

En rapport om
utmaningar
och möjligheter
i Skåne.

Markanvändning för en klimatpositiv framtid

CEC | RAPPORT NR 7 | 2022 | LUNDS UNIVERSITET



Markanvändning för en klimatpositiv framtid

En rapport om utmaningar och möjligheter i Skåne

Nyckelord: biokol, ekosystembaserade lösningar, jordbruk, klimatanpassning, klimatförändring, kol-lagring, kolupptag, markanvändning, skogsbruk, utsläppsminskning

Rapporten har finansierats i samverkan mellan Region Skåne, det strategiska forskningsområdet Biodiversity and Ecosystem Services in a Changing Climate, Lunds universitets samverkansinitiativ LU Land, samt Centrum för miljö- och klimatvetenskap vid Lunds universitet

Citera som: Hall, M., Hedlund, K., Ingimarsdóttir, M. (red) 2022. Markanvändning för en klimatpositiv framtid. CEC Rapport Nr 07. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet.

Utgiven av Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk. All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden. Innehållet återspeglar inte nödvändigtvis Lunds universitets officiella ståndpunkt.

ISBN

Tryckt upplaga: ISBN 978-91-984349-8-9

Digital upplaga: ISBN 978-91-984349-9-6

Figur 1.1, 1.2, 3.5, 4.1 är skapade med BioRender.com


Omslagsbild: ”Skånskt jordbrukslandskap”. Foto: Katarina Hedlund.

Original: Magnus Bergström

Tryck: Media-Tryck, Lund 2023



Media-Tryck är ett svanenmärkt tryckeri. Läs mer om vårt miljöarbete på www.mediatryck.lu.se

MADE IN SWEDEN 

Innehåll

Förord	5
Sammanfattning.....	7
1: Kollagring och markanvändning	8
1.1 Kollagring och kolets kretslopp.....	9
1.2 Markanvändning och kolinlagring i Skåne.....	11
1.3 Ekosystemtjänster och klimatpositiva kretslopp	12
2: Jordbruksmark.....	15
2.1 Åkermark och betesmark.....	15
2.2 Organogen jordbruksmark	25
2.3 Kollagring – effekt på biologisk mångfald, bördighet och klimatanpassning	27
3: Skogsmark.....	28
3.1 Skånes skogar	28
3.2 Tillämpbara åtgärder på skogsmark för att stärka kollagring.....	30
3.3 Åtgärder för att öka skyddade områden eller skogskötselmetoder inriktade på naturskydd	34
3.4 Åtgärder i skogsmark på dikad torv	37
3.5 Avskogning och beskogning.....	39
4: Biokol.....	40
4.1 Klimatnytta med biokol.....	40
4.2 Hur biokol påverkar markegenskaper och andra ekosystemtjänster ...	42
4.3 Certifiering och tillverkning av biokol.	45
4.4 Råmaterial för biokol i Skåne	46
5: Utmaningar och möjligheter	50
5.1 Strategier för en klimatpositiv framtid	50
5.2 Potential för klimatpositiva kretslopp vid en hållbar markanvändning i Skåne	52
5.3 Utmaningar för att nå klimat och miljömål	55
5.4 Avslutande reflektion.....	63
6: Referenser.....	64

Förord

Trots årtal av klimatarbete på nationell och internationell nivå fortsätter de globala utsläppen av växthusgaser att öka, om än i långsammare takt nu än tidigare. Det internationella klimatavtal som slöts i Paris 2015, om att hålla den globala temperaturökningen väl under 2 grader och att sträva mot 1,5, sattes samtidigt med en överenskommelse att nå netto noll-utsläpp av koldioxid från förbränning av fossila bränslen och markanvändning mot mitten av innevarande sekel. Det blir alltmer tydligt att dessa netto noll-utsläpp endast kommer att kunna nå genom en kombination av minskade utsläpp av växthusgaser och negativa utsläpp: ett aktivt upptag av koldioxid från atmosfären som sedan lagras in i mark eller berggrund.

Denna rapport är en sammanställning och analys av kunskapsläget när det gäller ekosystembaserade metoder för att minska utsläpp och öka upptag av koldioxid hos brukade marker i Skåne. Med fokus på markanvändning och skötselstrategier inom jordbruk och skogsbruk, samt användning av biokol, analyseras och bedöms potentialen för att inom Skånes gränser öka upptag respektive minska utsläpp av kol från dessa ekosystem. Syftet är att analysera hur möjligheter som föreslås av den statliga utredningen SOU 2020:4 *Vägen till en klimatpositiv framtid* kan omsättas till en skånsk kontext i ett miljömässigt/ekologiskt perspektiv.

Rapporten är resultatet av ett samverkansprojekt mellan Lunds universitets Centrum för miljö- och klimatvetenskap och Region Skåne, och har finansierats med medel från Region Skåne, det strategiska forskningsområdet BECC – Biodiversity and Ecosystem Services in a Changing Climate, Lunds universitets samverkansinitiativ LU Land, samt Centrum för miljö- och klimatvetenskap.

Rapportens författare ansvarar för rapportens innehåll och har bidragit till följande kapitel:

1. Kollagring och markanvändning: Marianne Hall (a), Katarina Hedlund (a,b)
2. Jordbruksmark: Maria Ingimarsdóttir (a), Katarina Hedlund (a,b), Åsa Kasimir (f)
3. Skogsmark: Giuliana Zanchi (c), Åsa Kasimir (f)
4. Biokol: Håkan Wallander (b), Inger Valeur (d), Ann-Mari Fransson (e)
5. Utmaningar och möjligheter: Katarina Hedlund (a,b), Marianne Hall (a), María Ingimarsdóttir (a), Peter Olsson (a), Ullrika Sahlin (a) samt med data från Håkan Wallander (b), Inger Valeur (d), Ann-Mari Fransson (e), Åsa Kasimir (f), Giuliana Zanchi (c)

Tillhörighet:

- a) Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds universitet
- b) Biologiska institutionen, Lunds universitet
- c) Institutionen för naturgeografi och ekosystemvetenskap, Lunds universitet
- d) Tillus Consulting
- e) Institutionen för Skog och Träteknik, Linnéuniversitetet
- f) Institutionen för Geovetenskaper, Göteborgs universitet.

Kontakt: Marianne Hall, Lunds universitet, e-post: Marianne.Hall@cec.lu.se

Sammanfattning

Denna rapport är en sammanställning och analys av kunskapsläget när det gäller naturbaserade metoder för att minska utsläpp och öka upptag av koldioxid i brukade marker i Skåne. Med fokus på markanvändning och skötselstrategier inom jordbruk och skogsbruk, samt användning av biokol, analyseras och bedöms potentialen för att inom Skånes gränser öka upptag respektive minska utsläpp av kol från dessa ekosystem. Syftet är att analysera hur möjligheter som föreslås av den statliga utredningen SOU 2020:4 *Vägen till en klimatpositiv framtid* kan omsättas till en skånsk kontext i ett miljömässigt/ekologiskt perspektiv.

Samhällets möjligheter att nå globala såväl som nationella klimatmål om nettoll-utsläpp av koldioxid vid mitten av 2000-talet är starkt beroende både av kraftfulla minskningar av utsläpp av fossilt kol, och av att kol långsiktigt kan bindas in och lagras i brukade marker. Markanvändningssektorn är av speciell vikt, med de brukade markernas förmåga till naturlig kolinlagring och bibehållandet av kolsänkor. I rapporten fokuserar vi på förutsättningar för kollagring inom skogsbruk och jordbruk, skötselstrategier för våtmarker, och användning av biokol för att lagra kol i främst urbana miljöer och inom jordbruket.

Den största delen av Skånes kollager finns idag i marken, och det största kollagret per ytenhet finns i våra skogsekosystem. Åkermark har en god potential för att öka lagring av kol, vilket kan genomföras med till exempel reducerad plöjning, planering av växtföljder, användning av mellangrödor, samt tillförsel av organiskt material/skörderester och gödning. Dessa åtgärder ger även positiva effekter på markhälsan och bidrar till en klimatanpassning mot extrema väderhändelser. Skogsmark har redan en hög kolinlagring, och här är det möjligt att ytterligare öka denna genom att genomföra tillväxtfrämjande åtgärder, öka andel skyddade skogsområden, använda mer extensiva skötselmetoder, ändrad markanvändning av skogsmark på dikad torvmark, samt förhindra förluster av skogsmark till annan markanvändning.

Återvätning av våtmarker både inom skogsbruk och jordbruk har en god potential för att öka kollagring, men framför allt är det en åtgärd som genomförs för att hejda de utsläpp av kol till atmosfären som sker idag i form av växthusgaser. Biokol kan vara ett sätt bevara kol under längre tidsperioder och kan på så sätt göra klimatnytta, men avvägningar mot andra användningar av råvarorna måste beaktas.

1: Kollagring och markanvändning

Författare: Marianne Hall, Katarina Hedlund

Framtidens markanvändning, och hur skötselmetoder och strategier inom jordbruk och skogsbruk kommer att påverka upptag och utsläpp av koldioxid och andra växthusgaser, är en central fråga för klimatarbetet på medellång och lång sikt i Skåne, i Sverige, i Europa och globalt. Våra möjligheter att nå globala såväl som nationella klimatmål om netto noll-utsläpp av koldioxid vid mitten av innevarande sekel är starkt beroende både av kraftfulla minskningar av utsläpp av fossilt kol, och av att kol långsiktigt kan bindas in och lagras i brukade marker.

Markanvändningssektorn¹ är av speciell vikt, eftersom aktiviteter som till exempel skogs- eller biobränsleproduktion antingen kan ge upphov till utsläpp av växthusgaser, eller fungera som kolsänka där kol tas upp och varaktigt avlägsnas ur atmosfären, beroende på hur marken brukas, dess användning och produktionsmetoder. Ur ett klimatperspektiv måste de brukade markernas funktion för kolinlagring och bibehållandet av kolsänkor alltså värnas, eftersom det annars finns risk att vi släpper fritt kol till atmosfären även vid produktion av fossilfria material och energi.

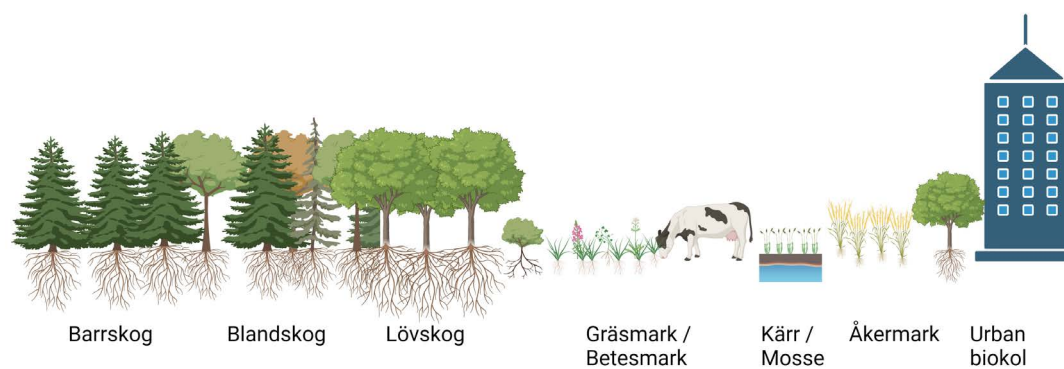
I denna rapport fokuserar vi på förutsättningar för kollagring i brukade marker och vissa urbana miljöer (Figur 1.1). Vi täcker in skogsbruk, jordbruk, våtmarker och urbana miljöer, samt användning av biokol för att lagra kol. Tekniska lösningar för kolinbindning och lagring faller utanför rapportens område.

För att finna framtida produktionsmetoder och markanvändning med potential att lagra kol i ett långtidsperspektiv har vi sammanställt vetenskapligt belagd kunskap om åtgärder i Sverige som kan appliceras i Skåne. Rapporten inleds med tre bakgrundskapitel. Först behandlas markanvändningstyperna jordbruk och skogsbruk i dagens Skåne, och förutsättningar för olika former av skötselstrategier. Vidare redogörs för förekomsten av organogena jordar och våtmarker, hur de brukas är viktigt för att minska växthusgaser inom respektive markanvändningsområde. För

¹ Klimatrapporteringens sektor om markanvändning benämns formellt Markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk (LULUCF – Land Use, Land-Use Change and Forestry)

jordbruksmark omfattas både åker- och gräsmarker, med fokus på kolinlagringskapacitet i mark. Skogsbrukskapitlet behandlar barrskog, lövskog samt blandskog, och innefattar effekter av skötselstrategier på kolinlagringskapacitet i både mark och trädbiomassa. I det tredje bakgrundskapitlet beskrivs och diskuteras kunskapsläget om biokol, inklusive framställningsmetoder och användningsmöjligheter.

Rapporten avslutas med ett analyskapitel som gemensamt behandlar potentialer för kollagring i de olika markanvändningstyperna under olika skötselstrategier, potentialen för biokolanvändning, samt diskuterar hur kolinlagringspotentialerna förhåller sig till Skånes uppsatta klimat- och miljömål. Detta innebär uppskattningar av vad den totala skånska potentialen för koldioxidinlagring är både i teorin och vad som kan vara praktisk och ekonomiskt möjligt.



