade träden har nått en viss höjd överskrider upptaget av kol koldioxidutsläppen (Bergh et al, 2020). Koldioxidupptaget är därefter betydligt större än avgivningen fram tills dess att träden avverkas på nytt (efter 80–100 år). Vid kontinuitetsskogsbruk återfinns träd av olika storlekar och ålder i skogen och här avverkas endast de största träden, vid gallringar var 10-20:e år. Kolförrådet i skog som brukas kontinuerligt är relativt konstant (Bergh et al., 2020). Vid studier av klimatnyttan för de olika skogsbruksformerna i norsk granskog visades att kolinlagringen i skog med jämn åldersfördelning (trakthyggesbruk) var aningen högre under en 80-årsperiod jämfört med en ojämn (kontinuitetsskogsbruk) (Nilsen et al., 2013). Analyser har även visat att långsiktig klimatnytta är omkring 50% större för trakthyggesbruk än kontinuitetsskogsbruk när även substitutionsnytta räknas in (Lundmark, 2010). Anledningen till att trakthyggesbruk lagrar mer kol än kontinuitetsskogsbruk beror på att tillväxten är högre i skogar som sköts som trakthyggesbruk (Bergh et al., 2020). Trakthyggesbruk är den absolut vanligaste avverkningsformen i svenskt skogsbruk.

I Sveriges klimatrapportering finns även ‘avverkade träprodukter’ med som en sänka till koldioxid vid sidan av förrådet i skogen. De produkter som tillverkas av den avverkade råvaran från skogen hamnar i en annan separat kategori men utgör fortfarande ett kolförråd. Kolet som lagrats in i trä släpps ju inte ut förrän dessa produkter förbränns. Vid beräkningar av sänkan för avverkade träprodukter tas produkternas livslängd i åtanke och förändringen i mängd kol i kategorin ‘avverkade träprodukter’ bestämmer nettoutsläppet av koldioxid.

Vid analyser av skogens klimatnytta räknas ibland även substitutionsnytta in. Med detta menas att träprodukter ersätter produkter av material från fossil energi och att bioenergi direkt kan ersätta fossil energi. Det biogena kolet som avges från skogsprodukter ingår i en betydligt kortare kolcykel (vanligt kallat det biogena kretsloppet) än det fossila kolet som inte naturligt flödar i jordens ekosystem. Svårigheter uppstår dock ofta när substitutionsnyttan ska beräknas då många antaganden krävs, till exempel vilka material skogsprodukterna kan tänkas ersätta och hur klimatanpassat skogsbruket är produkterna kommer ifrån. Det har gjorts studier på skogens substitutionsnytta, enligt Hurmekoski et al (2020), som räknat på det finska skogsbruket kan varje kubikmeter rundvirke ersätta mellan 500 och 830 kg fossilt koldioxidutsläpp.

I Sveriges har vi enligt FAO's definition av skogsmark 28 miljoner ha skog varav 23,6 miljoner hektar är produktiv (Riksskogstaxeringen, 2021), Sveriges skogsmark stod för ett nettoupptag av 37718 kton CO₂-ekvivalenter 2019 (Naturvårdsverket, 2019)

1.3.3. Åkermark

Åkermark är mark som används till odling av grödor och regelbundet plöjs. I åkermark binds koldioxid in i planterade grödors växtdelar och en del av kolet lagras under längre tid i form av markkol efter växter och rötterna dör. Koldioxid släpps i sin tur ut genom autotrof respiration hos grödorna och respiration från nedbrytningsprocessen i marken. Det skiljer sig en del mellan olika typer av jordbruk hur väl kol lagras i jordarna. Mängden organisk materia i marken och därmed kolförrådet är även avgörande för bördigheten på åkern (Bolinder et al., 2017).

Hur väl en åker lagrar in kol i marken beror på om tillförseln av dött organiskt material är högre än nedbrytningen av mull, vilket i sin tur beror på en rad olika processer. Primärproduktionen hos grödorna är central då den är direkt korrelerad till upptag av koldioxid från atmosfären. För att kolet som bundits i grödornas biomassa ska lagras under längre tid och kunna klassas som en sänka krävs det att växtresterna bildar mull i marken. Mull är odlingsjordars ytligaste kolrika lager. Växtrester i marken har större chans att bilda mull jämfört med ovanjordiska (Kätterer et al., 2011), det vill säga att växter med längre rotsystem har större potential för att öka kolinlagringen. Det går även att tillföra organiskt material till jorden i form av stallgödsel. Här är det stor variation enligt litteraturen hur det påverkar kolinlagringen men generellt sett har det en positiv inverkan (Bolinder et al., 2017). Jordbearbetning på åkrarna kan öka nedbrytningshastigheten av organiskt material, dock har Kainiemi (2014) visats att under svenska klimatförhållanden är den ökningen minimal. Användandet av fånggrödor har en genomsnittlig positiv effekt på kolinlagringspotentialen i åkermarken, med en ökning av 8,5% högre kolinlagring med fånggrödor jämfört med utan (McDaniel et al., 2014). Huvudgrödornas totala tillväxt kan också öka vid användning av fånggrödor (Valkama et al., 2015). Bortförsl av ovanjordiska växtrester från åkrarna, främst stråsäd, vilket görs ibland för att använda resterna som bioenergi, har en negativ påverkan på kolinlagringen. Där skörderester lämnas på fälten ökar mullhalten i marken med 11,4% i genomsnitt (Bolinder et al., 2017). Kväve i form av konstgödsel tillförs på nästan alla moderna åkrar vilket ökar primärproduktionen och leder till en ökning av mullhalten i matjorden med omkring 6,8% (Bolinder et al., 2017).

Eftersom markkol lagras under in på så pass långa tidsskalor spelar historisk markanvändning stor roll för markens nuvarande kolhalt. Har en mark till exempel skötts genom att odla vall på samma sätt under lång tid och innehåller stora mängder markkol är det viktigt ur en klimatsynpunkt att se till att behålla kolet i marken genom att till exempel inte plöja upp åkern och istället odla ettåriga grödor. När åkern plöjs vänds det organiska materialet upp. Detta rubbar den markbiologiska balansen och jorden exponeras för syre och nya nedbrytare, vilket släpper ut koldioxid. Hur snabbt nedbrytning av organiskt material är påverkar den totala kolbalansen.

Under 2019 hade svenska åkermarker ett nettoutsläpp på 4307 kton CO₂-ekvivalenter (Naturvårdsverket, 2021). Värt att notera är att stor del av detta utsläpp kommer från organogena marker, det vill säga torv- och gyttejordar. Siffror från

SCB från 2015 visar på att i Sverige fanns det 2,6 miljoner ha åkermark (SCB, 2015).

Lustgas

Koldioxid är inte den enda växthusgas som frigörs från åkermarken. Grödornas växtdelar innehåller kväve som genom biologiska processer i jorden, liksom organiskt kol, förbränns och släpps ut som kvävgas (N₂) och växthusgasen lustgas N₂O. Kvävegödsling, både från stallgödsel och konstgödsel ökar kvävekoncentrationen i jorden och därmed även lustgasutsläpp, lustgasutsläpp från åkermark kan beräknas utifrån mängd gödsel som använts (Freney, 1997). Som tidigare nämnt har lustgas en uppvärmningspotential på 298 CO₂-eq (IPCC, 2014). Användning av flytgödsel istället för fastgödsel och djupströ eller spridning av nitrifikationshämmare kan minska utsläppen av lustgas från åkermarken (Bryngelsson et al., 2016; Yang et al., 2016).

Dessa utsläpp kategoriseras inte i regel som en del av markanvändningssektorn utan tillhör sektorn jordbruk i klimatrapporteringen. I denna rapport kommer även beräkning av lustgas att inkluderas då lustgasutsläpp inte har beräknats för SLU:s jordbruk tidigare.

Under 2019 släppte svenskt jordbruk ut 3592 kton koldioxidekvivalenter lustgas (SCB, 2021).

1.3.4. Betesmark

Med betesmark menas mark som används som bete för djur, främst nötkreatur, får, getter och hästar och som är oplöjd och ogödslad gräsmark, även kallad naturlig fodermark (Karlton et al., 2010). Den internationella beteckningen *grassland* har en något bredare betydelse och kan inkludera intensivt kultiverade gräsmarker som både sås och gödslas. Kultiverad betesmark kan vara vall som odlats, plöjts och skördats, eller ängsmark med bete som enda markanvändning, då kallas marken naturbetesmark. Naturbetesmarker gödslas endast naturligt av betesdjuren. Betesmarker har i regel hög artrikedom tack vare det öppna landskapet med blommande flora (Röös, 2019). Kol lagras även i detta ekosystem i vegetationen ovan mark, i form av gräs, buskar och träd samt i rotsystem och kol i marken. Jämvikten mellan tillväxt och förlorad vegetation på grund av bete samt tillskott av naturlig gödsling till marken avgör ackumulation eller förlust av totala mängden kol i biomassan. På samma sätt är jämvikten mellan nedbrytning av organiskt material och tillförsel till jorden avgörande för om marken har ett nettoutsläpp av CO₂ eller om det kan klassas som en sänka.

Utsläpp och upptag av växthusgaser från djuren som betar räknas inte in i kolbalansen för betesmark, utan de tillhör sektorn jordbruk i klimatrapporteringen. Djuren påverkar dock marken på olika sätt, främst genom att hålla landskapet öppet då betesdjuren äter växterna. När vegetationen äts tas en del lagrat kol bort från systemet samtidigt som det stimulerar tillväxt av ny vegetation (Garnett et al., 2017). Viktigt är även hur betet påverkar tillväxt av nya och djupare rötter - då organiskt material som återfinns i jorden har större chans att lagras där under längre

tid och i stabilare form (Garnett et al., 2017). Hur olika växtarter reagerar på bete varierar dock. Djuren på betesmarken har också en påverkan på näringstillgång för växter och mark, då de bidrar med naturlig gödsel som kan ta sig in i jorden och stimulera tillväxt. Denna näring kan dock också ha en ökad effekt på nedbrytning av organiskt material i jorden som skulle kunna leda till ökade utsläpp av koldioxid via respiration (Röös, 2019).

Enligt en studie av Karlton et al. (2017) där kolinlagring i de svenska betesmarkerna skattades delades Sverige in i tre regioner beroende på atmosfärisk deposition av kväve och mängden markkol för de olika regionerna låg mellan 86,3 och 114 ton/ha. Även förändring i markkol skattades för regionerna och region 1 (ungefär Norrland) har en förlust av markkol på 27 kg/ha och år medan södra Sverige (region 2 och 3) redovisar en ackumulation på 30 respektive 32 kg C/ha och år.