Figur 1.1. Rapporten behandlar ekosystem som är relevanta för kollagring i Skåne, samt biokol. Våtmarker illustreras i bilden som ett kärr eller en mosse, men förekommer även i formen av dränerade organogena jordar inom både skogsbruk och jordbruk.

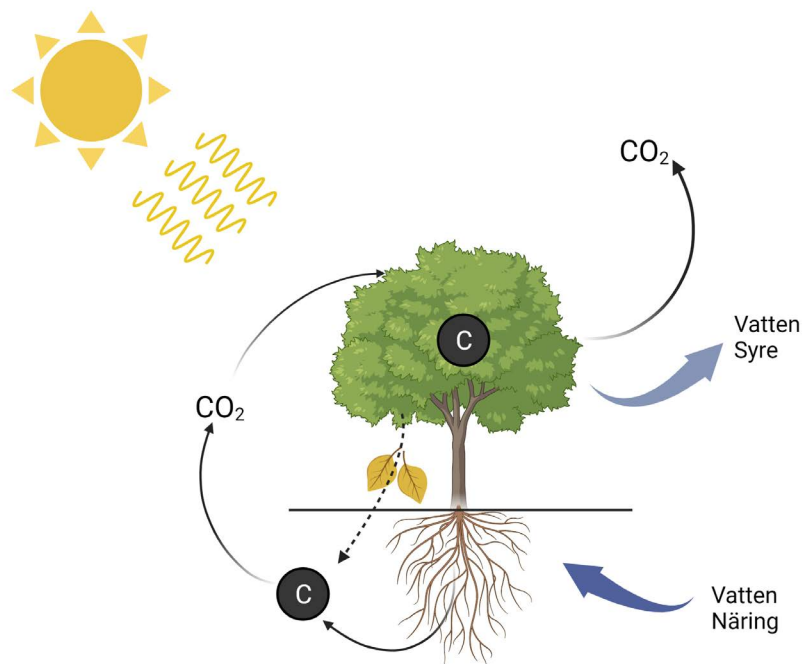
1.1 Kollagring och kolets kretslopp

Vägen till kolinlagring i gröna miljöer börjar med växternas system för kolinbinding och energiutvinning: fotosyntesen. Växter binder in kol i mark och biomassa genom att ta upp koldioxid ur atmosfären och via fotosyntesen omvandla koldioxid och vatten till sockerarter och syre. Syret är en restprodukt som växten gör sig av med. Sockerarterna används dels som byggstenar för att bygga biomassa, dels för energilagring för energi som växten behöver för tillväxt och för att kunna ta upp näring ur marken och omvandla den till användbara molekyler, till exempel klorofyll som krävs för att kunna köra fotosyntesen och som ger den gröna färgen. Kolet som växten tagit upp kan antingen bindas in som växtbiomassa, återgå till atmosfären som koldioxid vid den cellandning som sker i alla celler, eller transporteras till marken via förfall (blad och kvistar) eller omsättning av finrötter då växten ständigt transporterar kol ut i omgivande mark från rotsystemet (se Figur 1.2). En del av kolet stannar sedan i marken, och en del av kolet bryts ner av organismer och återgår till atmosfären i form av koldioxid. Detta utgör kolets kretslopp.

För att koldioxiden som tas upp ur atmosfären ska lagras som kol i mark och vegetation krävs att det sker en nettoinbindning, det vill säga att mer kol stannar i biomassa och mark än det som avgår i nedbrytningsprocesser och cellandning. Detta utgör en kolsänka. Motsatsen, att mer kol avges till atmosfären än vad som tas upp, är en kolkälla.

Lagrat kol som finns inbundet nere i marken är generellt mer stabilt än kol som är inbundet i vegetation. I vegetation ovan mark finns kolet kvar så länge biomassan finns kvar, det vill säga tills vegetationen åldras/dör och bryts ner eller det sker någon form av störning som till exempel skörd, betning, avverkning (kolsänkan hamnar då temporärt i träprodukten), brand, insektsangrepp eller stormfällning. Kol i mark är mindre känsligt för flera av störningarna, och generellt gäller att ju längre ner i mineraljorden kolet lagras desto stabilare ligger det. Växter med djupa rötter transporterar ner kol i djupare marklager än växter med ytligare rötter. Alla former av markberedning som rör runt i jordlagren och släpper in syre, och till exempel kraftiga bränder som bränner av de översta jordlagren, omvandlar temporärt kollagret i marken till en kolkälla och återför allt eller delar av det inbundna kolet till atmosfären.

Hur mycket kol som finns lagrat i olika marktyper och vegetation kan beräknas genom att mäta kol i växtbiomassa och det kol som finns lagrat i marken vid olika typer av markanvändning och brukningsmetoder. För att kunna uppskatta mängden lagrat kol nu och i framtiden behöver vi även veta hur stort upptaget av kol är hos vegetationen samt hur mycket som avges genom uttag eller nedbrytning under en tidsenhet. För att göra en heltäckande skattning av den framtida potentialen för kollagring i olika markanvändningstyper och vid olika skötselstrategier måste man alltså ta hänsyn både till hur det framtida klimatet kommer att påverka tillväxt och nedbrytning, och hur efterfrågan på produkter från ekosystemet ser ut.



Figur 1.2. Kolets kretslopp. Koldioxid tas upp av växter från atmosfären genom fotosynthesen, och återgår till atmosfären genom nedbrytningsprocesser och den cellandning som sker i cellerna hos alla levande organismer.

I rapporten tar vi hänsyn till den potentiella lagringsmöjligheten av kol i olika markanvändningssystem under olika skötselstrategier, men vi tar inte hänsyn till substitutionseffekter, det vill säga minskad användning av fossilbränslen och fossila utsläpp när träbiomassa eller energigrödor ersätter fossila drivmedel eller används som byggmaterial. Vi diskuterar vilka möjligheter det finns inom jordbruk och skogsbruk som gör att det går att öka kollagringen i våra ekosystem. Vi gör även en uppskattning av potentialen till att öka kollagring samt risker för förluster av kollagring i framtiden.

1.2 Markanvändning och kolinlagring i Skåne

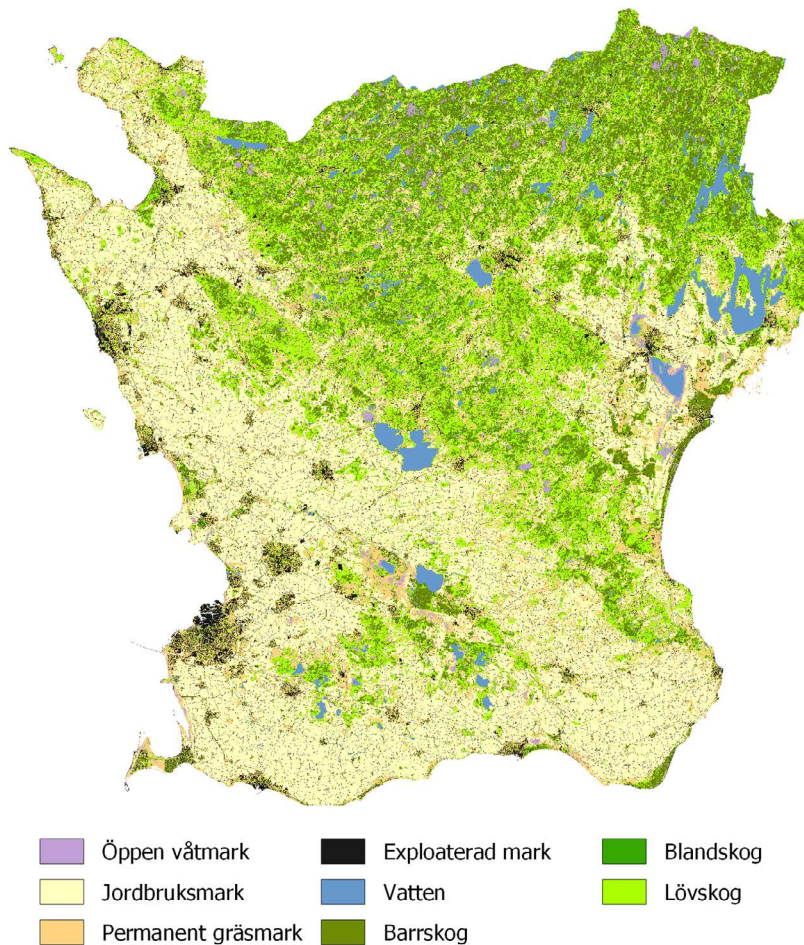
Skåne ses ofta som ett jordbrukslandskap, men markanvändningen utgörs egentligen av nästan lika mycket skogsmark som jordbruksmark. Skånes skogar utgör ungefär 38 procent av landarealen, medan jordbruksmarken täcker knappt 44 procent av ytan, uppdelat på åkermark (39 procent av den totala ytan) och betesmarker och gräsmarker (5 procent). Resten utgörs av bebyggd yta (9 procent), vatten (3 procent), myr (1 procent) och därutöver övrig mark (SCB 2019).

Som syns på kartan (Figur 1.3) återfinns åkermarkerna till största delen i slättbygden i västra och södra Skåne, medan mellanbygd och skogsmarker breder ut sig i östra och norra delarna av Skåne mot Småland och Blekinge. Linderödsåsen sträcker sig diagonalt över regionen från nordväst till sydost, och dess sydsluttning syns tydligt på kartan då den utgör gränsen mellan slättbygd och mellanbygd. De permanenta gräsmarkerna som framträder i orange i kartan sammanfaller till stor del med de militära övningsområdena Revingehed öster om Lund, Kabusa på sydkusten öster om Ystad, och Ravlunda och Rinkaby på ostkusten söder respektive norr om Åhus. De exploaterade områdena med städer och infrastruktur återfinns till stor del i slättbygden längs väst- och sydkusten, men Skåne karaktäriseras även av en flerkärnighet med utspridda tätorter sammanbundna med väg och järnväg (se även Hall et al., 2015).

Som framgår av kartan så rymmer Skåne både lövskog, blandskog och barrskog, och stora bördiga jordbruksområden. *Potentialen* för kollagring är stor, men drivkrafter om produktion kontra klimatåtgärder kan vara motställda. Då Skånes befolkning, trots flerkärnigheten, främst är koncentrerad till de västra och sydvästra delarna av regionen finns här ett högt tryck på att kunna använda särskilt jordbruksmark till infrastruktur och urbana aktiviteter, vilket tar bort möjligheter för både jordbruksproduktion och kollagring på naturlig väg. Markanvändningskonflikterna infrastruktur-skogsbruk är i dagsläget i Skåne mindre än konflikterna jordbruk-infrastruktur.

Ur ett strikt kolinlagringsperspektiv skulle det vara effektivt att öka mängden kol i ekosystemen genom att plantera skog på åkermark, då åkermark är den markanvändningstyp som har lägst kolinnehåll. En sådan genomgripande förändring av markanvändningen har inte legat i centrum för denna rapport på grund av målkonflikten med matproduktion. Våtmarker och organogena jordar inom jord och skogsbruk är viktiga potentiella kolsänkor, och kan bidra till effektiv kollagring, vilket diskuteras ingående i rapporten. En metod att använda när naturliga möjligheter för kolinlagring tagits bort eller kraftigt minskas är tillförsel av biokol till marken, som

lagringsprocess och som jordförbättringsprocess. I kapitlet om biokol diskuteras potential för användning inom urbana miljöer och inom jordbruket.



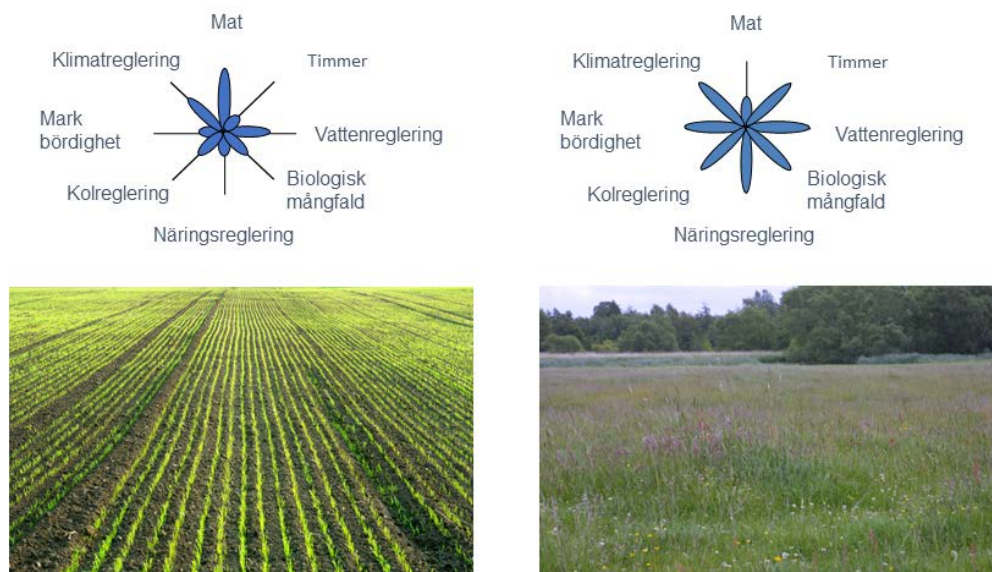
Figur 1.3. Markanvändning i Skåne, uppdelat på de relevanta typerna av markanvändning. Data från Naturvårdsverket (2019)

1.3 Ekosystemtjänster och klimatpositiva kretslopp

Kolinlagring i mark och vegetation kräver som konstaterades ovan att det kol som binds in av växterna även stannar i ekosystemet som växtbiomassa och i marken. Uttag av biomassa och markberedning blir ur det perspektivet en kolkostnad, eller i förlängningen en möjlig klimatkostnad. Samtidigt behöver vi en mängd olika produkter från brukade marker – träråvara, biobränsle, mat, foder och råvaror till olika nya och befintliga material med cellulosa som grundmaterial. Samhället behöver även ytor för rekreation och friluftsliv, och avsättningar för att skydda den biologiska mångfalden. Den biologiska mångfalden behöver skyddas både för arternas egen skull, och för att upprätthålla funktionalitet i ekosystemen som är nödvändig för att upprätthålla den långsiktiga produktionen av de försörjande och kulturella ekosystemtjänster som nämndes ovan, såväl som stödjande och reglerande ekosys-

temtjänster, där bland annat kolinlagring och vattenrening ingår. Ekosystemtjänster produceras av levande organismer, och även om funktionen kan upprätthållas av ett begränsat antal arter, är visat att biologisk mångfald har en positiv effekt på produktionen av vissa ekosystemtjänster och även kan buffra för produktionen av ekosystemtjänster vid miljöförändringar (Diaz et al., 2006; Ricketts et al., 2016).

Vilka ekosystemtjänster man kan få från en viss yta är beroende av såväl markens beskaffenhet som människors val av markanvändning och skötselstrategier. Multifunktionalitet i landskapet innebär att man teoretiskt sett kan få ut flera olika ekosystemtjänster samtidigt från samma yta, men det innebär samtidigt alltid avvägningar mellan de olika ekosystemtjänsterna. Figur 1.4 visar ett exempel på hur sådana avvägningar kan se ut relaterat till åkermark respektive gräsmark. I det här exemplet illustreras att matproduktion på en åkermark har en kraftig negativ påverkan på i stort sett samtliga övriga jämförda ekosystemtjänster, medan en gräsmark kan bidra positivt till att upprätthålla en mängd olika ekosystemtjänster – dock inte matproduktion i någon större omfattning.

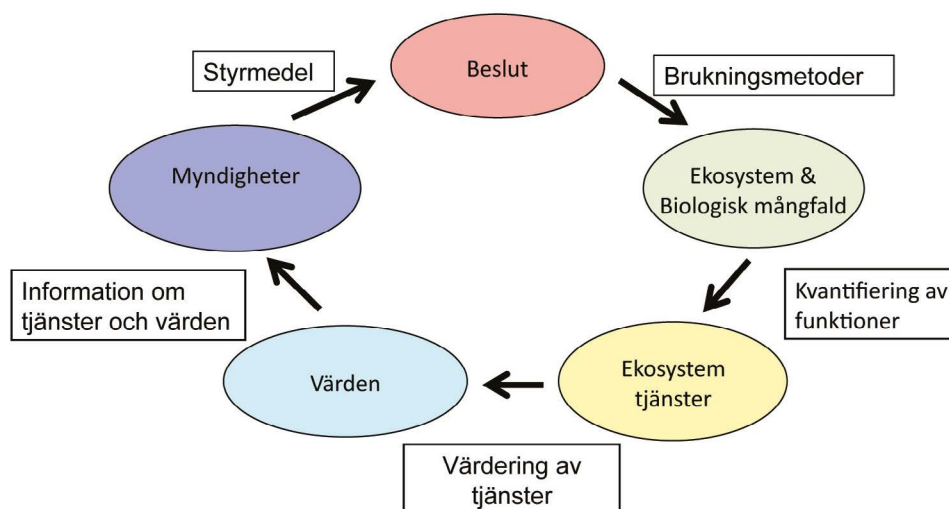


Figur 1.4. Vilka ekosystemtjänster man kan få ut från en jordbruksmark är starkt kopplat till hur marken brukas. Här visas exemplet åkermark respektive gräsmark. Blomdiagrammen illustrerar skillnader i producerade ekosystemtjänster mellan de båda ytorna.

Arbetet med att inkludera biologisk mångfald och ekosystemtjänster i beslutsprocesser som till exempel miljömålen berör både förvaltning av våra naturresurser och klimatfrågor. Avvägningar mellan produktionsmål i jord- och skogsbruk relativt klimatarbete eller bevarande av biologisk mångfald är komplexa frågor. Inom till exempel jordbrukssektorn har fokus på en ekonomiskt bärkraftig produktion medfört en intensifiering av jordbruket på bekostnad av biologisk mångfald och av ekosystemtjänster som långsiktigt både är viktiga för jordbruksproduktionen och för samhället i stort (Emmerson et al., 2016; Power, 2010).

Forskning om värdering av ekosystemtjänster har gjort det möjligt att definiera, kvantifiera och värdera stödjande och reglerande ekosystemtjänster för att informera beslutsfattare (Heal, 2000). Detta gör att det går att värdera till exempel kollagring eller vattenreglering likaväl som produktion av mat eller träråvaror. Värden av multipla ekosystemtjänster och kunskapen om hur odlingsmetoder och markanvändning påverkar dess produktion kan effektivt användas för att finna synergier eller andra avvägningar.

Det finns idag några exempel på ramverk så som TEEB ”The Economics of Ecosystems and Biodiversity” (Sukhdev et al., 2010) och ”The Natural Capital Project” (Kareiva et al., 2011) som visar hur värdet av ekosystemtjänster kan integreras i beslutsprocesser. Denna process kan visualiseras som ett flöde av funktioner från ekosystemen till samhället och genom att uppskatta storleken av flödet samt dess värde skapas ett underlag till beslutsfattande (Daily et al., 2009) (Fig. 1.5). Ur ett planerings- och förvaltningsperspektiv gör denna värdering det möjligt att identifiera viktiga positiva och negativa återkopplingsmekanismer på biologisk mångfald i relation till värdet av ekosystemtjänster.



Figur 1.5. Hur ekosystemtjänster och dess värden kan integreras i beslutsfattande inom jordbruket efter Daily et al. (2009).

I rapporten tar vi fram vetenskapliga fakta på hur odlings- och skötselmetoder kan förändra kollagringen, men även andra ekosystemtjänster. För att kunna implementera till exempel nya brukningsmetoder så behöver man förstå hur biologisk mångfald påverkas av dessa och sedan värdet av de ekosystemtjänster som produceras i ekosystemet. När värdet kan kommuniceras vidare, så kan olika typer av styrmedel användas. Genom detta finns större möjligheter att nya metoder eller åtgärder som förhindrar förlust av kol tas upp av jordbruksföretag eller skogsägare. Vi kommer inte att värdera ekosystemtjänsterna i rapporten men hoppas att den kan fungera som ett underlag för att kunna värdera och ha bättre underlag för framtida beslut om åtgärder som främjar klimatpositiva kretslopp.

2: Jordbruksmark

Författare: María Ingimarsdóttir, Katarina Hedlund, Åsa Kasimir

Jordbruksmark är ett av de områden där potentialen för kollagring anses hög. I kapitlet redogörs för både åkermark och betesmark, då dessa har olika förutsättningar för att lagra kol. Vi redogör för några olika metoder som kan minska förluster av kol från marken generellt, som kan öka kolinlagring i åkermark, samt andra effekter som dessa metoder har för jordbruket. Vi tar hänsyn till att jordarterna i Skåne varierar och därmed förutsättningarna för kolinlagring, och tar särskilt upp åtgärder som kan minska avgång av växthusgaser från organogena odlingsjordar.

2.1 Åkermark och betesmark

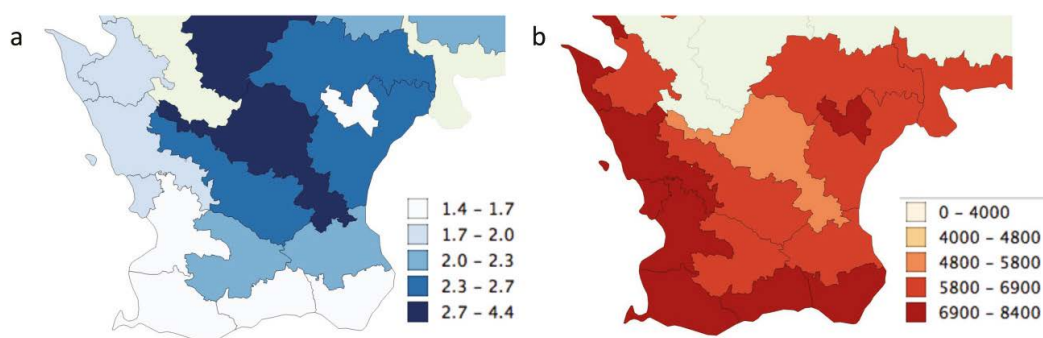
Åkermark är den delen av jordbruksmarken som används för växtodling eller som hålls i ett sådant tillstånd att den kan användas för växtodling (Jordbruksverket, 2020). Arealen åkermark i Skåne visar en svagt nedåtgående trend, och i likhet med resten av Sverige är antalet lantbruk minskande (Hall et al., 2015). År 2015 täckte åkermarken i Skåne drygt 440 000 hektar, eller cirka 39 procent av Skånes totala yta. Ytterligare knappt 59 000 hektar, eller fem procent av ytan, utgjordes av betesmarker och naturliga gräsmarker (SCB, 2019).



Figur 2.1. Jordbrukslandskap i Skåne. Foto: María Ingimarsdóttir

Produktionsförutsättningarna och markens sammansättning skiljer sig kraftigt åt mellan olika delar av Skåne. Det mest intensiva jordbruket sker på den bördiga slättbygden i sydväst där vi idag har Sveriges mest produktiva jordbruksmarker. Dessa jordar har naturligt sett lägre kolhalter än den så kallade mellanbygden och skogsbygden i Skåne, men de har även en minskande kolhalt på grund av den intensiva växtodlingen (Figur 2.2). I Skånes slättbygd finns en stor potential för att kunna lagra mer kol i marken som samtidigt kommer att öka markhälsan vilket ger ytterligare möjligheter till högre produktion (Barrios, 2007; Brady et al., 2015).

I centrala Skåne och mot gränsen till Småland och Blekinge övergår slättbygden i mellan- och skogsbygd, med allt större inslag av betesmarker och skog. Betesmarkerna här, samt den jordbruksmark som finns på organogena jordar utspritt runt om i hela Skåne, har redan mycket kol inlagrat i marken. Här ligger utmaningen i stället i att behålla det kol som redan finns lagrad i marken.



Figur 2.2 a) Kollagring i åkermark (ej betesmark) i Skåne (kolhalt procent g C/g jord) och b) veteskördar (kg/ha) aggregerade på skördeområden. Data från Hushållningssällskapet och SCB.

2.1.1 Åtgärder som kan öka kollagring i åkermark i Skåne

Ett intensivt jordbruk för odling av mat, foder och bränsle påverkar generellt markens kolhalt negativt (Lal et al., 2021). Jordbruksmetoder som till exempel plöjning, låg tillförsel av organiskt material, växtföljd med få grödor, samt perioder med öppen jord, minskar kollagret i marken, bidrar till erosion och har en negativ påverkan på den biologiska mångfalden i marken (Haddaway et al., 2015). Vanligtvis handlar det om en relativ årlig förlust på 0,2–1 procent organiskt kol. Detta kan verka lite, men i ett längre tidsperspektiv (mer än 20 år) ger det upphov till betydande förluster av markkol, samt av en rad ekosystemtjänster såsom markens vattenhållande förmåga, retention av näringsämnen och nerbrytning av föroreningar (Meersmans et al., 2011; Riley & Bakkegard, 2006; Sanderman & Baldock, 2010).

För att öka kollagringen i åkermark behövs brukningsmetoder som antingen tillför organiskt kol till marken, eller som minskar förluster av redan inbundet kol. Detta är en långsiktig process då en relativ ökning med 0,1 procent organiskt kol i jord som redan har 1,5 procent kolhalt innebär en faktisk ökning på 0,15 procent på ett

år, eller 150 kg/ha om kolmängden är 100 ton/ha. Data från långtidsförsök visar att det tar minst tio år att uppnå mätbara effekter på kolhalter i marken efter det att man ändrat jordbruksmetoder (Haddaway et al., 2017). Beslut om att använda brukningsmetoder som ökar kollagringen i marken bör vara långsiktiga, och kan ses som en investering i gårdens markhälsa.

Reducerad jordbearbetning

I Götalands södra slättbygder (Skåne och Halland) har den andel av grödarealen som plöjs minskat de senaste åren och reducerad jordbearbetning ökat, speciellt inför sådd av höstspannmål (Tabell 2.1). Forskningen har tidigare visat blandade resultat för om reducerad alternativt ingen jordbearbetning ökar kollagringen i marken eller inte (Powlson et al., 2014; West & Post, 2002). I SOU (2020:4) sägs att reducerad jordbearbetning inte innebär ökad kolinlagring i marken under svenska förhållanden. Nya forskningsresultat i form av en systematisk kunskapsöversikt över 351 vetenskapliga studier från regioner med klimat relevant för svenska förhållanden visar dock på mer kol i markens övre lager vid plöjningsfri odling² jämfört med plöjningsintensiv odling (Haddaway et al., 2017). Skillnaden på mängden kol i markens övre lager (ned till 30 cm) i plöjningsfri odling jämfört med plöjningsintensiv odling var cirka fyra ton kol/hektar. Kolinnehållet i markens djupare lager förblev däremot oförändrat.