I Sverige återfanns det 2019 ca 400 000 ha betesmark (Jordbruksverket, 2021), som släppte ut 1013 ton CO₂-ekvivalenter samma år (Naturvårdsverket, 2021).

1.4. SLU:s klimatarbete

SLU verksamhet inom klimatområdet innefattar forskning på klimat och hållbarhetsområdet samt Markinventeringen och Riksskogstaxeringen som bidrar stort till Sveriges klimatarbete. Dessutom har universitetet egna mål för verksamheten för att jobba mot att förhindra klimatförändringarna.

SLU skrev 2019 under ett klimatramverk för svenska lärosäten som innebär att arbetet ska ske i enlighet med Parisavtalet, med framtagande av en strategi för att kunna uppnå mål om max 1,5°C uppvärmning år 2030, samt Uppsala läns åtgärdsprogram för minskad klimatpåverkan. Enligt SLU:s egna miljömål ska universitetet vara klimatneutralt senast under år 2027. För att uppnå detta har SLU satt upp egna miljömål och sex fokusområden för att just kunna uppnå klimatneutralitet 2027, enligt nedan

- Enbart fossilfri el får köpas in eller konsumeras
- Enbart fossilfri fjärrvärme/fjärrkyla får köpas in eller konsumeras
- Enbart fossilfritt drivmedel får användas för SLU:s egna fordon, maskiner och verktyg
- Tydlig klimatmedvetenhet vid upphandling av varor och tjänster
- Minskning av personresor inom SLU:s enligt handlingsplan.
- Klimatkompensation (projekt för undersökning om i vilken form klimatkompensation ska kunna ske praktiskt startades 2020).

I dagsläget, 2021, finns det ingen målsättning kring sektorn markanvändning på SLU, då komplett beräkningen för markanvändning inte har ingått i beräkningen av koldioxidutsläpp tidigare. Endast skogssänkor togs med i sammanställningen av utsläpp av CO₂-ekvivalenter från hela SLU både för basåret 2015 och senaste rapporteringen 2018. Siffror för handelsgödsel finns men har rapporterats separat.

Det är relevant för SLU att få en bättre och mer omfattande förståelse för hur markanvändningen på mark som ägs av universitetet påverkar klimatet och kolbalansen i ekosystemen, främst för att redovisningen blir mer komplett med markanvändningssektorn inkluderad.

1.5. Systemgränser

Systemgränserna har satts utifrån tillgängligheten av data från SLU:s marker och anpassats till syftet att bidra med statistik till SLU:s klimatrevisning. Beräkningar för kolbalans tenderar att bli mycket komplexa, och de systemgränser och generaliseringar som beskrivs nedan medför en del osäkerheten i resultaten. En enklare känslighetsanalys har därför gjorts för projektet.

Detta arbete avser kolbalans i klimatrappporteringssektorn markanvändning. Detta betyder att utsläpp från lantbruk- och skogsbruksdriften inte har räknats in. Detta kan vara till exempel; djurhållning, drivmedel till fordon, tillverkning av gödselmedel, energiåtgång etc. Ett undantag är beräkningar av utsläpp av lustgas från åkermarken - detta hör egentligen till jordbrukssektorn men har inkluderats då det saknas i nuvarande koldioxidberäkningar från SLU.

1.5.1. Skogsmark

Beräkningen för skogsmarken bygger på skogsbruksplanerna för egendomarna. I skogsbruksplaner återfinns tillväxt av biomassa, men ackumulation av markkol finns ingen data för och har därmed inte tagits med i beräkningarna. Arealen "produktiv skogsmark" (där även skog med naturvårdsmål ingår) från skogsbruksplanerna är det som räknas som skogsmark i denna rapport. De skogsmarksfastigheter som SLU äger är; Götala (Skara kommun), Funbo-Lövsta (Uppsala kommun), Dundret (Gällivare kommun), Hallfrede (Gotlands kommun), Krusenberget (Knivsta kommun), Nantuna (Uppsala kommun), Offer (Sollefteå kommun), Öjebyn (Piteå kommun) och Innertavle (Umeå kommun).

En ytterligare skogsmarksfastighet finns i form av donationsfastigheten Fagerdal i Jämtland med 230 hektar produktiv skogsmark. För Fagerdal finns ingen skogsbruksplan upprättad och skogsfastigheten har därmed inte tagits med i rapportens koldioxidberäkningar.

1.5.2. Åkermark

På SLU:s åkermarker sker både konventionellt jordbruk, ekologiskt jordbruk och en mängd växtförsök och forskning. För detta arbete räknas att allt jordbruk är konventionellt och växtföljder på gårdarna har approximerats till det mest representativa för gården/gårdarna av respektive driftledare. Åkermarker återfinns på SLU:s fyra egendomar; Ultuna (Uppsala kommun), Alnarp (Lomma kommun), Hallfrede (Gotlands kommun), Lanna, Götala och Brogården (Skara och Lidköpings kommun) samt två forskningsstationer; Röbbäcksdalens

forskningsstation i Umeå och Lönnstorps forskningsstation i Skåne. Lövsta forskningsstation har även dem åkermark men deras fält ingår i Ultuna egendom.

1.5.3. Betesmark

För detta arbete definieras betesmark som naturbetesmark, dvs mark som inte plöjs eller gödglas. Naturbetesmarker återfinns i Ultuna, Alnarp och Lanna.

1.5.4. Bebyggd och övrig mark

All mark som inte kan klassas som Skogsmark, Åkermark eller Betesmark är antingen Bebyggd mark eller Övrig mark. Enligt fastighetsavdelningen är 19 hektar av SLU:s mark bebyggd. All resterande mark har sedan klassats som Övrig mark.

1.5.5. Tidsperspektiv

Kolinlagring och utsläpp från marken sker på långa tidsskalor och historisk markanvändning har därmed betydelse för potential för mark att ackumulera eller släppa ut kol. Historisk data för markerna i SLU:s ägo är begränsad och en detaljerad tillbakablick var inte möjlig. För åkermarken finns mullhalten tillgänglig från markkarteringar gjorda 2018 vilket indikerar nuvarande kolhalt i marken, detta finns dock inte tillgängligt för betesmarken eller skogsmarken. Tidsperspektivet och tidigare markanvändning har därmed inte inkluderats i beräkningarna för kolbalansen i SLU:s marker, bortsett från mullhalt i åkermark.

2. Metod

För genomförande av detta arbete krävdes insamling av nödvändiga data om markförhållanden från olika sektioner och egendomar på SLU samt olika metoder och modeller för beräkningen av kolbalans beroende på markanvändningsform.

2.1. Insamling av data

Från SLU:s jordbruksegendomar Ultuna, Hallfreda, Alnarp och Lanna samt de forskningsstationer som har åkermark, Röbbäcksdalen och Lönntorp, inhämtades underlagsdata för beräkning av kolbalans för åkermark och naturbetesmark. Uppgifter som samlades in var; jordart (lerhalt), P-AL klass, K-AL klass, genomsnittlig mullhalt, vanligaste grödorna på gården samt areal de odlas på, typiska växtföljden de senaste åren, skördemängd, gödsling (N, P och K-mängd), jordbearbetningstidpunkt, ifall skörderester förs bort, ifall fånggrödor används och ifall stallgödsel används samt mängd och typ stallgödsel (se bilaga A).

Uppgifter inhämtades även över arealen som kunde klassas som naturbetesmark, dvs gräsmark för bete som inte plöjs eller gödglas.

Som grund för beräkningarna för skogsmarken användes skogsbruksplaner för SLU:s 9 skogsfastigheter som finns upprättade för allt skogsbruk som sker på SLU. Den information som användes vid beräkningarna av kolbalansen var tillväxt i $m^3sk/år$ och procentuella trädfördelningen mellan gran, tall och lövträd.

Information om bebyggd och övrig mark inhämtades för respektives kolbalansberäkning. Campusområdena ägs inte av SLU utan av Akademiska hus, men universitetet äger forskningsstationer och ett antal enskilda hus och gårdar runt om i landet. Data tillhandahölls av SLU:s fastighetsavdelning.

2.2. Kolbalansberäkning för skogsmark

För att få genomsnittlig tillväxt per träslag från skogsbruksplanerna multiplicerades den totala tillväxten för skog på fastigheten med andelen av det specifika trädslaget (angivet i procent i skogsbruksplanen). Tillväxten är nettotillväxt, dvs föreslagna åtgärder om avverkning detaljerade i skogsbruksplanerna har beaktats.

För beräkning av den kolinlagring som skogsmarken står för genom tillväxt av ny trädbiomassa användes värden för densitet och empiriska funktioner beroende på stamvolym i trädslagen löv, tall och gran för att få genomsnittligt kolinnehåll (tabell 1) samt den genomsnittliga tillväxten av de olika trädslagen på SLU:s skogsmark. Kolhalt i biomassan har antagits vara 50%. Skillnader i densitet och kolinnehåll baseras på biomassafunktioner (Näslund, 1947, Marklund, 1988, Petersson och Ståhl, 2006) tillämpade på träddata från Riksskogstaxeringen (Fridman et al., 2014)

Tabell 1. Torrsvikt för trädslagen tall, gran och lövträd för stam+bark, gren+bark och stubbar och rötter.

Trädart	Torrsvikt: Stam+bark (kg/m ³ sk)	Torrsvikt Gren+bar r (kg /m ³ sk)	Torrsvikt: Stubbar och rötter (kg/ m ³ sk)	Totalt (kg/m ³ sk)	Mängd kol* (kg C/m ³ sk)	Mängd koldioxid* (kg CO ₂ / m ³ sk)
Tall	395	103	165	663	332	1216
Gran	391	197	194	781	391	1432
Löv	497	136	208	841	421	1542

*Biomassan i kg multipliceras med 0,5 (genomsnittligt kolinnehåll) och 44/12 för att få kg koldioxid.

Skogsmarkens kolbalans antogs vara i jämvikt då mätdata från skogsmarkerna som SLU äger inte finns tillgängligt.

Även avverkade träprodukter från SLU:s skogsbruk antogs vara i jämvikt, dvs att lika mycket produkter som tillverkas av träet från skogen tas ur bruk och förbränns också varje år.

2.3. Kolbalansberäkning för åkermark

För beräkningar av kolbalans i åkermark användes Greppa Näringens³ modul 12B. Modulen kallas "mullhalt och bördighet" och använder sig av verktyget *Odlingsperspektiv* som är en excel-based kalkylprogram ([kan laddas ned här](#)). Modul 12B är utformad för att rådgiva lantbrukare om hur de kan öka mullhalten på sina gårdar.

I programmet *OdlingsPerspektiv* matades egendomens huvudsakliga växtföljd, skörd, gödning, ifall fånggrödor används samt ifall skörderester lämnas på åkern eller inte in. Även markförhållandena lerhalt, mullhalt, P-AL och K-AL klass inkluderas i ingångsdata och som resultat får man kolförändringar i marken, både som mull, kol och koldioxid samt andra växthusgaser som lustgas från jorden per

³ Greppa Näringen är ett samarbete mellan länsstyrelserna, Jordbruksverket, Lantbrukarnas riksförbund och rådgivningsorganisationer, och fungerar som en rådgivningstjänst med hållbart och långsiktigt jordbruk i fokus.

år. Från modellen kan avläsas vad som är den huvudsakliga källan till koltillförseln, som tex rötter, skörderester eller stallgödsel.

I de fall där jordart, mullhalt och P/K-AL klasser inte fanns tillgängliga användes markkartering av gården använts för att beräkna genomsnittliga värden för dessa variabler. Markkartering har sedan tidigare genomförts på samtliga av SLU:s åkermarker. På Lanna egendom fanns det inte uppgifter på K-AL halter i marken och här har värden tagits från rapporten “Jordartsfördelning och växtnäringstillstånd i svensk åkermark” (Djordjic, 2015).

2.3.1. Kolbalansberäkningar i OdlingsPerspektiv

För beräkning av kolbalans i *OdlingsPerspektiv* applicerades ICBM (Introductory Carbon Balance Model), *OdlingsPerspektiv* inkluderar även justeringar som baseras på långliggande försök. Det rör sig om ca 50 försök som har studerats under 20 års tid, där effekten av växtföljder, jordbearbetning, gödsling, kalkning med mera har studerats (Kätterer, 2018). Dessa långliggande fältförsök har använts för att validera och kalibrera ICBM-modellen som används i *OdlingsPerspektiv*-programmet.

ICBM används för att beräkna förändringar i markkol. ICBM delar upp koltillförseln till marken i tre kategorier: ovanjordiska skörderester, rötter och annat tillfört organiskt material. Markkolet är även det uppdelat i ungt och gammalt kol, som har två olika nedbrytningshastigheter där gammalt kol är mer stabilt och har därmed en lägre nedbrytningshastighet. En humifieringskoefficient bestämmer hur mycket av det unga markkolet som blir “gammalt kol” varje år. Nedbrytningsmiljön bestämmer hur snabb nedbrytningen av det organiska materialet är, denna miljö beror på klimat- och fuktförhållanden samt olika markegenskaper. I *OdlingsPerspektiv* räknas det med att omkring 12,5% av ovanjordiskt material går in i markens kolförråd, 25% för rötter och 31% för stallgödsel. Av fånggrödornas torrviikt räknas det med att 20% lagras in i marken. Nedbrytningsfaktorn varierar beroende på var i landet åkermarken befinner sig, och på en rad jordegenskaper, ett typiskt värde är dock en nedbrytningshastighet på omkring 1,5–2% årligen.

2.3.2. Lustgasutsläpp åkermark

OdlingsPerspektiv genererar också lustgasutsläpp utifrån den ingångsdata man lägger in i modellen. Lustgasmängderna påverkas av gröda, jordart, bearbetningstidpunkt, användning av fånggröda och stallgödselanvändning. Utsläppen presenteras i två kategorier, “Lustgas pga kväveutlakning” och “Lustgas från marken”. Detta inkluderar inte lustgas från organogena marker.

2.3.3. Långliggande vall

I Ultuna återfinns ca 230 hektar av långliggande vall som plöjs ca vart tionde år, även Röbbäcksdalen har 30 hektar vall som ligger 5 år eller mer. Dessa områden kan inte betraktas som åkermark enligt mina avgränsningar då *OdlingsPerspektiv* inte är optimerat för vallar som ligger längre än två år. Med tanke på att marken plöjs

kan området inte heller ingå under kategorin naturbetesmark - då denna mark varken ska plöjas eller gödslas. Ett värde på kolinlagring togs därmed från Kätterer et al. (2013) som har summerat 15 studier på långliggande vall, där det genomsnittliga värdet är en kolförrådsökning på 0.52 ton CO₂ per hektar och år. Detta värde antogs representera förhållandena på SLU:s långliggande vall.

2.4. Kolbalansberäkning för naturbetesmark

Beräkningar för kolbalans på naturbetesmarker baserades på värden för kolinlagring på svenska betesmarker. Karlton et al. (2010) rapporterar kolbalansen i betesmarker där en massbalansmetod mellan kväve och kol användes för att skatta kolinlagringen i marken och resultatet från denna rapport användes vid beräkningar.

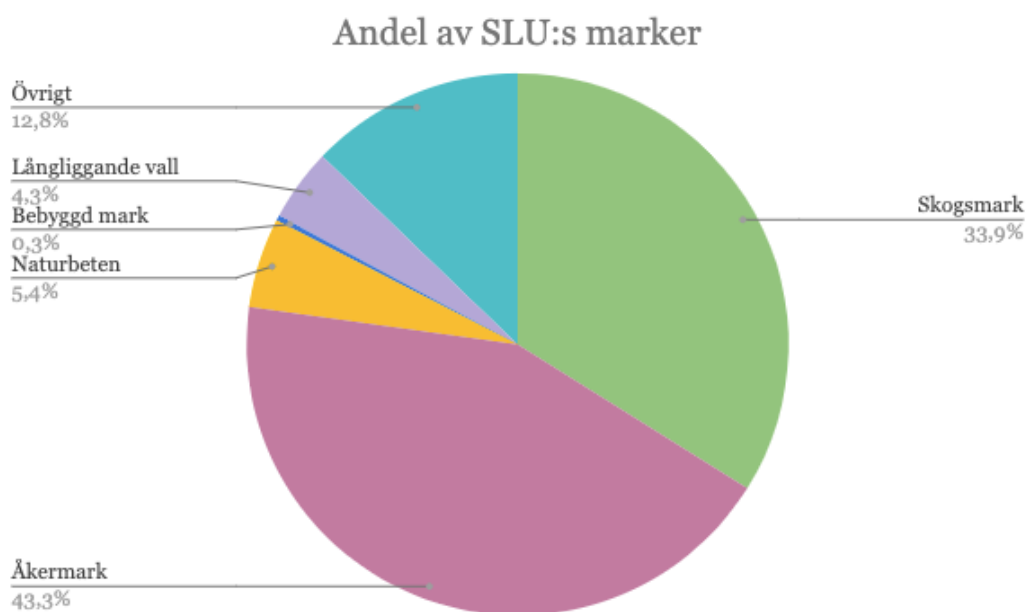
2.5. Kolbalansberäkning för bebyggd och övrig mark

Då SLU:s mark som kan klassas som bebyggd representerar endast en procent av den totala marken och därför har kolbalansen för den bebyggda marken bedömts som försumbar i relation till åker-, betes-, och skogsmark.

För mark som klassas som ”övrigt” (tomtmark, berg, vägar, kraftledning med mera) finns det inte tillräckligt med information kring för att kunna dra några slutsatser eller göra beräkningar för kolbalans. Dessa marker räknades därmed som att de är i balans.

3. Resultat

Resultaten för arealer av markområden och årliga utsläpp av CO₂-ekvivalenter presenteras utifrån vilken markanvändningskategori de tillhör.



Figur 2. Arealfördelning av markanvändningsområden för mark ägd av SLU.

Figur 2 visar fördelning av olika markanvändningsområden på SLU:s marker. Största andelen med 43,3% utgörs av åkermark, följt av skogsmark på 33,9%. Naturbeten ansvarar för 5,4% och marken och långliggande vall 4,3%.

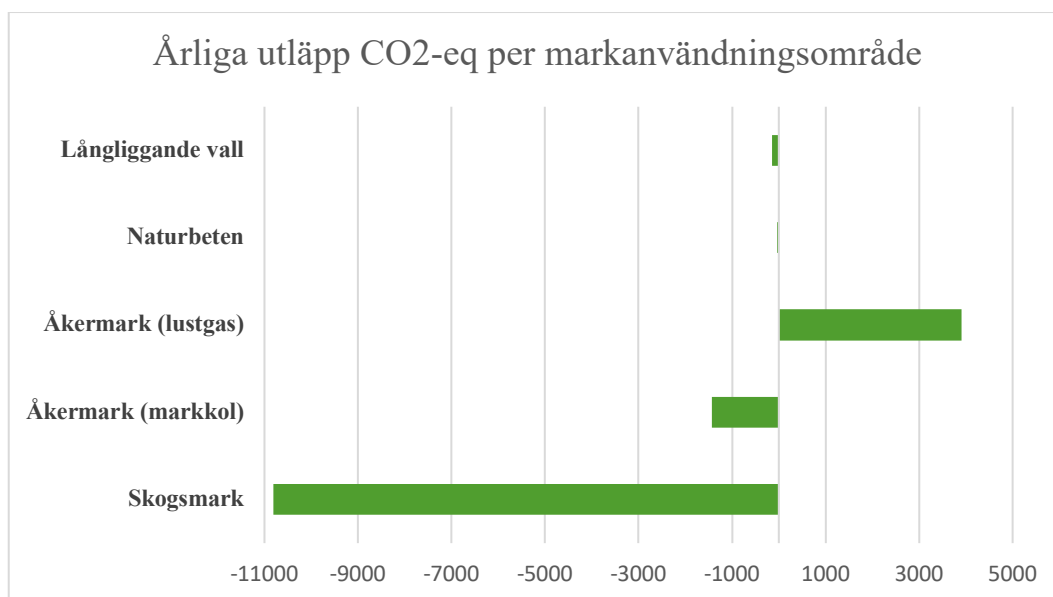
Skogsmarken är SLU:s största koldioxidsänka och binder in mer än 10000 ton CO₂ per år. Åkermarkens inlagring av markkol agerar som en sänka av ca 1400 ton CO₂ medan utsläppen av lustgas uppgår i ett nettoutsläpp av 4000 ton CO₂ årligen. SLU:s naturbeten och långliggande vallar binder in omkring 36 respektive 139 ton CO₂. Se tabell 2.

Tabell 2. Årliga utsläpp av CO₂-ekvivalenter för SLU:s olika markanvändningsområden. Negativa värden representerar en sänka. Utsläppssiffrorna för skogsmark är exklusive skogsfastigheten Fagerdal.

Markanvändningsområde	Ton CO ₂ -eq per år
-----------------------	--------------------------------

Skogsmark	-10595,04
Åkermark (markkol)	-1429,74
Åkermark (lustgas)	3903,53
Naturbeten	-36,67
Långliggande vall	-138,84
Total:	-8296,76

Figur 3 visar nettoutsläppen av koldioxidekvivalenter grafiskt.