Tabell 2.1. Jordbearbetning inför sådd av höstspannmål, vårkorn och havre i Götalands södra slättbygder åren 2019, 2016 och 2012 (SCB, 2013, 2017b, 2020c)

Andel av grödarealen (%)				
År	Endast plöjning	Stubb-bearbetning	Plöjning och stubbearbetning	Ingen bearbetning
Höstspannmål				
2019	18	71	9	2
2016	44	45	9	1
2012	47	41	10	1
Vårkorn				
2019	67	24	7	2
2016	74	12	12	2
2012	85	7	5	2
Havre				
2019	45	22	25	8
2016	61	21	14	3
2012	82	8	6	4

² Plöjningsfritt innebär här reducerad eller ingen jordbearbetning

När det gäller effekter på skörd från reducerad jordbearbetning har forskningen visat blandade resultat. Några kunskapssammanställningar visar att plöjningsfri odling måste kombineras med andra metoder som till exempel återföring av halm eller organisk gödning, för att få ökade skördar (Pittelkow et al., 2015; Soane et al., 2012). Samtidigt gynnar plöjningsfri odling markens aggregatstruktur och näringsretention vilket bidrar till minskad erosion, bättre vattenhållande förmåga och att den optimala gödselgivan kan sänkas, vilket påverkar skördar och bördighet på lång sikt (Soane et al., 2012; Triplett & Dick, 2008). Negativa effekter kopplade till reducerad jordbearbetning kan vara användning av växtskyddsmedel inför sådd. Det finns inte publicerade data som länkar växtskyddsmedel och plöjningsfri odling, men inom Skånes växtodling så användes 2017 växtskyddsmedel mot ogräs inom 93 procent av den totala ytan, av detta var 26 procent av användningen relaterad till applicering på stubb, det vill säga förberedelse inför sådd (SCB, 2018).

Tillförsel av organiskt material till marken

Jordbruksmetoder som tillför organiskt material innebär dels återföring av skörderester, dels tillförsel av annat organiskt material som inte producerats på fältet, såsom stallgödsel, återvunnet material från hushållskompost eller avloppsslam. Studier av långsiktiga effekter på kollagring från tillförsel av *skörderester* visar varierande resultat beroende på markstruktur och mängden skörderester som tillförs (Christopher Poeplau et al., 2015; I. K. Thomsen & B. T. Christensen, 2004). Långtidsförsök i Danmark visade att om tillförsel av skörderester användes som enda åtgärd så krävdes en årlig tillförsel av 12 ton kornhalm / hektar för att öka markens kolhalt, vilket motsvarade dubbelt så mycket som fältet faktiskt producerade. Om skörderester däremot inte returnerades till marken kunde detta orsaka en minskning av markens kolhalt och förluster av andra näringsämnen som till exempel kalium (Brady et al., 2015; I. K. Thomsen & B. T. Christensen, 2004). Även skånska försök tyder på att minskningen av markkol inte blir lika stor om skörderester återförs till marken (Tabell 2.2).

Effekten av *stallgödsel* på mängden markkol beror på hur mycket cellulosa som stallgödseln innehåller relativt näringsämnen, och på den mängd som används. Användning av stallgödsel anses i allmänhet vara positivt för kollagring, men när det ges i höga mängder (rekommenderad mängd är 20 kg fosforinnehåll/år och hektar (Jordbruksverket, 2019)) kan läckage av näringsämnen orsaka problem som eutrofiering (övergödning) av mark- och ytvatten. Stallgödsel varierar mycket i koncentrationen av näring och organiskt material (Jordbruksverket, 2019) och kollagringen i marken är högre när torrsustanshalten i gödseln är högre. Således är fast gödsel effektivare än slam, men för att minska risken för läckage av kväve och fosfor bör man även ta hänsyn till näringsinnehållet i gödseln och balansera detta med grödornas behov över tid. Det finns även konkurrens om tillgången på biomassa med andra användningsområden, såsom bioenergiproduktion, och regionala skillnader i lokalisering av djur respektive växtodlingsgårdar och därmed kostnader för bearbetning och transport av stallgödsel till områden med intensiv växtodling (Hedlund, 2019).

Avloppsslam har diskuterats som ett potentiellt substrat som både ger kollagring och näringsinnehåll till marken. I ett långtidsförsök i Sverige har tillförsel av organiskt

material (2 ton kolinnehåll/hektar /år) i form av avloppsslam fördubblat markens kolhalt på 20 år (Borjesson et al., 2014) (Tabell 2.2). Nackdelarna med användning av organiskt material från avloppsslam är potentiella föroreningar av tungmetaller och läkemedelsrester, samt eventuella patogener. Därför finns idag en rad krav som riktar sig till den som producerar slammet och den som använder / sprider slammet. Detta innebär också en rad lagkrav för dess användning, som att användaren måste klara kraven på innehåll av tungmetaller, visa miljöhänsyn vad gäller växtnäring, samt föreskrifter om hur man får använda slammet (Jordbruksverket, 2017; SFS, 1998:944; SJVFS, 2004:62; SNFS, 1994:2).

Växtföljder

Planering av växtföljder är en viktig del i ogräs- och sjukdomsbekämpning, och genom att till exempel inkludera växter med stor rotbiomassa och se till att alltid ha marken täckt med växtlighet kan växtföljden även främja kollagring och markhälsa. De växtdelar vi ser ovanför jorden binder in kol från atmosfären, men rötterna har en lika viktig funktion för att avge kol till marken (Amsili & Kaye, 2021; Menichetti et al., 2015). Detta sker dels genom så kallade rotexudat, där bland annat kolföreningar ofta i form av olika typer av kolhydrater transporteras från rötter till omgivande mark. Dels sker det genom att finrötter kontinuerligt bildas, dör och bryts ner, och därmed bidrar till markens kolinnehåll. Det är viktigt att inkludera effekter av växtdiversitet och rötternas produktion av rotexudat i planeringen för att identifiera goda metoder för odlingssystem för långvarig kollagring i växtbiomassa och jord. Växtförädling med nya sorter som främjar mer levande biomassa, och särskilt rötter, bör uppmuntras (Hedlund, 2019).

Tabell 2.2. Exempel på odlingsmetoder i spannmålsodling som påverkar lagring av kol i marken i svenska långtidsförsök. Relativ förändring per år beräknad från data från respektive försök³.

Åtgärd	Årlig relativ förändring (%)	Region och försöks-id
Ettåriga grödor utan vall i växtföljden		
Halm bortförd	-0,44	Skåne L3-0000, R3-0020
Halm tillbaka till åker	-0,42	Skåne R3-9001, R3-0000, R4-0002
Slam	0,73	Skåne L3-0014
Gröngödsling	0,08	Uppland SLU ramförsök
Ettåriga grödor med vall i växtföljden		
Vall 1 år av 4 år växtföljd	-0,29	Skåne R3-9001
Vall 2 år av 8 växtföljd	0,33	Skåne R4-0002

3 <https://www.slu.se/fakulteter/nj/om-fakulteten/centrumbildningar-och-storre-forskningsplattformar/langliggande-forsok/>

Ettåriga grödor kan delas upp i två grupper: vårgrödor och höstgrödor. Vårgrödor, såsom vårkorn, havre och sockerbeter, sås på våren och skördas samma höst. Därmed riskerar marken att lämnas obevuxen över vintern, vilket genererar utsläpp av kol från marken. För att undvika det kan mellangrödor odlas då marken annars lämnats bar (se nedan). Höstgrödor, såsom höstvetete eller höstraps sås däremot på hösten och täcker marken en större del av året. Höstgrödor har blivit vanliga i Skånes slättbygder (SCB, 2020b).

Fleråriga växter som vall har större rotbiomassa än ettåriga växter, och långtidsförsök med växtföljder som innehåller fleråriga växter visar att en täckt markyta och högre rotbiomassa har stor inverkan på kollagringen (Autret et al., 2016). I Sverige har långliggande vall stor betydelse för kollagring i jordbruksmark (Bolinder et al., 2010; C. Poepflau et al., 2015). Introduktion av vall i växtföljden på upp till 25 procent av ytan på en gård kan bromsa förlusten av kol och ge en rad klimat- och miljönyttor (Brady et al., 2019). I en ny systematisk översikt visar analyser att växtföljder med ärtväxter eller gräs som ligger mer än ett år, ökar kollagringen jämfört med ettåriga växter i växtföljden (FORMAS, 2021). Som en enskild metod kan den dock inte stoppa förluster helt på 20 år. För att stoppa förluster och eventuellt öka kolinlagringen behövs kombinationer med andra metoder (Hedlund et al., 2017). Fleråriga spannmålsgrödor finns idag i Skåne endast i försökssystem, till exempel långtidsförsök som drivs av SLU Alnarp vid Lönnstorps försöksstation⁴.

Ur livsmedelssynpunkt ger ettåriga grödor högre skördar och proteininnehåll än de fleråriga livsmedelsgrödor som prövas idag. En annan väg att integrera fleråriga grödor i växtföljden kan vara odling av energigrödor. Efterfrågan på biomassa för energi och industri ökar efterfrågan på energigrödor som kan integreras i växtföljden, vilket kan hjälpa till att lagra mer kol i marken. I USA används *Miscanthus*-gräs som är storväxt med stort rotsystem och därmed har hög potential för kolinlagring (Davis et al., 2012).

Hålla marken bevuxen året om

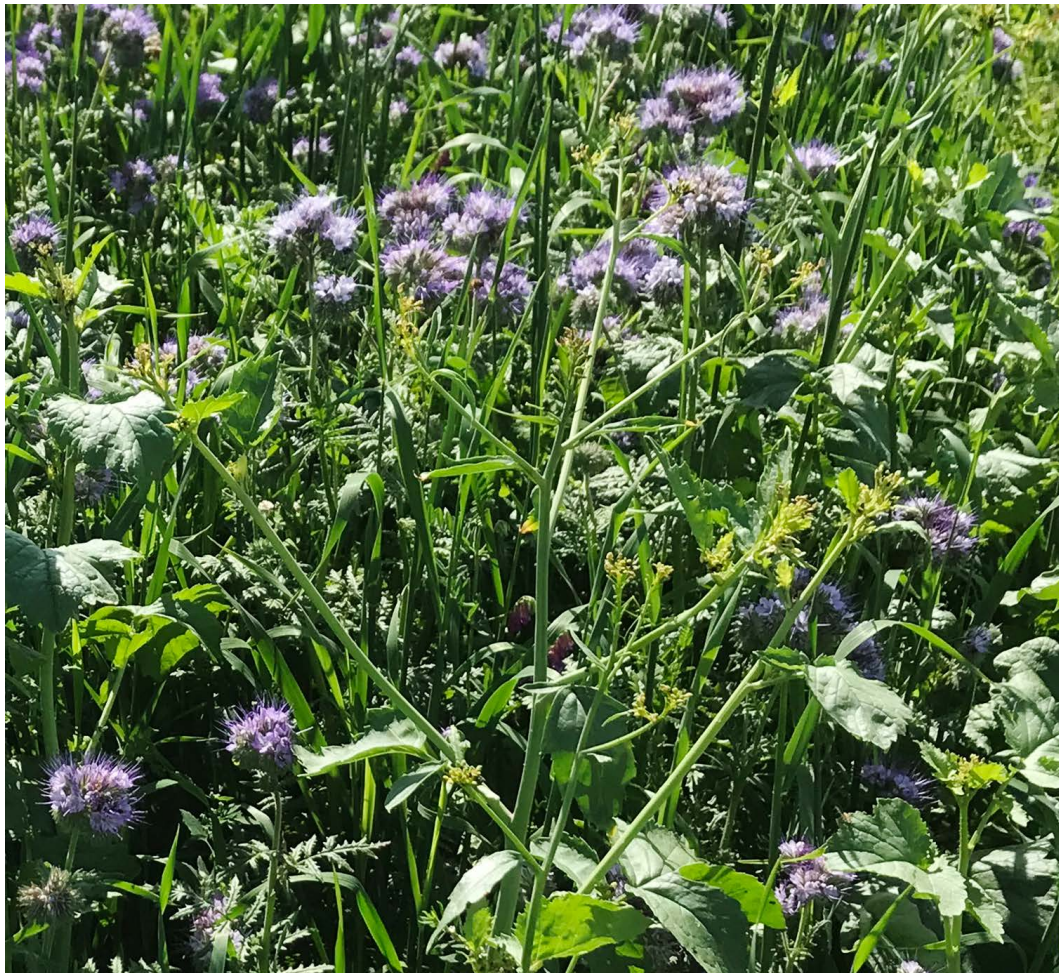
Det finns flera funktioner förutom kolinlagring som gynnas av att ha marken täckt under det mesta av året. Till exempel så kan det vara möjligt att kombinera en ökande mängd markkol med funktionerna god vattenhållande förmåga och infiltration, samtidigt som näringsämnen fångas upp och därmed kan näringsläckage minska (Pe'er et al., 2017). Artsammansättningen av fångst och mellangrödor kan anpassas till de olika funktioner som kan fås från växterna allt från kvävefångst, eller kväveinlagring, till att även öka biologisk mångfald ovan mark med arter som blommar under olika tider av växtsäsongen.

Fånggrödor odlas främst för att ta upp kväve ur marken under hösten och därmed minska mängden kväve som kan utlakas (Jordbruksverket, 2020). Hur effektivt detta är varierar med odlingsförutsättningarna. Under det året som fånggrödan

4 <https://www.slu.se/institutioner/biosystem-teknologi/forsoksanlaggningar/sites-lonnstorp-research-station/>

odlas kan den i genomsnitt ge upphov till cirka 300 kg inlagrad kol i marken per hektar och år (Jordbruksverket, 2020).

Mellangrödor skördas i regel inte, utan odlas för att förbättra markhälsa samt för att öka inlagring av kol i marken. I sammanställningar av försök med mellangrödor på global skala har man sett en ökad inlagring av cirka 0,3 ton/ha och år (Aguilera et al., 2013; Poeplau & Don, 2015). Det finns ett ökande intresse för mellangrödor bland lantbrukare, men avvägningar med ogräsbekämpning vid sådd är ett vanligt hinder för genomförandet i jordbruket (Hedlund, 2019). Andra faktorer som begränsar användningen av mellangrödor inkluderar kostnader för hantering av grödor som inte skördas och den komplexa hantering som kan behövas. I Skåne finns lantbrukare som driver jordbruk med mellangrödor till exempel på Krokstorps gård i Helsingborg samt Sinclairsholm i Vinslöv och som idag visar sina odlingsmetoder som goda exempel⁵. Det finns även styrmedel som bidrag för mellangrödor i de nuvarande men också kommande CAP, landsbygdsprogrammet.



Figur 2.3. Blandning av sju arter mellangrödor juni 2022. Foto: Katarina Hedlund

5 <https://www.atl.nu/sa-jobbar-krokstorps-gard-med-mellangrodor>

Samodling med baljväxter används tillsammans med andra grödor och de kan skördas som en enskild gröda eller i samband med huvudgrödan (till exempel ärter-vete, lupin-triticale, ärtor-havre, linser-vete). Baljväxter är effektiva när det gäller att producera kol från rötterna (rotexudat) som sedan gynnar biologisk aktivitet, ger mer mikrobiell biomassa och fixerar kväve från luften (Kuzyakov & Blagodatskaya, 2015).

Energiskog och agroforestry

Kol som kommer från levande trädrötter kan betraktas som långvarig kollagring som ger flera andra ekosystemtjänster till jordbrukssystemet (Maeght et al., 2013). Flera långtidsförsök har visat att vid plantering av rader av träd och buskar i åkermark (agroforestry) där trädrötterna når ner till djupare jordlager, kan ytterligare kollagring ske (Cardinael et al., 2017). Förutom en ökad inlagring av kol, bidrar träd och buskar till att öka biologisk mångfald, främja näringsupptag samt fungerar som skydd mot torka och markerosion. Agroforestry är ovanligt i Sverige, men forskning om alléodling av äppelträd invid jordbruksmarken pågår i Lönnstorp i Skåne⁶. Mer forskning och erfarenheter av agroforestry inom jordbruket vid specifikt svenska förhållanden behövs för att kunna uttala sig om för- och nackdelar med agroforestry i Skåne. Det är även oklart om agroforestry i dagsläget, med dagens utformning av jordbruksstöd och CAP, skulle gå att driva med ekonomisk lönsamhet för skånska lantbrukare. Det finns en europeisk organisation (EURAF⁷) som verkar för agroforestry inom jordbruk i Europa samt samlar information om bruksmetoder.

Ett förslag för att kunna nå de svenska klimatmålen är en ökad odling av energiskog (Jordbruksverket, 2020), och det anses lämpligt att plantera energiskog på jordbruksmark som tagits ur bruk (SOU 2020:4). Modellering av salix och poppelplanteringar på åkermark som tagits ur bruk visar att på 25 år kan kollagringen i marken öka med genomsnitt ungefär 0,8 ton kol per hektar och år för salix och med ungefär 1,4 ton kol per hektar och år för poppel (Bolinder et al., 2019). Arealen som används för odling av energiskog har minskat i Skåne de senaste åren (Tabell 2.3). Lönsamheten i odlingen är idag bristfällig och Jordbruksverket anser att det i nuläget ska ses som en osäker investering (Jordbruksverket, 2020).

Tabell 2.3 Energiskog i Skåne, arealen visar en minskande trend 2012–2019. Total åkerareal i hektar (ha). Data från Jordbruksverkets statistikdatabas.

År	Åkerareal (ha)
2019	1896
2016	2192
2012	2282

6 <https://www.slu.se/en/departments/biosystems-technology/research-facilities/lonnstorp/safe-sites-agroecological-field-experiment/>

7 <https://euraf.isa.utl.pt/about/agroforestry-europe>



Figur 2.4. Stenmur och allé i jordbrukslandskapet, strukturer som ökar variationen i landskapet och tillhandahåller livsmiljöer för olika arter. Planteras allén direkt i åkermarken bidrar trädens rötter till att transportera ner kol i djupare jordlager. Foto: Marianne Hall

2.1.2 Odlingssystem

Inom jordbruket kombineras de odlingsmetoderna som nämnts ovan inom olika typer av *odlingssystem* för att uppnå både god markhälsa samt hög produktivitet. De vanligaste exemplen förutom så kallad konventionell odling är ekologisk odling som regleras av certifiering eller reglering via jordbruksstöd, och så kallad *conservation agriculture*⁸.

Conservation agriculture bygger på några huvudprinciper: minimal markbearbetning, permanent marktäckning av grödor eller mellangrödor och tillförsel av skörderester, samt en diversifierad växtföljd (Lal et al., 2021). Odlingsystemet har

8 Inget svenskt namn har ännu satts på odlingsystemet.

introducerats av FAO och i Sverige ses conservation agriculture som ett sätt att öka markhälsan. Begreppet har blivit populärt inom konventionell växtodling och många lantbrukare använder redan flera av metoderna som till exempel plöjningsfri odling, även om man inte fullt ut följer ett systemperspektiv (SCB, 2020c). Odlings-systemet ger en ökning av kolhalten i marken och positiva effekter på en rad ekosystemtjänster, bland annat vattenreglering och näringsretention (Lal et al., 2021; Pittelkow et al., 2015). Det finns delade meningar om systemet leder till bättre skördar eller ej (Pittelkow et al., 2015) men ökade kolhalter i marken ger mindre skördeförluster vid extremt väder, och har visats ge högre produktion i odlingsystem i Skåne (Droste et al., 2020).

Ekologisk växtodling är inte så vanlig i Skåne men har ökat de senaste åren (Tabell 2.4). Att andelen ekologisk odling är låg i Skåne jämfört med övriga Sverige beror främst på ekonomiska faktorer. Dels är skördebortfallet vid ekologisk odling olika stort för olika grödor, och bortfallet är stort för potatis och sockerbetor vilka är vanliga grödor i Skåne. Dels blir skillnaden i avkastning mellan konventionell och ekologisk odling extra stor i bördiga jordbruksbygder som Skånes slättlandskap. Dessa faktorer tillsammans gör att prispremien på marknaden vid ekologisk odling inte är tillräckligt hög för att fullt ut kompensera för skördebortfallet (Jordbruksverket, 2012).

Inom ekologisk odling används stallgödsel som ger organiskt material till åkermarken som är bra för kolinlagringen. Dock använder inte ekologiska odlare växtskyddsmedel, vilket gör att de är beroende av mekanisk bearbetning av marken, som plöjning och harvning, vilket i stället minskar kolinlagringen. Kolinlagring i ekologiskt jordbruk beror då på avvägningen mellan alla faktorer som diskuterats ovan, bearbetning, tillförsel av organiskt material, samt andel vall i växtföljden (Hu et al., 2018). I globala kunskapsöversikter visas en högre kolinlagring i ekologiskt jordbruk än i konventionellt om cirka 3,5 ton/ha (Gattinger et al., 2012) men vid jämförelser av växtodlingsgårdar i Skåne har det inte visats några skillnader i kolinlagring (Williams & Hedlund, 2013).

Tabell 2.4. Ekologisk växtodling i Skåne, arealen visar en ökande trend 2014–2019. Areal åkermark, omställd och under omställning (SCB, 2015, 2017a, 2020a).

År	Ha	Andel av total areal åkermark (%)
2019	32 319	7,4
2016	23 986	5,4
2014	21 954	4,9

Reducerad jordbearbetning har ännu inte etablerats i de ekologiska odlingsystemen, men forskning pågår om att kunna odla plöjningsfritt även inom ekologisk odling. Rodale Institute i Pennsylvania (USA) utvecklade Roller-Crimper-metoden, där markytan bibehålles bevuxen under året och en täckgröda som till exempel råg, används för att täcka marken innan sådd, och sedan mekaniskt knäcks vid markytan och den nya grödan sås direkt vilket gör det möjligt att minska jordbearbetning i ekologiskt jordbruk. Denna metod testas för närvarande under olika klimatförhållanden och med olika typer av täckgrödor (Vincent-Caboud et al., 2017).

2.1.3 Betesmark

Betesmarker med flerårig gräsvall eller naturliga gräsmarker har redan mycket inlagrat kol i marken. Här är utmaningen snarast att behålla kolet som redan finns inlagrat (Jordbruksverket, 2010). Forskning tyder på att kolförrådet i dessa marker är känsligt för ändringar i markanvändning och lätt förlorar kol (Conant et al., 2017). Kolinlagring i naturbetesmarker i Sverige är låg (i genomsnitt mindre än 100 kg C/ha och år) men kolförrådet är större än i åkermarken (Jordbruksverket, 2010). I uppskattningar av kolhalten av olika marktyper i Europa har det rapporterats cirka 80-120 ton kol/hektar från gräsmarker, medan åkermark har drygt halva mängden (Lugato et al., 2014). Kolinlagring i gräsmarker gynnas av åtgärder som syftar till att öka tillväxten av biomassa, som till exempel insådd av ärtväxter och gödsling. Här kan finns avvägningar mot bevarande av biologisk mångfald som ofta strävar mot att extensifiera betesmarkerna.

2.2 Organogen jordbruksmark

Organogen jordbruksmark är jordar som innehåller minst 30 procent organiskt material. En organogen jord var ursprungligen en torvrik våtmark. Denna har dikats, och efter dikningen, när vattennivån sänkts och syre kommer ner i marken, startar nedbrytningen av det organiska materialet och kol avges till atmosfären. Så länge marken är fortsatt dränerad bryts det organiska materialet ned och lagret med organiskt material minskar med en hastighet av några centimeter per år.

Utdikningen av våtmarker var som störst fram till 1930-talet, och sedan mitten på 1800-talet har cirka 90 procent av våtmarkerna försvunnit (Emanuelsson, 2009). Det finns uppskattningar på att så mycket som 10 procent av arealen i Malmöhus län har varit våtmarker före år 1800. Av Skånes nuvarande jordbruksmark är cirka 2,8 procent organogen jord, varav en fjärdedel med yttlig torv (se avsnitt 5.3.3). Den större delen av marken (80 procent) odlas med årliga grödor, där de största förlusterna ges av odling av till exempel potatis och grönsaker, vilka innebär en intensiv odling med förlust av torv och stor lustgasemission. En mindre del, 20 procent, odlas med vall eller andra perenna grödor. För årliga grödor uppskattas förlusten av CO₂ och N₂O sammanlagt ge 34 ton CO₂-ekvivalenter per hektar och år jämfört med 15 ton CO₂-ekvivalenter per hektar och år från blöt gräsmark (IPCC, 2014).

Idag rekommenderas att odling på organogena jordar gynnas av att ha en mer extensiv användning som långliggande vall, energiskog eller betesmark. Radgrödor som potatis eller morötter kräver markbearbetning som ökar förlusterna av kol från marken (Jordbruksverket, 2008). Trots att endast en liten andel jordbruksmark ligger på organogen jord så står dessa marker för en betydande del av jordbrukets utsläpp av växthusgaser både i dag och historiskt sett, då de organogena åkermarkerna bidragit med stora mängder kol till luften sedan de utdikats (Jordbruksverket, 2018).

2.2.1 Återvätning av organogen åkermark

Idag rekommenderas återvätning som en kostnadseffektiv klimatåtgärd för att minska förluster av kol från organogena odlingsmarker (SOU, 2020:4). Vid återvätning med vattennivå vid markytan eller över blir marken återigen syrefri och nedbrytningen av torven avbryts. Detta leder till att utsläppen av koldioxid minskar och utsläppen av lustgas upphör, medan däremot utsläppen av metan ökar då dessa sker under syrefria förhållanden. Metanutsläppen förväntas vara högst precis efter att en våtmark har anlagts och avtar sedan med tiden. Den sammanlagda effekten blir i de flesta fall att de totala utsläppen av växthusgaser minskar (IPCC, 2014; Jordbruksverket, 2014; Wilson et al., 2016). Allt eftersom våtmarksväxter börjar etablera sig så kan den nybildade våtmarken även börja lagra kol (Jordbruksverket, 2018).