Figur 3. Totala årliga utsläpp av CO₂ ekvivalenter per år och per markanvändningsområde. Åkermarken är uppdelat i utsläpp från markkol och lustgasutsläpp. Negativa värden representerar en koldioxidsänka. Utläppssiffrorna för skogsmark är exklusive skogsfastigheten Fagerdal.

3.1. Kolinlagring för Skogsmark

Resultaten från beräkningarna för skogsmarken presenteras i tabell 3. Den genomsnittliga årliga tillväxten av skogsbiomassa på 8222 skogskubikmeter kommer binda in 10595 ton CO₂ från atmosfären. Dessa värden är ett genomsnitt mellan 2013 och 2023, baserade på skogsbruksplanernas förslag på avverkning.

Tabell 3. Visar årlig tillväxt för SLU:s skogsmarker samt mängd kol och koldioxid som lagras in per år. Tillväxtsiffrorna är exklusive skogsfastigheten Fagerdal

Tillväxt (m ³ sk/år)	Mängd kol (kg C/år)	Mängd koldioxid (ton CO ₂ /år)
8222	3011564	-10595

3.2. Kolbalans i Åkermark

För SLU:s åkermark har utsläpp/kolinbindning för markkol beräknats samt utsläpp av N₂O (lustgas) per egendom och totalt för hela universitetet (tabell 4).

Tabell 4. Tabellen visar nettoutsläpp av CO₂-ekvivalenter från markkolsförändringar och lustgasutsläpp. Negativa värden representerar koldioxidsänka, dvs inlagring av kol.

Egendom	Areal åkermark (ha)	Nettoutsläpp markkol (kg CO ₂ /ha och år)	Nettoutsläpp lustgas(kg CO ₂ -eq /ha och år)	Totala årliga utsläpp från markkol (ton CO ₂)	Totala årliga lustgasutsläpp (ton CO ₂ -eq)
Ultuna + Lövsta	1300	-700	1313	-910	1706,9
Hallfreda	275	219	1083	60,23	297,825
Lönnstorp	60	369	1262	22,14	75,72
Alnarp	450	-606	2189	-272,7	985,05
Röbäcksdalen	270	-380	1551	-102,6	418,77
Lanna, Götala, Brogården	315	-720	1331	-226,8	419,265
Totalt:				-1429,74	3903,53

3.3. Långliggande vall

Utifrån värden från Kätterer et al. (2013) har kolinlagringen för SLU:s långliggande vallar beräknats till 138 ton CO₂ per år (tabell 5).

Tabell 5. Tabellen visar vilka egendomar på SLU som har långliggande vallar, hur många hektar som är långliggande vall och hur stora nettoutsläpp varje egendom har samt totala koldioxidutsläpp. Negativa värden representerar en koldioxidsänka.

Egendom	Areal långliggande vall (ha)	Nettoutsläpp (ton CO ₂ /år)
Ultuna	237	-123,24
Röbäcksdalen	30	-15,6
Totalt:		-138,84

3.4. Kolbalans i Betesmark

Utifrån värden på kolinlagring i svenska betesmarker från Karlton et al. (2010) har det beräknats att SLU:s totala naturbetesmarker lagrar in 36,7 ton koldioxid årligen (se tabell 6).

Tabell 6. Tabellen visar vilka av SLU:s egendomar som har naturbetesmark samt hur många hektar det rör sig om, nettoutsläpp av koldioxid redovisas per egendom samt totalt. Negativa värden betyder koldioxidsänka.

Egendom	Areal naturbetesmark (ha)	Kolförändring (ton CO ₂ /år)
Alnarp	50	-5,85
Lanna	50	-5,5
Ultuna	230	-25,3
	Totalt:	-36,65

4. Diskussion

4.1. SLU:s totala koldioxidberäkningar

I denna uträkning representerar både skogsmark, naturbetesmark, åkermarkens kolbalans och långliggande vall ett nettoupptag av koldioxid från atmosfären, också kallat negativt utsläpp. SLU:s skogsmark är den absolut största koldioxidsänkan med ett upptag av 10600 ton koldioxid per år - vilket är större än universitetets beräknade utsläpp från 2018 som låg på 7379,2 ton CO₂. Totala nettoutsläppen av koldioxid (tabell 2) från markanvändningssektorn (alltså lustgasutsläpp borträknat) var -12200 ton CO₂ per år och kan även dem balansera för utsläppen i andra sektorer. Skulle lustgas-utsläppen läggas till i en hypotetisk jordbrukssektor i SLU:s klimatrapporering och universitetets totala nettoutsläpp då skulle bli 11 282 ton per år, skulle ändå markanvändningssektorns negativa utsläpp kompensera, och totala utsläppen från SLU skulle vara cirka -1000 ton CO₂ per år.

Det tåls dock att diskutera vad man kan tillräkna sig som ett negativt utsläpp. Kan endast ett stort skogsinnehav väga upp för potentiellt stora utsläpp i andra sektorer? Sveriges klimatmål om noll nettoutsläpp av växthusgaser 2045 inkluderar till exempel inte markanvändningssektorn (Naturvårdsverket, 2020). Vill man ha ambitiösa klimatmål och aktivt arbeta med att motverka klimatförändringarna bör mer riktade aktioner kanske tas för att minska koldioxidutsläpp och då även öka kolsänkor i marker och vegetation. Enligt Miljödepartementets offentliga utredning "Vägen mot en klimatpositiv framtid" föreslås att endast additionella åtgärder får tillgodoräknas som ökat nettoupptag inom markanvändningssektorn (Klimatpolitiska vägvalsutredningen, 2020). Additionella åtgärder är utöver *business-as-usual* och kan till exempel vara beskogning, återvätning av torvmark eller ökad skydd av skogsmark.

4.2. Sverigekontext

Jämför man resultaten från denna rapport med vad Sverige rapporterar för siffror i den nationella klimatrapporeringen skiljer det sig på ett antal punkter. Både åkermark och betesmark rapporteras som källor till koldioxid av Naturvårdsverket, till skillnad från sänkor som SLU:s marker har visat sig vara. Siffrorna till den nationella klimatrapporeringen som Markinventeringen och Riksskogstaxeringen gör ingår all mark i hela Sverige.

Att SLU:s åkermarker tycks lagra kol medan de sammanställda beräkningarna för alla Sveriges åkermarker rapporteras som en utsläppskälla kan ha olika anledningar. Dels så skulle de växtföljder och skötseltekniker som används på SLU:s gårdar vara bättre på att lagra in kol i markerna än de som används i Sverige i genomsnitt. Mullhalten i jorden spelar in, då en lägre mullhalt ger större potential för ökning, och SLU:s åkermarken kan tänkas ligga längre från en jämvikt i mullhalt än den genomsnittliga svenska åkern. Den stora spridningen i resultat bland SLU:s gårdar i denna rapport visar också att det förmodligen är stor skillnad runt om i landet på hur väl åkermarken lagrar in kol. Små justeringar i växtföljd eller jordbrukstekniker kan ha stora effekter på nettoutsläpp av koldioxid. Det är inte otänkbart att SLU:s åkrar, med mycket vallodling och stallgödsel på grund av djurhållningen, är en del av de åkrar med negativa utsläpp medan stor del av resterande åkermarker i Sverige sköts på så sätt att markerna förlorar kol. Viktigt att nämna är att det finns viss osäkerhet i ICBM-beräkningarna som använts i denna rapport.

Vad gäller betesmarken, där Sverige rapporterar den som en källa till koldioxid medan SLU som en sänka, är förmodligen anledningen till skillnaden olika markförhållanden eller geografisk fördelning vilket också bidrar till osäkerheten i betesmarkens inlagring. Samtidigt är inlagringen alternativt utsläppet är relativt litet. Enligt Karlton et al (2010) lagrar betesmarker i syd in omkring 30 kg C per medan nordliga betesmarken släpper ut omkring 30 kg C, SLU:s samtliga betesmarken ligger i zonerna där inlagring förväntas och blir därmed en nettosänka. Skulle alla SLU:s betesmarker skötas på samma sätt som idag men istället ligga i Norrland skulle de vara klassade som en källa till koldioxid, enligt metoden i denna rapport. Det är därmed inte förvånande att SLU:s betesmarken inte är representativa för hela landet.

Enligt IPCC är mätta värden på kolförändringar alltid att föredra framför schablonvärden eller modellerade värden. Med det sagt, kan man argumentera för att modellerade värden på så pass små ytor som SLU:s marker utgör ger en god indikation på hur kolförändringar ser ut på åkrarna. Med tanke på att Odlingsspektiv-programmet tar så pass detaljerad hänsyn till jordart, mullhalt, klimatområden och är baserade på resultaten från långtgående försök har resultaten på kolförändringsvärdena rätt hög säkerhet i sammanhanget – det vill säga där man uppskattar ett övergripande tillstånd för ett större markinnehav.

Det bör också poängteras att de uppmätta förändringarna i kolförråden är små i förhållande till förrådets storlek.

4.3. Känslighetsanalys för metodval

4.3.1. Datatillgång

För att kunna beräkna utsläpp av växthusgaser på just området markanvändning krävs det omfattande information om markerna i fråga. Hur stora arealer av de olika

markanvändningskategorierna som finns är centralt, men också historiska data ifall förändring av markanvändning som skett och mer detaljerad information som jordmån, klimatdata, näringsvärden i marken, vegetationstyp etc. Detta har inte alltid funnits tillgängligt för markerna som SLU äger. Om mer omfattande kartläggning av SLU:s marker skulle ske kan modellerna för beräkning av kolbalans också bli mer exakta. Absolut bäst skulle vara ifall mätningar av kol i marken togs kontinuerligt för att se förändringar i kolpoolerna över tid.

Speciellt för marktyperna “Bebyggd mark” och “Övrig mark” är informationen knapphändig, och det finns potential för omfattande kartläggning över dessa marker och mer precist undersöka vad för vegetation, marktyp, jordmån och eventuella fastigheter etc som återfinns.

För att förbättra beräkningar kommande år skulle energi behöva läggas på att ta fram mer information om den övriga marken. Är övrig mark mest tomtmark kring fastigheter och gårdar? Finns det till exempel betydande våtmarken här som kan ha en påverkan på kolbalansen? Förbättringar för skogsmarken behöver inkludera mer data kring markförhållanden, som ifall det rör sig om fastmark eller diktad organogen mark, och mängd och potentiella förändringar i markkol.