Olika nivåer av återvätning

För bästa klimatnytta bör markvattennivån höjas till någon decimeter under markytan. En minskning av koldioxidutsläppen på 90 procent kan då vara möjlig, samtidigt som lustgasutsläppen i stort sett försvinner och metanutsläpp undviks (Kasimir et al., 2018). Vid återvätning av marken är det viktigt att sträva efter en stabil vattennivå, då fluktuerande vattennivåer kan leda till att utsläppen av växthusgaser ökar. Kan man däremot hålla kvar vattnet i marken på en jämn nivå på någon decimeter under ytan kan det vara möjligt att återställa marken till en sänka för koldioxid, utan att metanutsläppen ökar. Restaurerad mark kan ta upp cirka 0,4 ton kol $\text{m}^{-2} \text{år}^{-1}$ (Gunther et al., 2020). Hur stor minskning av växthusgasutsläppen som uppnås avgörs av markens bördighet och den resulterande vattennivån, samt av vilken växtlighet som odlas eller vilka vilda växter som tillåts ta över.



Figur 2.5. Nöbbelövs mosse, restaurerad våtmark och naturreservat i Lunds kommun. Foto: María Ingimarsdóttir

2.3 Kollagring – effekt på biologisk mångfald, bördighet och klimatanpassning

Kol i marken används som energikälla för en majoritet av de marklevande organismerna. Mängden kol i marken används därför ofta som en indikator för markens biologiska mångfald (Tsiafouli et al., 2015), för ett antal ekosystemtjänster, och för en god markhälsa (Williams & Hedlund, 2014). Genom sina aktiviteter utför markens organismer processer och funktioner som i slutändan genererar både reglerande och stödjande ekosystemtjänster i jordbruket. De reglerande ekosystemtjänsterna är, förutom kollagring i det organiska materialet i marken, att producera rent grundvatten genom att bryta ner föroreningar, och att fungera som biologisk bekämpning av skadedjur och sjukdomar.

De stödjande ekosystemtjänsterna bidrar bland annat till ökad tillväxt hos grödor genom att bryta ner organiskt material som frigör näringsämnen i marken till växterna, samt genom att förbättra markens aggregatstruktur vilken ökar markens vatteninfiltration och vattenhållande förmåga (Barrios, 2007). Då ökad kolhalt i marken ökar markens vatteninfiltration och vattenhållande förmåga så hjälper det till med att minska effekter av extremväder, såsom torka eller kraftiga regn. Ökad kolhalt kan därmed ses som en klimatanpassningsåtgärd, genom att fungera som en försäkring mot pågående klimatförändringar och ge stabilare avkastning (Cong et al., 2014; Droste et al., 2020). Forskningsresultat finns där man räknat på teoretiska möjliga effekter av att bevara markkol genom att ha upp till 25 procent vall i växtföljden (Brady et al., 2019). Även om det som enskild metod endast minskar förlusten av kol vid odling, så kan det på sikt bidra till att höja skörden och minska den totala användningen av gödselmedel (Tabell 2.5).

Tabell 2.5. Effekten av vall på markkol för framtidens avkastning och optimal kvävegiva. Relativ förändring (Δ) på 20 år, i procent från år 2016 till referensscenario år 2036 (Brady et al., 2019).

Andel vall (%)	Δ Skörd per ha (%)	Δ Kvävegiva per ha (%)	Δ Kol/ha (%)
5	0,7	-5,8	1,5
15	1,8	-17,1	4,7
25	3,0	-28,4	7,8

3: Skogsmark

Författare: Giuliana Zanchi, Åsa Kasimir

3.1 Skånes skogar

Skogarna i Skåne täcker 428 100 hektar och utgör ungefär 38 procent av landarealen. Merparten är produktiv skogsmark (98 procent) och domineras av barrskog (47 procent), lövskog (40 procent) samt en mindre del blandade bestånd. Det dominerande trädslaget gran utgör 35 procent av skogarna i Skåne (SLU, 2020). Gran har blivit det dominerande trädslaget efter att avsevärda arealer av ädellövskog ersattes av gran mellan åren 1950–1970 (Hall et al., 2015). Större delen av skogen växer på mineraljordar. Därutöver är en försiktig uppskattning att det finns skog på cirka 17 000 hektar skogsmark på dikad torv i Skåne, om man antar att dessa i Skåne liksom i övriga Sverige utgör fyra procent av markytan, men troligen finns en större areal (Ernfors et al., 2008). Merparten av Skånes skogar är i privat ägo (75 procent) med en genomsnittlig fastighetsstorlek på mindre än 30 hektar, vilket är mindre än det nationella genomsnittet på 50 hektar.

Skogarna i Skåne är högproduktiva. Medan de utgör 1,5 procent av den svenska skogsarealen så bidrar de med ungefär 2,7 procent av den genomsnittliga årliga träd-tillväxten i Sverige. Mer än hälften av denna tillväxt sker i granskogarna. Den höga tillväxten i Skåne bekräftas också av boniteten som är mer än dubbelt så hög som det nationella genomsnittet: 11,4 skogskubikmeter per hektar och år ($\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$)⁹ jämfört med 5,5 $\text{m}^3\text{sk ha}^{-1}\text{år}^{-1}$. Det uppskattas att kolförrådet i trädens biomassa inklusive rötter i Skåne uppgår till 26 miljoner ton kol (C) eller 95 miljoner ton koldioxid (CO_2) (SLU, 2020).

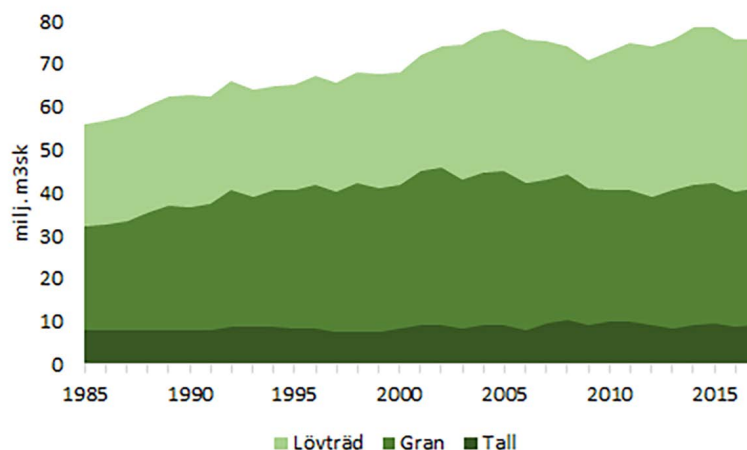
Största delen av skogsekosystemens kolförråd återfinns dock i marken. Det genomsnittliga kolförrådet i den produktiva skogsarealen i Skåne är 97 tC ha^{-1} , vilket är den högsta andelen per hektar i Sverige, jämfört med andra län. Andelen av markkolet i Skåne motsvarar mer än två procent av kolförrådet i marken i Sverige, vilket är en stor andel i förhållande till arealen i länet (SLU, 2017). När det gäller utsläpp av växthusgaser från skogsekosystem så sker den största förlusten av växthusgaser (per ytenhet) från näringsrik dikad torvmark. Utsläppen sker i form av både CO_2 och lustgas (N_2O). Utsläppen från dikad torvmark kan vara så höga att skogen – trots hög tillväxt – inte förmår att kompensera för dessa och ekosystemet totalt sett blir en nettokälla för växthusgaser som släpps ut i atmosfären (Meyer et al., 2013). Från dikade skogsmarker

9 m^3 sk: virkesvolym, inklusive bark men exklusive grenar och rötter

med torvjord i Skåne kan man utifrån IPCCs emissionsfaktorer uppskatta att marken bryts ner och att det då avgår totalt 0,17 Mton koldioxidekvivalenter per år, varav 90 procent av utsläppen utgörs av koldioxid och 10 procent av lustgas.

3.1.1 Trender i trädslagsfördelning

När det gäller trädslagsfördelningen i Skåne så kan man se en tydlig förändring sedan 2005, vilket sammanfaller med stormen Gudrun. Den totala skogsarealen har inte ändrats substantiellt sedan 2005, men däremot syns en kraftig minskning av arealen granskog (-5 procent av total skogsarealen) samt arealen barrblandskog (-2 procent), vilka omvandlats lövskog (+7 procent). Det totala virkesförrådet har därmed ökat, mestadels på grund av ökningen i lövskogar (Figur 3.1). I tallskogar har virkesförrådet mer eller mindre förblivit konstant sedan 1980-talet, medan virkesförrådet i granskogar har ökat fram till 2005 för att sedan minska under de senaste 15 åren på grund av omvandlingen kopplad till stormar. Statistik visar att stormar påverkade ungefär 23 000 m³sk i Skåne (SLU, 2010).

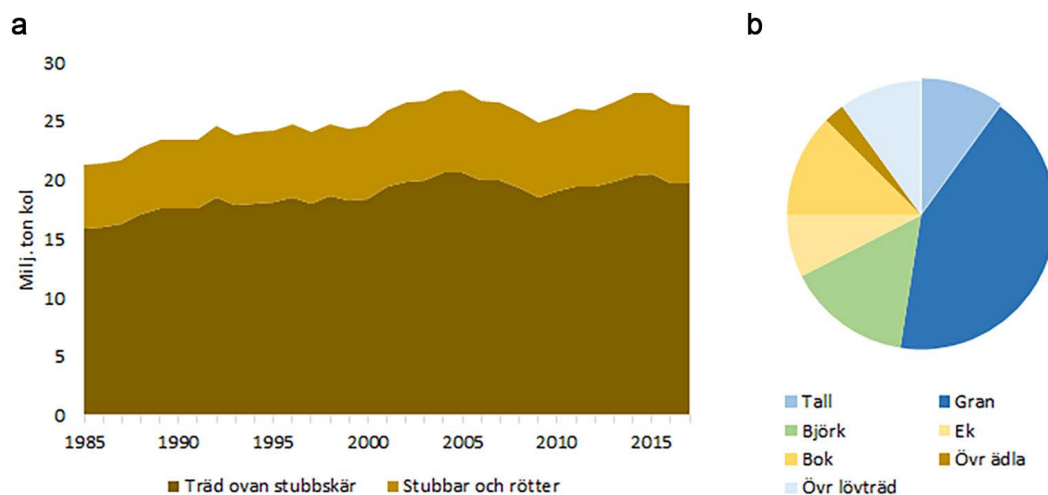


Figur 3.1. Virkesförrådet i levande träd fördelat på trädslag i Skåne.

Källa: <https://taxwebb.slu.se>

Granbarkborreangrepp har också kraftigt påverkat granskogarna i södra Sverige under de senaste åren (Wulff & Roberge, 2020). Dessa trender tyder på att granskogar i Skåne kan vara mer sårbara än andra trädslag för naturliga störningar och därmed har en potentiellt högre sårbarhet relaterat till ett förändrat klimat.

Eftersom det totala virkesförrådet ökar så fungerar Skånes skogar fortfarande som en kolsänka. Sedan 1980-talet har träden i Skåne lagrat ungefär 1.8 miljoner ton kol per år, vilket motsvarar 6.5 miljoner ton CO₂ per år. Av detta har ungefär 10 procent bevarats i skogsekosystemet och 90 procent avverkats. Det totala kolförrådet i träd-biomassa har alltså successivt ökat sedan 1980-talet, med undantag för en tillfällig minskning efter de stora stormarna 2005–2008 (Figur 3.2). Naturliga störningar kan alltså spela en viktig roll för skogens kolbalans i Skåne.



Figur 3.2. a) Kolförråd i trädbiomassa 2015–2019, b) Andel per trädart
 Källa: <https://taxwebb.slu.se>

3.2 Tillämpbara åtgärder på skogsmark för att stärka kollagring

Vi har nedan identifierat några åtgärder som kan tillämpas i ett skånskt perspektiv, samt åtgärdernas inverkan på övriga miljömål. Åtgärderna delas in i tre kategorier: 1) åtgärder för att öka skogstillväxten, 2) åtgärder för att öka skyddade områden eller skogskötselmetoder inriktade på naturskydd, och 3) åtgärder på skogsmark med dikad torv. Vi kommer även kort att diskutera den potentiella betydelsen av förändrad markanvändning från och till skogsmark (avskogning och beskogning) i Skåne.

3.2.1 Åtgärder för att öka tillväxten

Åtgärder som syftar till att öka skogstillväxten medför en ökad inlagring av kol per år och yta, vilket kan 1) lagras in i ekosystemen och bevara kolförrådet i växter och marken eller 2) ge mer virke till avverkning för virkesproduktion. Rapporten SOU 2020:4 behandlar några av de åtgärderna för att öka tillväxten som identifierades i projektet ”Samverkansprocess skogsproduktion”¹⁰. Om lika mycket skog ska avverkas per år som görs nu och samtidigt öka den årliga kolsänkan behövs en ökad skogstillväxt.

¹⁰ <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/var-verksamhet/projekt/hallbar-okad-tillvaxt/samverkansprocess-skogsproduktion/> (besökt 21-11-16)

Gödsling

Kväve. I skogar där tillväxten begränsas av mängden tillgängligt kväve kan kvävegödsling öka skogens tillväxt samt bidra till ökad kollagring i marken. Detta är ofta fallet i norra Sverige. I södra Sverige är nedfallet av kväve mycket högre än i norra Sverige, och skogarna har ofta uppnått eller närmar sig till kvävemättnad (Akselsson et al., 2010; Lucander et al., 2021). Kvävemättnad innebär att tillväxten begränsas av något annat än kvävetillgång, och därför inte ökar nämnvärt vid ytterligare tillförsel av kväve. Ytterligare tillförsel av kväve leder då istället till ett ökat kväveläckage från marken till ytvatten (Emmett, 2007), vilket kan ha negativ påverkan för vattenkvaliteten. Skogsstyrelsen rekommenderar därför att man undviker kvävegödsling i södra Sverige (SKS, 2011).

Baskatjoner. Om skogstillväxten begränsas av tillgången på andra näringsämnen, som baskatjoner och fosfor, kan gödsling med dessa ämnen ha positiv effekt på skogstillväxt och därmed kollagring. Förnärvarande är inte tillgången på baskatjoner begränsande för skogstillväxt i Sverige, men ett kontinuerligt eller ökande uttag av biomassa från skogen för att till exempel öka produktionen av biobränsle skulle på sikt kunna leda till minskad tillgång på baskatjoner (Zanchi et al., 2021). För att kompensera för uttaget av baskatjoner kan askåterföring hjälpa till att säkra skogstillväxt på lång sikt, och bidra till att motverka försurning (Karlton et al., 2008).

Fosfor. Inte heller fosfor är idag begränsande för skogstillväxt i svenska skogar. En analys av näringsämnen i barr och löv visar dock att fosforbegränsning är en ökande trend i världen i områden där kväve inte är begränsande (Du et al., 2020). Om trenden fortsätter skulle gödsling med fosfor i framtiden kunna bidra till att bevara skogstillväxten i kvävemättade skogar som de i södra Sverige.

Ökad inblandning av främmande trädslag

Att öka inblandningen av främmande trädslag kan uppfattas som fördelaktigt eftersom det kan bidra till en ökad skogstillväxt genom att vissa arter har högre tillväxt än inhemska arter, eller är mer motståndskraftiga mot skadegörare och tåligare mot skador. Det enda främmande trädslaget som introducerats storskaligt i Sverige är contortatall (*Pinus contorta*). Enligt en rapport från FSC innebär dock odling av contortatall högre ekologiska risker jämfört med odling av inhemsk tall och gran (Jacobson & Hannerz 2020; Widenfalk, 2015). Förnärvarande finns ett förbud mot att plantera contortatall i södra Sverige (SKS, 2009) som infördes dels som försiktighetsåtgärd eftersom riskerna ännu inte var tillräckligt utredda, och dels för att produktionsfördelarna var små jämfört med gran.

Andra främmande trädslag som skulle kunna planteras i södra Sverige inkluderar hybridlärk, douglasgran och hybridasp, som alla kan vara mindre känsliga än inhemska trädslag gentemot vissa naturliga störningar. Plantering av hybridlärk ökade kraftigt efter orkanen Gudrun 2005 eftersom den är mindre stormkänslig än gran (Magnusson, 2020). En studie som sammanställde kunskap om risker kopplade till plantering av främmande trädslag i södra Sverige visar att varje trädslag innebär vissa

ekologiska risker (Felton et al. 2013). Dessa risker innefattar hybridisering med inhemska trädslag, invasivitet som kan leda till förluster av livsmiljöer, spridning av patogener och skadegörare, samt förlust av biologisk mångfald. Studien betonar vikten av att genomföra en riskanalys före inplantering av främmande trädslag, och diskutera resultat med olika intressenter för att kunna uppnå en kompromiss mellan ökat upptag av koldioxid och andra miljömål. I en rapport från Skogforsk föreslås "adaptiv introduktion" av trädslagen, vilket innebär att inplanteringen av trädslagen ökas stegvis, kombinerat med vetenskapliga försök (Skogforsk, 2013).

Ståndortsanpassning

Ståndortsanpassning innebär oftast att man väljer de trädslag som är bäst lämpade för de rådande ståndortsegenskaperna. Som en följd därav ökar trädttillväxten och därmed kolsänkan i skogsekosystemet. I södra Sverige kan ett byte från gran till tall vara en effektiv åtgärd för att ståndortsanpassa skogen. Gran har ofta planterats på mark som är lämpligare för tall, såsom torra marker med lägre bördighet. Anledningen till att skogsägare valt gran framför tall har varit för att undvika viltskador, då vilt föredrar tall- över granplantor. Granens tillväxt är dock sämre på sådana marker än på näringsrika marker med god vattentillgång. Vid torka blir gran dessutom mer sårbar för skadegörare, som till exempel granbarkborre. Ett stort barkborreutbrott följde efter sommartorkan 2018, vilket ledde till stora virkesförluster i södra Sverige (SKS, 2019c). Genom att ersätta gran med tall på ståndorter med lägre bördighet är det alltså möjligt att öka skogstillväxten samtidigt som man kan se åtgärden som en klimatanpassnings-åtgärd.



Figur 3.3. Lövskog i Skåne, blandbestånd av björk och bok. Foto: Marianne Hall

Hur hög tillväxtökning som är möjlig efter trädslagsbyte är under diskussion eftersom jämförelsestudier av gran och tall visar en hög variation med markbördighet och beståndsålder (Felton et al., 2020). De få fältförsök som finns visar att virkesförrådet ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) i tallskogar är högre än i granskogar med undantag för bestånd på bördig mark. En studie från Mellansverige antyder att tallskog kan ha mer än 100 procent högre ståendevolym än granskog (Holmström et al., 2018). En annan studie, från norra Sverige, uppskattade att stamvolymen i tallskog är 3 gånger högre än i granskog (Nilsson et al., 2012).

Forskning visar att omvandling från tall till gran i södra Sverige har negativa effekter på ekosystemtjänster som rekreation och estetisk värden, samt på biologisk mångfald och på skogens motståndskraft (Felton et al., 2020). En omvandling av granskogar till tallskogar i Skåne kräver i stället att man samtidigt genomför viltförvaltningsåtgärder för att minska viltskador. Skadorna kan även minskas genom att man sparar plantor som sälg och rönn i och runt tallplanteringarna som ett alternativt foder då det betas i högre grad än tall.

Ståndortanpassning kan också innebära en ökning av löv- och blandskog, som historiskt sett har täckt en mycket större areal i Skåne. Lövskog skulle kunna vara ett alternativ till granskog på marker med högre bördighet (Ritter, 2020). Under ett varmare klimat kommer utbredningsområden av lövträd att utvidgas i södra Sverige (Kramer et al., 2010) och därför kan omvandling från barr- till lövskog vara en strategi för att klimatanpassa skogen. Blandskog har högre motståndskraft än enartsbestånd (Pardos et al., 2021) och kan därför ur klimatanpassnings-synpunkt vara att föredra framför skogar som domineras av ett trädslag.

Anpassning av viltpopulationen

Anpassning av viltpopulationen är en åtgärd som kan öka skogstillväxt både direkt genom minskade skador på träd, och indirekt genom att gynna etablering av arter som är bättre anpassade till ståndortsegenskaperna (se under rubriken ståndortsanpassning ovan). Resultat från älgbetesinventeringen (ÄBIN)¹¹ visar att andelen årsskadade tallar i Skåne var 18 procent i genomsnitt under 2019-2021, med högst andel skadad tall i norra Skåne. Även lövträd skadas kraftigt av vilt. Under 2016-2018 var andelen betskadad björk (data från Götaland) lika hög som hos tall, 18 procent, och andelen hos andra lövträd var 30 procent (SKS, 2019b). Skogsstyrelsen och Naturvårdsverket föreslår kvantitativa tröskelvärden för att minska betesskadorna: viltbete får varje år skada högst fem procent av tallplantorna på vanlig mark och högst två procent på marker med låg bonitet (SKS, 2019a). Enligt en studie baserad på modellsimulering skulle detta tröskelvärde innebära en förlust av årlig tillväxt på mindre än 10 procent, vilket i sin tur bedöms som en mindre effekt på tillväxten (Nilsson et al., 2016). Viltskador har uppskattats av Södra Skogsägarna

11 <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/abin-och-andra-skogliga-betesinventeringar/>

till 0.60 m³ fub¹² per hektar och år i Götaland (Örlander & Frisk, 2020). Detta motsvarar en tillväxtförlust av 31 180 m³ sk per år i tallskogar i Skåne (42 600 ha) eller en förlust av koldioxidupptag i biomassa av cirka 24 000¹³ ton CO₂ per år, och som följd av denna förlust i tillväxt minskar sannolikt även kolsänkan i marken. En anpassning av viltpopulationen kräver utveckling av viltförvaltningsplaner som tar i beaktande möjliga konflikter mellan olika intressenter som jägare och skogsägare, och är därför en åtgärd som kan ta tid att genomföra och leverera konkreta resultat.

Skogsträdsförädling

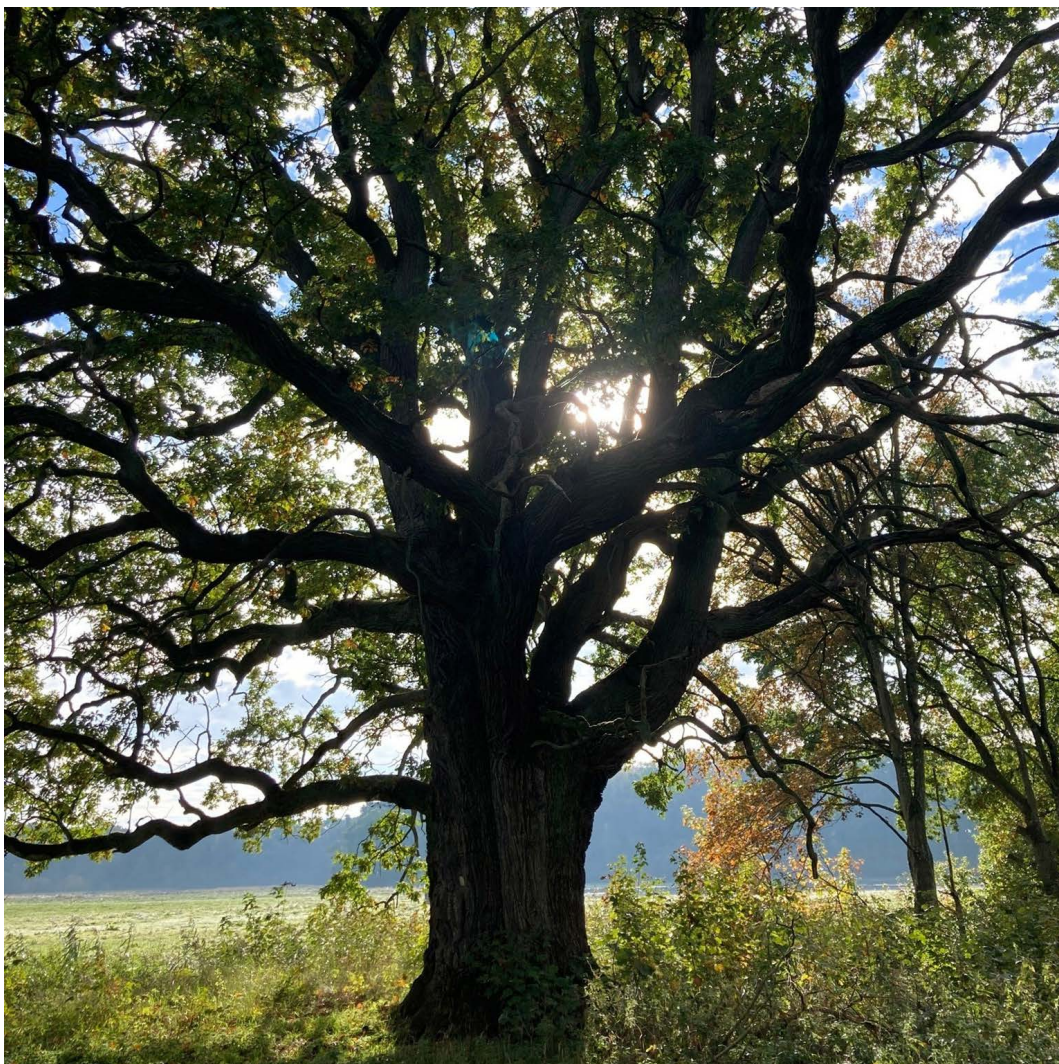
Skogsträdsförädling kan vara en effektiv åtgärd för att höja tillväxten i skog. Med skogsträdsförädling avses här användandet av fröplantager från plusträd med bra egenskaper som korsas och testas i fält för vitalitet, tillväxt och virkeskvalitet. I praktiken blir resultatet att skogen växer fortare, och kan jämföras med att byta till skog på bättre bonitet. Idag växer förädlade plantor 10–15 procent bättre än plantor från lokala skogsbestånd (Skogforsk, 2019). Samtidigt är det mycket viktigt att bevara den genetiska variationen i plantmaterialet, för att behålla förmågan till anpassning till miljöförändringar och därmed skogens förmåga att erbjuda ekosystemtjänster i framtiden. I Sverige görs detta genom att behålla ett tillräckligt antal träd i varje förädlingspopulation, med målsättningen att den genetiska variationen inte ska minska märkbart på tio generationers sikt. Detta kan ses som en form av genbevarande. I övrigt bevaras även den genetiska integriteten i några skogsområden i Sverige (Karlsson & Rosvall, 2008).