För att uppföljning på dessa beräkningar ska kunna ske behöver informationen uppdateras löpande. Är arealen åkermark, skogsmark och betesmark fortfarande vad de var vid senaste rapporteringen? Har en ny skogsbruksplan tagits fram behövs en omräkning på den fastighetens tillväxt per trädsort ske för att få en ny inlagring. För åkermarken behöver uppdateringar i växtföljder ses över, samt om förändring av stallgödselmängder, bearbetningstidpunkt, skörderesthantering, skördemängder eller användande av fånggröda har skett. Finns det uppdaterade siffror vad gäller inlagring från betesmark eller långliggande vall bör dessa också bytas ut.

4.3.2. Begränsningar i kalkylprogrammet

Verktyget *OdlingsPerspektiv* från Greppa Näringen som användes i denna rapport för att beräkna kolbalansen för SLU:s åkermarker har en del begränsningar.

Modellen är dels inte optimerad för ekologiskt lantbruk, vilket sker på en del åkrar som SLU äger. I beräkningen har därför all åkermark räknats som konventionella. Ekologiska gårdar tenderar globalt att ha en högre kolhalt i sina jordar än konventionella (Gattinger et al., 2012), dock beror detta oftast på att ekologiska gårdar använder sig av mycket stallgödsel samt vallodling vilket är faktorer som *OdlingsPerspektiv* har med som påverkan på kolinlagring. Det finns därmed inte mycket som tyder på att modellens optimering för konventionellt lantbruk påverkar resultaten i kolinlagring betydligt.

OdlingsPerspektiv är däremot optimerad för en maximalt tvåårig vallodling vilket har lett till att i Röbbäcksdalen där vallen egentligen får ligga i tre år har det lagts in som två. Konsekvensen blir en lägre kolinlagringen i resultatet än vad som

förmodligen faktiskt sker - eftersom vallodling har positiv påverkan på kolhalten i marken.

4.3.3. Nödvändiga avrundningar och generaliseringar

Vad det gäller skogsmarken så har dels skogsmarkens flöden av markkol antagits vara i balans. Detta för att ingen data på markkolsförråd eller förändringar fanns tillgängliga från dataunderlaget. Att ha information om ifall och i så fall var dränerad organogen mark finns är betydande för kolbalansberäkningar, detta kan fås fram genom kartanalys. Information om förekomst av dränerad organogen mark skulle kunna få en stor betydelse för växthusgasberäkningar, men ingick inte i studien. Beräkningar för inlagring av CO₂ i trädbiomassan har också utgått från att tillväxten av m³sk är jämnt fördelad över de olika trädslagen (tall, gran, lövträd). Om 40% av skogen bestod av gran har även 40% av den årliga tillväxten attribuerats granens inlagring.

Viktigt att poängtera är också att tillväxten från skogsbruksplanerna är genomsnittliga värden fördelade på en tioårsperiod. Det kan alltså finnas större spridning på tillväxten samt avverkningen år till år än vad som redovisas. Vill man redovisa faktisk årlig kolinlagring från skogsmarken krävs årlig information om tillväxt samt årlig avverkning. Med resultaten från årlig kolinlagring kan mer precisa slutsatser dras om hur till exempel väderförhållanden eller hur lokala åtgärder har påverkat tillväxten och därmed kolinlagringen.

Gällande åkermarken har först och främst växtföljden på åkrarna uppskattats till det mest typiska. För stora egendomar som till exempel Alnarp och Ultuna har stora generaliseringar behövt göras här då det inte alltid ser likadant ut överallt på de olika åkermarkerna. SLU som universitet har också en rad olika växtförsök och studier på vissa åkerområden som har varit svåra att få med i beräkningarna. För att öka noggrannheten här bör beräkningarna ske på mindre områden som kanske har så lik växtföljd som möjligt. Ultunas 1300 hektar kan delas upp i ca tio mindre områden och beräkningar sker separat på dessa åkrar. Ju mindre områden ju mer exakt bör resultaten bli. Detta betyder dock inte att siffrorna för den sammantagna kolbudgeten nödvändigtvis ändras. Lerhalt och mullhalt har beräknats genomsnittligt från markkarteringar, likaså för fosfor och kaliummängder i jordarna. Jordarten spelar roll för beräkningen av lustgasemission, dock om en mer exakt beräkning av lustgas vill göras bör ett annat verktyg än *OdlingsPerspektiv* nog användas som till exempel *VERA* som har en betydligt större exakthet. *VERA* är ett beräkningsverktyg för lantbrukare med fokus på näxtväringsbalanser, gödslingsplaner, energiåtgång med mera (Greppa Näringen, 2021).

4.4. Framtiden

Om SLU vill fortsätta med sitt klimatarbete är inte bara ett minskat utsläpp av koldioxid det enda sättet att göra det utan även att öka sina koldioxidupptag. Det

finns olika tekniker som kan appliceras för lantbrukare eller skogsbrukare för att öka upptaget av koldioxid i sina marker.

4.4.1. Skogsmark - hur kan man öka kolförrådet?

SLU:s skogsmark utgör en betydande koldioxidsänka - men kan man öka denna inlagring ytterligare? Då kolinlagringen i skogen absolut främst sker genom tillväxt av skogsbiomassa kommer produktionshöjande åtgärder också att öka upptaget av kol. Enligt Skogsstyrelsens (2018) finns potential för att öka produktionen främst genom kvävegödsling, men också användandet av främmande trädslag, genom dikningsåtgärder samt torvmarksgödsling.

Tillgången på kväve påverkar tillväxten av biomassa i skogsmarken på samma sätt som på åkermarken, och därmed upptaget av koldioxid från atmosfären. Skogsgödsling är ett sätt att öka kvävetillgången i skogsmarken, Dou et al. (2015) skriver till exempel hur skogsgödsling hade positiv påverkan på kolinlagring i form av ökad primärproduktion och ökad ljusanvändningseffektivitet i alla tre bestånd i deras studie. Skogsgödsling är endast lönsamt på kvävefattiga jordar. Skogsstyrelsen avråder från gödsling i hela Götaland till exempel på grund av risken för kväveläckage, och vill man gödsla sin skogsmark behöver en rad kriterier uppnås och ska ske i samråd med Skogsstyrelsen. Med gödsling kommer också en risk för viss miljöförstöring i form av till exempel kväveläckage.

Rensning av tidigare dikad mark, nydikning och viss skyddsdikning kan enligt Skogsstyrelsen (2018) öka produktionen av skogsbiomassa i Sverige med 2 miljoner skogskubikmeter per år. Dikning, det vill säga en sänkning av grundvattenytan i torvmarker, ger dock tidigare inert organiskt material tillgång till syre vilket i sin tur leder till både koldioxid- och lustgasutsläpp.

Användning av främmande trädslag som contortatall, hybridlärk och hybridasp kan ge en ökad produktion träbiomassa (Skogsstyrelsen, 2018). Främmande trädslag kan även vara ett sätt att förbereda sig för ett förändrat klimat i framtiden. Det finns dock alltid risker med introduktion av nya arter i ekosystem som sjukdomar och skadeinsekter.

För skogsbruk som sker på dikad torvmark är jordförbättring ett sätt att öka produktionen (Skogsstyrelsen, 2018). Den kväverika torvmarken är ofta fattig på fosfor och kalium och bör därmed gödslas fosfor-kalium-gödselmedel. Torvgödsling har aldrig skett i större skala i Sverige. Här kan även askåterföring vara en åtgärd.

Svenska skogsbruket är optimerat för maximal ekonomisk avkastning och tenderar att avverkas kring 80–100 års beståndsålder. Enligt Brukas et al. (2009) som har studerat skogsbestånd i Tyskland där skogen brukas efter maximal volym, avverkas skogen snarare efter 120–140 år. De tyska skogarna binder därmed in kol under längre tid än de svenska skogarna. Detta har dock medfört att tyska staten har behövt gå in och täcka upp kostnader med subventioner för att skogsbruket ska gå

runt ekonomiskt (Brukas et al., 2009) - det kostar alltså mer i dagens marknadssituation att låta träden lagra in kol under längre tid. Mer omfattande beräkningar behöver göras för att på ett rättvist sätt kunna sätta kolinbindning gentemot vad det skulle kosta att låta träden stå under längre tid innan avverkning. Ifall SLU skulle minska avverkningen i sina skogar för att öka kolinlagringen, är risken dock stor för att avverkningen skulle ske någon annanstans istället då efterfrågan på träråvara inte lär minska.

Beräkningarna för skogen och skogsmarken har inte inkluderat substitutionsnyttan skogsråvaran kan erbjuda då träprodukter har potential för att ersätta material med högre koldioxidutsläpp, vilket ofta tas upp då hela skogens klimatnytta diskuteras. Ett starkt argument för att fortsätta avverka skogen och använda dess produkter är just denna viktiga faktor, att om skogsråvaran skulle försvinna från marknaden skulle mer klimatbelastande material behöva ta dess plats potentiellt. Med ett snävt fokus på kolinlagring kan man lätt anse att låta skogen stå och maximera tillväxt till varje pris är den uppenbart mest miljövänliga vägen då det kommer maximera den direkta kolsänkan skogsmarken utgör. Soimakallio et al. (2021) har vägt dessa två punkter mot varandra i finskt skogsbruk, skogens potential för att undvika växthusgasutsläpp genom användning av avverkade träprodukter och de negativa utsläpp skogens upptag av koldioxid förser. Resultaten från studien visar på att en ökad avverkning också leder till totalt sett ökade koldioxidutsläpp, då utsläppen från avverkningen och de förlorade negativa utsläppen från kolinlagringen troligtvis är större än de utsläpp från materialet som substitueras med träprodukter. En mängd faktorer spelar in i dessa typer av beräkningar, men generellt sätt skriver Soimakallio et al. (2021) att för att substitutionsnyttan ska överväga klimatnyttan av att låta skogen stå behöver mängden träprodukter i materialmixen vara högre, koldioxiden från bioenergi behöver fångas in och lagras och förlusten av koldioxidsänka avverkningen utgör minimeras. Stokland (2021), har studerat tillväxt i norska skogsbestånd och visat att skogen fortsätter att växa mellan 50 och 100 år efter ekonomiskt optimala rotationslängden, och rekommenderar därför att ur ett klimatperspektiv lär förlängd rotation i skogsbruket övervägas.

En beräkning för SLU:s skogsbruks möjliga substitutionsnytta genomfördes. Resultatet visade att ca cirka 1500 ton CO₂ utsläpp substitueras varje år. En substitutionsfaktor på rundvirke på 500 kg CO₂ per kubikmeter användes, vilket är i lägre delen av intervallet Hurmekoski et al. (2021) kom fram till. Substitutionsfaktorn har applicerats på andelen bark och stam på den totala årliga avverkade trädbiomassan från SLU:s skogsmark. Hur mycket koldioxidanvändandet av träprodukter kan ersätta är inte en exakt vetenskap och konstant föränderlig. Blir materialet som ersätts med trä mer klimatsmart till exempel blir substitutionsfaktorn lägre, men kan bli högre ifall träprodukterna koncentreras att endast ersätta material med störst utsläpp. Siffran 500 kg CO₂ per m³ trä är alltså mycket osäker, och det finns studier och kommer fram till högre värden. Att skogsbruk opererar på så pass långa tidsskalor komplicerar substitutionsberäkningar ytterligare då en framtida materialmix och framtida materials klimatpåverkan är svåra att förutspå. Det är samtidigt en viktig aspekt som material från skogen bidrar med - trä är trots allt förnybart och betydligt med klimatsmart än exempelvis betong.

Då skogsbruk och skogsråvaror figurerar i både ekologiska och industriella system blir diskussion kring klimatnytta oerhört komplexa och slutsatser kan vara svåra att dra.

4.4.2. Åkermark - hur kan man öka kolförrådet?

För SLU:s åkermarker finns potential att öka kolinlagringen genom olika tekniker som Greppa Näringens rådgivare föreslår för lantbrukare. Att odla fånggrödor kan både förhindra näringsläckage från åkern och öka kolinlagringen i marken (Aronsson et al., 2012). Fånggrödor sås in antingen innan eller efter skörd för att minska kväveutlakning men även ge mervärde för växtföljden. Typiska fånggrödor är höstsäd, vallgräs, vallbaljväxter och brassica-arter, vilka har kraftiga rotsystem som tidigare nämnt bidrar till ökad kolinlagring i jorden (Aronsson et al., 2012). Enligt en studie av tre långsiktiga försök i södra Sverige och ett i Nordamerika visades att fånggrödor ökade halten organiskt kol i marken med mellan 0.32 och 0.28 ton kol per hektar och år (Poehlau et al., 2015). Fånggrödor har även visat olika påverkan på lustgasemissioner i åkermarker, Kasimir Klemendtsson et al. (2011) kunde visa på ökade utsläpp av lustgas då fånggröda använts i växtföljd med åkerböna. Dock skriver Delgado et al. (2010) att fånggrödor ökar växtnäringens utnyttjandet och kvävecirkulationen i ett odlingssystem som är grund till minskade lustgasutsläpp. Aronsson et al. (2012) sammanfattar i sin rapport till titulerad "Gröda mellan grödor" att fånggrödor *"totalt sett har en positiv inverkan för att motverka klimatförändringar genom minskade lustgasutsläpp och ökad kolinlagring"* (Aronsson et al., 2012).

Fleråriga grödor är ett annat sätt att öka kolinlagringen på åkermarkerna. Fleråriga grödor, eller perenner, tenderar att ha djupare rotsystem som har visats bidra till ökad mängd organiskt kol i åkermarken. Flerårig vallodling är ett exempel på perenngröda som enkelt kan öka mängden markkol i åkern. Denna rapport siffror av en inlagring på 500 kg CO₂ per hektar (Kätterer et al., 2013) och år för långliggande vall visar tydligt potentialen för att öka kolupptaget om vallodling skulle anläggas på fler av SLU:s åkrar. Värt att nämna är dock att ju lägre mullhalt (kolhalt) jorden har innan desto större potential finns för marken att lagra in mer kol. Även faktorer som jordartens textur, markfuktighet och temperatur spelar roll för kolinlagringspotential.

Att lämna skörderester på åkern är ett ytterligare sätt att tillföra mer organiskt material till jorden. Mullhalten i svenska jordar ökar mer i lerjordar jämfört med sandjordar om halmskörden lämnas kvar på åkern, baserat på långliggande fältförsök i Sverige (Bolinder et al., 2017). Skörderester som exporteras från åkrarna säljs även ibland som bioenergi - vilket också kan argumenteras ha en positiv inverkan på klimatet ifall bioenergin ersätter fossil energi.

Mineralgödning, som används flitigt i svenskt jordbruk, har positiv påverkan på kolinlagringen i jorden då den är direkt korrelerad till ökad nettoprimärproduktion, och för varje kilo kväve som tillförd ökar generellt sätt även kolinlagringen med 1-2 kg per hektar och år (Alvarez, 2005). Tillförsel av organiskt material i form av

stallgödsel har även det generellt sett en positiv inverkan på kolinlagringen, där den största påverkan visades för rötslam i en sammanställning av tillgänglig litteratur av Bolinder et al. (2017). Resultaten från de långliggande fältförsök som inkluderats i beräkningarna som *OdlingsPerspektiv* baseras på - tas effekten av stallgödsel med och Alnarps egendom till exempel, som använder en del stallgödsel, kan man se att det bidrar till deras höga kolinlagring.

4.4.3. Gårdsspecifik diskussion för åkermarken

Ser man närmare på varje gård för sig i kalkylprogrammet för åkermarken kan åtgärder för ökad kolinlagring identifieras, vilket diskuteras nedan.

När det kommer till lustgasemissioner är kalkylprogrammet inte speciellt detaljerad och gårdsspecifika åtgärder förändrar inte utsläppet av lustgas mycket. I regel minskar kväveutlakningen om fånggrödor används, vilket inte har rapporterats att det gör på någon av SLU:s åkermarker så där finns potential för att minska lustgasutsläppen något. Det finns betydligt mer exakta program för beräkningar kring lustgas som bör användas om man har som mål att minska utsläppen av lustgas från SLU:s åkrar.

Ultuna egendom

Ultuna egendom omfattar i dessa beräkningar ett område på 1300 hektar. Det är ett stort område med över hundra fält. Generaliseringarna som har krävts på till exempel typisk växtföljd och stallgödselmängder gör resultatet för Ultuna aningen osäkert. Egentligen bör man dela upp Ultuna egendom i mindre bitar och beräkna de för sig för att få ett mer exakt resultat. Ultuna har i dessa beräkningar en kolinlagring på 700 kg CO₂ per hektar åkermark, näst största av alla SLU:s egendomar. Kolinlagringen beror på den tvååriga vallodlingen (på runt 300 hektar) som finns och som effektivt lagrar in kol, även användningen av rötresten från Lövsta biogasanläggning ökar kolinlagringen i marken enligt kalkylprogrammet.

Ultuna har även drygt 230 hektar långliggande vall (mer än fem år) som lagrar in ca 500 kg CO₂ per hektar. Även om den långliggande vällen räknas separat från åkermarken i denna rapport är det på åkermark vällen odlas. Ultuna har därmed en stabil årlig inlagring av markkol.

Hallfreda egendom

Hallfreda egendom på Gotland har 275 hektar åkermark och har enligt mina beräkningar en förlust av 219 kg CO₂ per år. Denna förlust beror på att det endast odlas ettåriga grödor på gården samt att skörderesterna från höstvetet bortförs från åkern år två och tre. Enligt kalkylprogrammet skulle mullhalten (dvs kolförrådet) vara nästintill oförändrad ifall skörderesterna lämnades kvar på åkern och därmed tillföras på marken. Skulle man odla en tvåårig vall år ett och två och fortfarande föra bort halmen på höstvetesskörden skulle man se en kolinlagring på runt 400 kg CO₂ per hektar, och om höstvetesskörden istället lämnades på åkern kan kolinlagringen komma upp i 900 kg CO₂ per hektar. Skulle stallgödsel och/eller fånggrödor också användas kan kolinlagring öka ännu mer.

Hallfreda har idag en rätt låg mullhalt på 2,8% vilket också det indikerar att det finns stor potential för att öka kolinlagringen på åkermarken här.

Lönnstorp forskningsstation

Lönnstorp är en försöksgård och även här är det viktigt att poängtera att stora generaliseringar har varit nödvändiga vid typisk växtföljd, då gården har olika grödor på många olika mindre ytor egentligen. Med detta i åtanke är ändå en diskussion kring förbättringspotential för ökad kolinlagring intressant.

På Lönnstorp finns det 60 hektar åkermark som enligt beräkningarna ser en förlust av 369 kg CO₂ per hektar och år. Likt Hallfreda beror detta främst på att det endas odlas ettåriga grödor. Att det även odlas sockerbeter gör att nedbrytningsfaktorn bli högre än på de gårdar där endast spannmål och vall odlas - det vill säga nedbrytningen av det organiska materialet i åkermarken är högre och det krävs därmed en större inlagring relativt sett för att väga upp för detta utsläpp. Vall har lägst nedbrytningsfaktor och skulle sockerbeterna år fyra ersättas med en ettårig vallodling skulle Lönnstorps åkermark istället lagra in nästan 600 kg CO₂ per år och hektar. Gör man denna vall tvåårig istället kan kolinlagringen uppgå till 700 kg CO₂ per år.

Alnarps egendom

Alnarps egendom i Skåne med sina 450 hektar åkermark bör likt Ultuna förmodligen delas upp i flera mindre områden som beräknas var för sig för att få mer exakthet i resultaten.

På Alnarp sker en inlagring av 606 kg CO₂ per år och hektar främst tack vare gårdens användning av biogödsel som bidrar till flödet av organiskt material in i åkermarken. Att skörderester lämnas på åkern och flera år av odling av höstvetete som har rätt hög koltillförsel till jorden bidrar även det till tillförsel av kol till marken. Alnarp har alltså en god inlagring av kol i dagsläget. Idag har Alnarp endast ettåriga spannmålsgrödor och ett år av sockerbeter, och skulle man vilja öka inlagring ytterligare är detta också möjligt genom att om sockerbeterna år ett ersätts med en ettårig vall skulle till exempel kolinlagringen kunna uppgå till 1400 kg CO₂ per hektar och år. Skulle man istället göra denna vall tvåårig kan inlagringen bli så stor som 1770 kg CO₂ per hektar och år enligt kalkylprogrammet.

Röbäcksdalens forskningsstation

På Röbäcksdalens åkrar odlas mest slåttervall och vårkorn vilket leder till dess höga kolinlagring på 380 kg CO₂ per år och hektar. Stallgödsel används även flitigt vilket bidrar till nettomängden kol som tillförs åkermarken. En åtgärd som skulle kunna öka en redan hög kolinlagring ytterligare är ifall halmskörden från vårkornen lämnades på åkern istället - detta skulle kunna öka Röbäcksdalens kolinlagring till 600 kg CO₂ per år och hektar.

Värt att notera är att egentligen är Röbbäcksdalens vall treårig, men för att kunna passa in i kalkylprogrammet har den lagts in som tvåårig. Detta betyder att kolinlagringen på 380 kg CO₂ per år och hektar förmodligen är aningen högre.

Lanna egendom

Lanna, Götala och Brogården har 315 hektar åkermark mellan sig och har en upptag av 720 kg CO₂ per år och hektar. Denna stora inlagring av kol beror på en rad olika saker. Dels lämnas skörderesterna på åkern alltid kvar vilket är ett tillskott av organiskt material till marken, det odlas ettårig vall som gödslas med stallgödsel vilket ökar inlagringen av kol, och området i kombination med grödorna som odlas leder till en relativt de andra gårdarna låg nedbrytningshastighet av det organiska materialet i marken. Detta leder till stort tillskott av kol kombinerat med rätt lågt utsläpp - därför är Lannas egendom den egendom på SLU som lagrar in mest markkol i sina åkermarker.

4.4.4. Betesmark - bör man öka kolförrådet?

Kolinlagringen i betesmark är omdiskuterat i litteraturen och utifrån siffror använda i denna rapport inlagring i svensk betesmark på omkring 30 kg per hektar och år (Karlton et al., 2010) är den både liten och osäker. I rapporten beräknas att betesmarken i norra Sverige representerar koldioxidkällor medan de i södra Sverige istället är sänkor. Dock kan man tänka att genom riktade aktioner för att öka kolförrådet, kan man med en större säkerhet klassa marken som en faktiskt kolsänka. SLU:s betesmarker utgör endast dryga 6 procent av totala markytan, men det kan ändå finnas åtgärder som kan göras på dessa marker för att ta upp mer koldioxid från atmosfären.

Vegetationen på en betesmark ska inte förbises, det finns potential att lagra in kol i den levande biomassen på naturbetesmarker om mer buskar och träd tillåts växa till sig. Planteras fler träd på betesmarkerna till exempel kommer kol att lagras in i trädets biomassa. I dagsläget finns det inte några kartläggningar över hur mycket levande biomassa som återfinns på SLU:s betesmarker, och förslag på var förbättringar skulle göra störst skillnad blir därmed svår. Generellt sätt kan man säga att en ökad nettoprimärproduktion skulle även öka kolinlagringen hos betesmarken likt sambanden som återfinns på åkermarken, främst om det som växer har stora rotsystem.

För just betesmark kan man dock också argumentera för att andra ekosystemtjänster än kolinlagring har större potential för att göra gott. Betesmarken är som nämnt mycket viktig för att främja biologisk mångfald. Det öppna landskapet som återfinns på naturbetesmark är optimal för blommor och insekter att leva och spridas, högst artrikedom finns i gräsmarker samt förekomsten av hotade arter återfinns i just okultiverad naturbetesmark i Sverige. Karlton et al. (2010) argumenterar för att bevarandet av den biologiska mångfalden, och därmed naturbetesmarkernas öppna landskap är ett tyngre argument än att öka klimatnyttan genom att försöka öka kolinlagringen på dessa marker. Det ena behöver emellertid inte utesluta det andra och lösningar där både en ökad kolinlagring och bibehållen hög biodiversitet är givetvis att föredra.

5. Slutsats

Beräkningar av koldioxidutsläppen från SLU:s markanvändning visar att skogsinnehavet representerar en betydande kolsänka, och att även åkermark och betesmark totalt sett redovisar negativa utsläpp. Årliga utsläpp från markanvändningssektorn uppgår i -12 416 ton CO₂ per år. Det sker ett utsläpp av lustgas från SLU:s åkermarker som uppskattades till 3903 ton CO₂-eq per år.

Det finns en rad åtgärder tillgängliga för att öka kolinlagringen i markanvändningssektorn. I skogsbruket kan åtgärder som kvävegödsling implementeras för att maximera tillväxten hos träden samt skötseltekniker i jordbruket som användandet av fånggrödor, stallgödselanvändning och kvarlämning av skörderester på åkrarna kan ha betydande effekt på kolinlagringen. Kostnaden för dessa åtgärder dock är inte kartlagda i denna studie och behöver övervägas för att identifiera det mest effektiva. Betesmarkens potential för kolinlagring är inte lika omfattande som för åkermark och skogsmark och bör möjligtvis istället optimeras för att gynna biologisk mångfald.

Metoden som använts i denna rapport går att applicera på liknande organisationer som har snarlik fördelning på markanvändningstyper. Noggrannheten i resultaten kan förbättras ifall åkermarkens utsläpp beräknas på mindre ytor. Kartläggning av vad som klassas i denna rapport som övrig mark krävs för att få ännu mer fullständiga siffror på markanvändningens påverkan på klimatet.

Referenser

- Alvarez R. 2005. A review of nitrogen fertilizer and conservation tillage effects on soil organic carbon storage. *Soil Use and Management*. 21: 38-52.
- Aronsson, H., Bergkvist, G., Stenberg, M. och Wallenhammar, A-C. 2012. Gröda mellan grödorna -samlad kunskap om fånggrödor. Rapport 2012:21, Jordbruksverket, Jönköping.
- Bergh, J., Egnell, G., Lundmark, T., 2020. Skogsskötselserien kapitel 21, Skogens kolbalans och klimatet. Skogsstyrelsen.
- Bolinder M.A, Freeman M, Kätterer T., 2017. Sammanställning av underlag för skattning av effekter på kolinlagring genom insatser i Landsbygdsprogrammet. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi, enheten för Systemekologi.
- Brukas, V. & Weber, N. 2009, "Forest management after the economic transition— at the crossroads between German and Scandinavian traditions", *Forest policy and economics*, vol. 11, no. 8, pp. 586-592.
- Bryngelsson, D., Wirsenius, S., Hedenus, F. & Sonesson, U. 2016, "How can the EU climate targets be met? A combined analysis of technological and demand-side changes in food and agriculture", *Food policy*, vol. 59, pp. 152-164
- Delgado, J.A., Del Grosso S.J. & Ogle, S.M. 2010. 15N isotopic crop residue cycling studies and modeling suggest that IPCC methodologies to assess residue contributions to N₂ O-N emissions should be reevaluated. *Nutrient cycling in agroecosystems* 86, 383–390.
- Djordjic, F. 2015. Jordartsfördelning och växtnäringstillstånd i svensk åkermark – Sammanställning av resultat från Jordbruksverkets nationella jordartskartering.
- Dou, X., Chen, B., Black, T. A., Jassal, R. S., & Che, M. 2015.. Impact of Nitrogen Fertilization on Forest Carbon Sequestration and Water Loss in a Chronosequence of Three Douglas-Fir Stands in the Pacific Northwest [A]. doi:<http://dx.doi.org/10.14288/1.0378270>
- 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 and R. Van Dorland, 2007: 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.
- Freney, J. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49, 1–6 (1997)
- Fridman J., Holm S., Nilsson M., Nilsson P., Ringvall A. H., Ståhl G., 2014. Adapting National Forest Inventories to changing requirements – the case of the Swedish National Forest Inventory at the turn of the 20th century. *Silva Fennica* vol. 48 no. 3 article id 1095
- Garnett, Tara & Godde, Cécile & Müller, Adrian & Röö, Elin & Smith, Pete & Boer, I.J.M. & zu Ermgassen, Erasmus & Herrero, Mario & Middelaa, Corina & Schader, Christian & Zanten, Hannah. (2017). Grazed and confused? Ruminating on cattle, grazing systems, methane, nitrous oxide, the soil carbon sequestration question – and what it all means for greenhouse gas emissions.
- Gattinger A, Muller A, Haeni M, Skinner C, Fliessbach A, Buchmann N, Mäder P, Stolze M, Smith P, Scialabba NE-H. 2012 : Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *PNAS* 2012, 109(44):18226-18231. <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>
- Greppa Näringen, 2021. “Vera”. Greppa Näringen, för rådgivare. <https://adm.greppa.nu/vera.html>
- Hurmekoski, E., Myllyviita, T., Seppälä, J., Heinonen, E., Kilpeläinen, A., Pukkala, T., Mattila, T., Hetemäki, L., Asikainen, A. & Peltola, H. 2020. Impact of structural changes in wood-using industries on net carbon emissions in Finland. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.12981>.
- IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Task Force on National Greenhouse Gas inventories.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel On Climate Change, United Nations.
- IPCC. 2013. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- IPCC. 2014a. Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

- Kainiemi V. 2014. Tillage effects on soil respiration in Swedish arable soils. Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Soil and Environment, Uppsala, Sweden.
- Karlton, E., Jacobsson, A., Lennartsson, T.. 2010. Inlagring av kol i betesmark. Jordbruksverket.
- Kasimir Klemedtsson, Å., Nylinder, J., Stenberg, M., Klemedtsson, L. 2011. Organic field beans have low nitrous oxide emissions and high N-efficiency. 'Nitrogen and Global Change' international conference. Edinburgh 2011.
- Klimatpolitiska vägvalsutredningen. 2020. Vägen mot en klimatpositiv framtid. Miljödepartementet.
<https://www.regeringen.se/4a9e84/contentassets/1c43bca1d0e74d44af84a0e2387bfbcc/vagen-till-en-klimatpositiv-framtid-sou-20204>
- Kätterer T., Bolinder M.A., Thorvaldsson G., Kirchmann, H. 2013. Influence of ley-arable systems on soil carbon stocks in Northern Europe and Eastern Canada. EGF Series 'Grassland Science in Europe'. Vol 18: 47-56.
- Kätterer, T. 2018. Hur påverkas marken av växtföljd, tillförsel av organiskt material och jordbearbetning. Greppa Näringen.
<https://adm.greppa.nu/download/18.782d4b39166f2f432144a47d/1541773846205/vaxtfoljd-och-organiskt-material-thomas-katterer.pdf>
- Kätterer T., Bolinder M.A., Andren O., Kirchmann H., Menichetti L. 2011. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 141: 184-192.
- Lundmark, T. 2017. Hyggesfritt skogsbruk och klimatet. I: Hyggesfritt skogsbruk. Erfarenheter från Sverige och Finland. Future Forests. Rapportserie 2017:1. SLU, Umeå. s. 71–74.
- Marklund, L.G., 1988. Biomass functions for pine, spruce and birch in Sweden. *Swed. Univ. of Agric. Sciences, Dep. of For. Surv., Report, 45, p. 73* (In Swedish with English summary)
- McDaniel M.D., Tiemann L.K., Grandy A.S. 2014. Does agricultural crop diversity enhance soil microbial biomass and organic matter dynamics? A meta-analysis. *Ecological Applications*. 24:560-570.
- NASA. 2021. "Carbon Dioxide Concentration." *NASA*, NASA, Hämtad: 18e Maj, 2021, climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/
- Naturvårdsverket. 2020. "Sveriges Klimatmål Och Klimatpolitiska Ramverk." *Naturvårdsverket*, www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Sveriges-klimatlag-och-klimatpolitiska-ramverk/.
- Naturvårdsverket. 2021a. "Klimatkonventionen." *Naturvårdsverket*, 2021, www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/EU-och-

- internationellt/Internationellt-
miljoarbete/miljokonventioner/Klimatkonventionen/.
- Naturvårdsverket. 2021b. "Utsläpp Och Upptag Av Växthusgaser Från Markanvändning. (LULUCF)." *Naturvårdsverket*, 2021, www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-och-upptag-fran-markanvandning/.
- Nilsen, P. & Strand, L.T. 2013. Carbon stores and fluxes in even- and uneven-aged Norway spruce stands. *Silva Fennica* 47(4), artikel-id 1024. 15 s.
- Näslund, M., 1947. Funktioner och tabeller för kubering av stående träd. Tall, gran och björk i södra Sverige samt i hela landet. Meddelande från Statens Skogsförsöksanstalt, vol. 36, p. 3 (in Swedish)
- Petersson, H., Ståhl, G., 2006. Functions for below-ground biomass of *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Betula pendula* and *B. pubescens* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 21, 84– 93.
- Poeplau, C., Aronsson, H., Myrbeck, Å. and Kätterer, T. 2015. Effect of perennial ryegrass cover crop on soil organic carbon stocks in southern Sweden. *Geoderma Regional* 4: 126-133.
- Riksdagsförvaltningen, 2021. Klimatrapporteringsförordning (2014:1434) Svensk författningssamling 2014:2014:1434 – Riksdagen. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/klimatrapporteringsforordning-20141434_sfs-2014-1434 (hämtad 3.9.21).
- Röös, E. 2019. Kor och klimat . Uppsala: SLU, EPOK – Centrum för ekologisk produktion och konsumtion
- SCB. 2021. Totala utsläpp av växthusgaser efter växthusgas, sektor och år. Hämtad: 18e Maj 2021. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0107/TotaltUtslappN/table/tableViewLayout1/
- Skogsstyrelsen. 2018. Produktionshöjande åtgärder- Rapport från samverkansprocess skogsproduktion. Skogsstyrelsen. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/pagaende-projekt/samverkansprocess-skogsproduktion/produktionshojande-webb-2.pdf>
- Soimakallio, S., Kalliokoski, T., Lehtonen, A. & Salminen, O. 2021, "On the trade-offs and synergies between forest carbon sequestration and substitution", *Mitigation and adaptation strategies for global change*, vol. 26, no. 1
- Stokland, J.N. 2021, "Volume increment and carbon dynamics in boreal forest when extending the rotation length towards biologically old stands", *Forest ecology and management*, vol. 488, pp. 119017.
- Valkama E., Lemola R., Känkänen H., Turtola E. 2015. Meta-analysis of the effects of undersown catch crops on nitrogen leaching loss and grain yields in the Nordic countries. *Agric. Ecosyst. Environ.* 203: 93-101.
- UNFCCC. 2014. Decision 24/CP.19, in Decisions adopted by the Conference of the Parties. <https://unfccc.int/resource/docs/2013/cop19/eng/10a03.pdf#page=2>

- UNFCCC. 2021a. "Reporting and Accounting of LULUCF Activities under the Kyoto Protocol." *Unfccc.int*, Hämtad: 19e maj 2021, unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use-land-use-change-and-forestry-lulucf/reporting-and-accounting-of-lulucf-activities-under-the-kyoto-protocol.
- UNFCCC. 2021b. Land Use, Land-Use Change and Forestry. UNFCCC <https://unfccc.int/topics/land-use/workstreams/land-use--land-use-change-and-forestry-lulucf/land-use--land-use-change-and-forestry> (hämtad 17e maj, 2021).
- Yang, M., Fang, Y., Sun, D. & Shi, Y. 2016, "Efficiency of two nitrification inhibitors (dicyandiamide and 3, 4-dimethylpyrazole phosphate) on soil nitrogen transformations and plant productivity: a meta-analysis", *Scientific reports*, vol. 6, no. 1, pp. 22075.

Tack

Jag vill rikta ett varmt tack till min handledare Johan Stendahl och Mattias Lundblad för vägledning i rapportskrivande och stor kunskap om markanvändning i Sverige. Ett stort tack behöver också gå till lantbrukschefen Peter Thorén och samtliga driftchefer och driftledare på SLU:s egendomar som har försett mig med den data som krävdes för att denna rapport skulle vara möjlig - Jarl Ryberg på Ultuna, Andreas Nypelius i Hallfreda, Håkan Svantesson i Lanna, Götala, Brogården, Leif Bengtsson i Alnarp, Reija Danielsson på Röbbäcksdalens forskningsstation samt Johannes Albertsson på Lönnstorp forskningsstation . Även Johanna Sennmark och Karin Bäckman på SLU Miljö förtjänar ett tack för er input och vägledning under arbetets gång.

Bilaga A

I bilaga A redovisas den ingångsdata som samlades in från SLU:s egendomar och forskningsstationer för beräkningar i *OdlingsPerspektiv*.

Tabell A. Fördelning av jordarter på SLU:s sex egendomar och forskningsstationer.

	Ultua	Hallfreda	Lönnstorp	Anarp	Röbäcksdalen	Lanna
Svagt leriga jordar, under 5% ler		3%			66%	
Leriga jordar, 5-15% ler		55%		50%	24%	7%
Lättleror, 15-25% ler		30%	100%	50%	10%	58%
Mellan/styva leror, över 25% ler	100%	12%				35%

Tabell B. Mullhalt, P-AL klass samt K-AL klass för SLU:s sex egendomar och forskningsstationer.

	Hallfreda	Lönnstorp	Anarp	Röbäcksdalen	Lanna	Ultuna
Mullhalt:	2,8	3,4	3	4,5	3,2	4,7
P-AL klass	IV	IVA	IVA	IVA	III	IVA
K-AL klass	III	III	III	III	III	IV

Tabell C. Ultuna egendoms genomsnittliga växtföljd, skördemängder, användning av stallgödsel, användning av fånggröda, bearbetningstidpunkt samt ifall skörderester bortförs.

Växtföljd	Skörd (ton/ha)	Stallgödsel typ och ton/ha	Fånggröda (ja/nej)	Bearbetningstidpunkt	Skörderester bortförs (ja/nej)
Höstraps	3,5	Nej	Nej	Tidig höst	Ja
Höstvete	7	Rötslam (20)~	Nej	tidig höst	Ja
Vårkorn	6	Nej	Nej	Tidig höst	Ja
Slåttervall	6,5	Nej	Nej	Ingen	Ja
Slåttervall	6,5	Nej	Nej	Vår	Ja
Höstvete	7	Nej	Nej	Tidig höst	Ja

Höstvete	7	Nej	Nej	Tidig höst	Ja
----------	---	-----	-----	------------	----

Tabell D. Hallfreda egendoms genomsnittliga växtföljd, skördemängder, användning av stallgödsel, användning av fånggröda, bearbetningstidpunkt samt ifall skörderester bortförs.

Växtföljd	Skörd (ton/ha)	Stallgödsel typ och ton/ha	Fånggröda (ja/nej)	Bearbetningstidpunkt	Skörderester bortförs (ja/nej)
Höstraps	3,3		Nej	Tidig höst	Nej
Höstvete	6,5		Nej	Tidig höst	Ja
Höstvete	6,5		Nej	Tidig höst	Ja
Vitklöver (fröodling)	0,42		Nej	Insådd i höst, skördad i vår	Nej
Höstvete	6,5		Nej	Tidig höst	Nej

Tabell E. Lönntorps forskningsstations genomsnittliga växtföljd, skördemängder, användning av stallgödsel, användning av fånggröda, bearbetningstidpunkt samt ifall skörderester bortförs.

Växtföljd	Skörd (ton/ha)	Stallgödsel typ och ton/ha	Fånggröda (ja/nej)	Bearbetningstidpunkt	Skörderester bortförs (ja/nej)
Vårkorn	6	Nej	Nej	Tidig höst	Nej
Höstvete	8,5	Nej	Nej	Tidig höst	Nej
Höstraps	3,5	Nej	Nej	Tidig höst	Nej
Socketbetor	75	Nej	Nej	Tidig höst	Nej

Tabell F. Alnarp egendoms genomsnittliga växtföljd, skördemängder, användning av stallgödsel, användning av fånggröda, bearbetningstidpunkt samt ifall skörderester bortförs.

Växtföljd	Skörd (ton/ha)	Stallgödsel typ och ton/ha	Fånggröda (ja/nej)	Bearbetningstidpunkt	Skörderester bortförs (ja/nej)
Socketbetor	70		Nej	Sen höst	Nej
Matlkorn	6,8		Nej	Sen höst	Nej
Höstvete (bröd)	8	Biogödsel 50N, 9 P, 31 K	Nej	Tidig höst	Nej
Höstraps	3,8	Biogödsel 50N, 9 P, 31 K	Nej	Tidig höst	Nej
Höstvete (stärk)	8,2	Biogöd 25N, 4,5P, 15,5 K	Nej	Tidig höst	Nej
Höstvete (stärk)	8		Nej	Tidig höst	Nej

Tabell G. Röbbäcksdalens forskningsstations genomsnittliga växtföljd, skördemängder, användning av stallgödsel, användning av fånggröda, bearbetningstidpunkt samt ifall skörderester bortförs.

Växtföljd	Skörd (ton/ha)	Stallgödsel typ och ton/ha	Fånggröda (ja/nej)	Bearbetningstidpunkt	Skörderester bortförs (ja/nej)
Vall	7	20 ton/ha	Nej	Ingen	Nej
Vall	7	20 ton/ha	Nej	Ingen	Nej
Vall	7	20 ton/ha	Nej	Vår	Nej
Vårkorn	5	Flyt 30t/ha (vår), Flyt 30 t/ha (höst)	Nej	Tidig höst	Ja
Vårkorn (med vallinsådd)	4	Flyt 30 t/ha (vår)	Nej	Tidig höst	Ja

Tabell H. Lanna, Göotala och Brogårdens genomsnittliga växtföljd, skördemängder, användning av stallgödsel, användning av fånggröda, bearbetningstidpunkt samt ifall skörderester bortförs.

Växtföljd	Skörd (ton/ha)	Stallgödsel typ och ton/ha	Fånggröda (ja/nej)	Bearbetningstidpunkt	Skörderester bortförs (ja/nej)
Höstvete	7		Nej	Tidig höst	Nej
Höstraps	4		Nej	Tidig höst	Nej
Höstråg	8		Nej	Tidig höst	Nej
Vall	9	25 ton	Nej	Vår	Nej
Havre	6		Nej	Höst/vår	Nej
Ärtor	6		Nej	Höst	Nej