3.3 Åtgärder för att öka skyddade områden eller skogskötselmetoder inriktade på naturskydd

Om ett skogslandskap brukas intensivt, med en avverkning (m³sk) som är lika hög som årstillväxten, så ökar inte kolförrådet i skogens stående biomassa och kolsänkan i trädbiomassa blir noll. Skötselmetod, förekomst av störningar, och hur intensivt skogen brukas, bestämmer till stor del om en åtgärd som används för att öka tillväxten på lång sikt även resulterar i ett ökat kolförråd i skogsekosystemet. Om man vill öka kolförrådet i skogen på kort och lång sikt krävs, utöver åtgärder för att öka tillväxten, även åtgärder som syftar till ett mindre intensivt skogsbruk där inbundet kol kan bevaras i ekosystemet under lång tid. Bland de skötselåtgärder som syftar till att öka kolförrådet i skogen nämner SOU (2020:4) ökade avsättningar av produktiv skogsmarksareal, ökade omloppstider, samt ökad areal av blandskogar och lövinblandning. I denna sammanställning ingår även ändrad skötsel av produktionskog från trakthyggesbruk till hyggesfritt skogsbruk som en möjlig strategi för att öka skogens stabilitet och kolförråd i skogen.

12 m³ fub: kubikmeter fast under bark för att mäta volymen på enskilda stockar vilken motsvarar 1.22 m³ sk (trädets volym) för medel stockdimension för tall.

13 Om man antar densitet av 0.42 ton biomassa per m³, kolhalt av 0.5 i biomassa och 3,67 ton koldioxid per ton kol (Good Practice Guidance for LULUCF, IPCC).



Figur 3.4. Ek vid hagmark. Foto: Marianne Hall

3.3.1 Öka areal som undantas från virkesproduktion

Region Skåne har utvecklat en strategi för formellt skydd av skog som framförallt riktar sig till skydd av produktiv skogsmark, där strategins mål är kopplade till ett kortsiktigt skyddsbehov av befintliga värdekärnor (Länsstyrelsen-Skåne, 2019). Värdekärna är ett sammanhängande skogsområde som av Länsstyrelsen Skåne och Skogsstyrelsen bedömts ha en stor betydelse för fauna och flora och/eller för en prioriterad skogstyp. Enligt SCB statistik finns 19 000 hektar skog som nu har formellt skydd, vilket motsvarar ungefär fem procent av den totala skogsarealen. Utöver dessa områden finns mer än 24 000 hektar frivilliga avsättningar på produktiv skogsmark. Om tillväxten är lika hög i dessa skogar (43 000 hektar) som i produktionsskogen så blir inlagringen i dessa skogar 0,65 miljoner ton koldioxid per år. Eftersom medelåldern på skogen är relativt låg kan inlagringen pågå i decennier innan en ny balans infinner sig. Skyddade områden kommer att bidra till en ökning av det totala kolförrådet i skogen under en uppskattad tidsperiod av 50 år enligt SOU (2020:4).

Strategin föreslår också att potentiella områden som skulle kunna skyddas i framtiden kan inkludera utvecklingsmarker i strategins prioriteringsgrunder, framför allt i värdeetrakter¹⁴, liksom skogar med stor betydelse för friluftsliv och rekreation.

3.3.2 Ökade omloppstider

Det finns en stor potential i skogen som kolsänka, då 1,8 Mton koldioxid årligen lagras in i Skånes skogar. Att låta skogen bli 10 år äldre innan den avverkas kan ge en viktig tidsfrist i klimatomställningen. En möjlig väg för att öka kolförrådet i skogen är därmed att öka medelåldern på bestånden genom att fördröja slutavverkningen. Samtidigt finns här risker kopplade till naturliga störningar som skulle kunna påverka en äldre skog, som brand, stormskador och insektsutbrott (Forzieri et al., 2021). Största riskerna är för skog som finns på gränsen till sitt utbredningsområde, som granskogar i Skåne, vilka drabbats hårt av stormar och skadegörare de senaste 15 åren. Sårbarhet för naturliga störningar kan minskas med åtgärder såsom en ökad andel blandskog och mer naturnära skogskötselmetoder som kontinuitetskogsbruk, snarare än att undvika längre omloppstider.

3.3.3 Ökad löv- och blandskog

Det går att öka andelen löv- och blandskog på blöt, fuktig och frisk-fuktig mark. Detta skulle innebära ett mindre intensivt skogsbruk på dessa marker, och ge förutsättningar för ett ökat kolförråd. En följdverkan skulle även bli ökad motståndskraft mot störningar som brand, storm och insekter (se även avsnittet om ståndsorpassning ovan). Blandskog har positiva effekter på multifunktionalitet i landskapet (Gamfeldt et al., 2013), och en ökad areal blandskog skulle kunna bidra att uppnå flera miljömål. Jämfört med granskog ger en övergång till blandskog positiva effekter på biologisk mångfald, vattenkvalitet, rekreations- och estetiska värden, minskad sårbarhet för skadedjur och patogener och ökad ekonomisk flexibilitet. Hinder mot att öka arealen blandskog är kopplade till högre risk för viltskador, ett mer komplext och eventuellt svårskött skogsbruk samt osäkerhet om produktionsförmågan, vilket delvis skulle kunna avhjälpas med en ökad kunskap om blandskog (Felton et al. 2016).

3.3.4 Hyggesfritt

Benämningen hyggesfritt skogsbruk kan förstås på olika sätt av olika aktörer. Här använder vi Skogsstyrelsens definition ”Hyggesfritt skogsbruk på skogsmark med produktionsmål innebär att skogen sköts så att marken alltid är trädbevuxen utan att det uppstår några större kalhuggna ytor.” (Skogsstyrelsen 2021).

14 Värdeetrakter har en väsentligt högre täthet av värdekärnor för djur- och växtliv inklusive biologiskt viktiga strukturer, funktioner och processer än vad som finns i vardagslandskapet.

Att öka arealen som sköts med hyggesfria metoder i Skandinavien har främst föreslagits som en strategi för att bättre uppnå multifunktionalitet i skogen (Eyvindson et al., 2021). Det finns även forskningsresultat som visar att på landskapsnivå så kan en kombination av trakthyggesbruk och hyggesfritt skogsbruk både öka kolförrådet i ekosystemet och mängden kol som tas upp från atmosfären. En studie har till exempel föreslagit att i skogar som sköts med hyggesfria metoder skulle kolförrådet öka med ungefär fem procent och kolbindningen skulle vara nästan tre gånger högre jämfört med trakthyggesbruk, sett som medelvärden över 100 år (Peura et al., 2018). Andra forskningsstudier har dock visat att klimatnyttan från hyggesfritt och trakthyggesbruk är ungefär samma (Lundmark et al., 2016). Osäkerheten om produktionsförmågan och därmed kollagringspotentialen vid hyggesfritt skogsbruk är fortfarande hög, eftersom det fortfarande bara finns få mätningar från skogar i Skandinavien som sköts hyggesfritt. Forskning för att bättre förstå kolbalansen i skogar som sköts med hyggesfria metoder skulle därför behöva utvecklas i takt med en utveckling av skogsarealen som sköts med hyggesfria metoder.

Flera studier visar att hyggesfritt bättre kan bidra till skogens multifunktionalitet – inklusive att gynna biologisk mångfald, förbättra vattenkvaliteten och öka rekreativvärden – och att en kombination av olika skogsskötselmetoder på landskapsnivå är önskvärt (Díaz-Yáñez et al., 2019; Eyvindson et al., 2021; Peura et al., 2018; Zanchi & Brady, 2019). I ett förändrat klimat är det av stor vikt att motverka sårbarhet för brand, storm och insektsangrepp, vilka innebär förlust av kol såväl som av ekonomiska värden. Kontinuitetskogbruk med blandskog kan potentiellt minska homogenitet på landskapsnivå genom att diversifiera beståndsålder och blandning av trädslag och därmed minska skogens sårbarhet (Forzieri et al. 2021). Intresset för hyggesfria metoder har ökat i Sverige och därför finns det stor potential för att genomföra dem i praktiken. Fler skogsägare är nu intresserade av att lära sig om och övergå till hyggesfritt skogsbruk, särskilt privata skogsägare. Dessutom har Skogsstyrelsen och skogsägarföreningar utvecklat program för att främja och sprida kunskap om hyggesfritt skogsbruk¹⁵.

3.4 Åtgärder i skogsmark på dikad torv

När vattennivån i en våt torvmark sänks genom dikning startar en nedbrytningsprocess i torven som ger upphov till stor avgång av CO₂ och lustgas (N₂O) ifall marken är näringsrik. När skogens tillväxt är hög kan trädens upptag av koldioxid vara lika stor eller något större än mängden koldioxid som förloras från marken vid torvens nedbrytning. I praktiken så innebär brukandet av marken främst en omfördelning av kol från torvmarken till den stående trädbiomassan. Så länge skogen tillväxer blir nettoutsläppet följaktligen nära noll. När skogen avverkas efter cirka 80 år har torvmarken sett över hela rotationsperioden avgett ungefär 800 ton koldioxid-ekvivalenter per hektar (räknat enligt IPCCs emissionsfaktorer), istället för att som en skog på mineralmark lagra in kol både i träden och i marken (IPCC, 2014). Till skillnad mot skog odlad på fastmark kan en nyplantering av skog på dikad torvmark

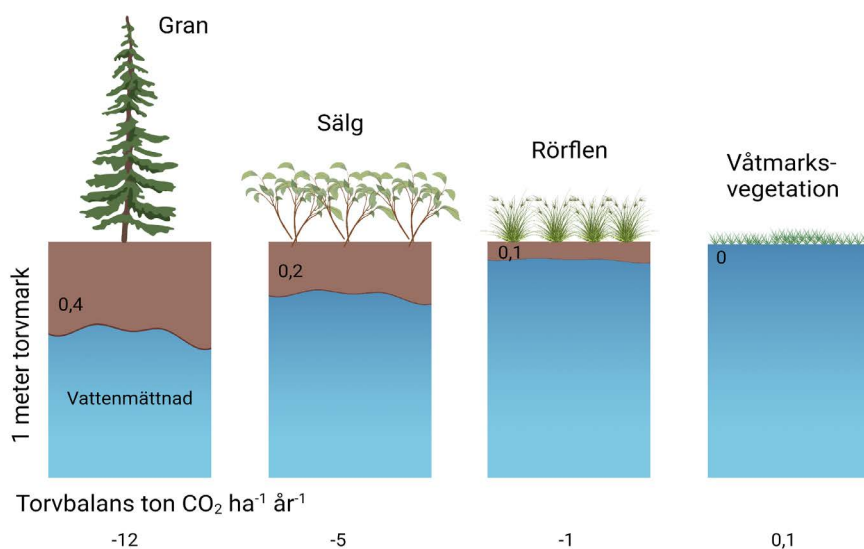
15 <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/var-verksamhet/projekt/projekt-om-hyggesfritt-skogsbruk/>

inte kompensera förlusten av mark-kol lagrat i torv, eftersom det övre markskiktet odlas bort kontinuerligt. Nästa plantering kommer ske på en lägre marknivå än föregående rotation.

3.4.1 Byte av markanvändning från produktionsskog (gran) till annan skogstyp genom återvätning

Efter avverkning av skog på dikad torvmark stiger markvattennivån eftersom trädens transpiration tidigare transporterat vatten från marken ut i atmosfären. Vid plantering av ny liknande skog behöver diken rensas och skyddsdikning genomförs varvid torvens nedbrytning påskyndas. För att hejda nedbrytningen av torv behöver marken restaureras så att den blir våt igen, vilket kan göras genom att blockera eller fylla igen diken. Det är då också viktigt att kontrollera gamla överväxta diken som kan fungera dränerande även när de inte längre syns. Före detta kärnmarker är de som lättast kan hållas våta eftersom de försörjs med vatten både från nederbörd och från omgivningarna.

Den nya blötare miljön får en annan flora och fauna vilket ökar den biologiska mångfalden i landskapet. Nedan diskuteras restaurering till myr samt anläggning av sumpskog och mad (våt gräsmark). Hur stor minskning som uppnås med de olika alternativen avgörs av markens bördighet, den tidigare vattennivån och den vattennivå som erhålls, och typ av vegetation. Detta har visats i modellberäkningar över 80 års skogsrotation och alternativ produktion med höjd vattennivå på en bördig mark i södra Sverige, se Figur 3.5 (Kasimir et al., 2018).



Figur 3.5. Torvbalanser för fyra olika markanvändningsalternativ med återvätning: Granskog där torven är vattenmättad på cirka 0,4 meters djup, Sälg med vattenmättad på 0,2 m, Rörflen på 0,1 m, samt återvätning med vatten i ytan och våtmarksvegetation. Baserad på (Kasimir et al., 2018) där modellberäkningar utgått från mätdata från Skogaryds forskningsstation i Västra Götaland. En positiv torvbalans innebär att tillförsel och inlagring av nytt växtmaterial som torv överstiger torvnedbrytningen.

Myr: Om våtmarken restaureras helt och återfår funktionen av en myr kan den åter bli en sänka för koldioxid med ett upptag på 0,4 ton CO₂ ha⁻¹ år⁻¹ (Gunther et al., 2020). Myrens vegetation kan bestå av mossor och kärlväxter. Mossor har stor betydelse för kolinlagring i mark genom att avge förna som inte bryts ner lika fort som andra växters (van Breemen, 1995). Dessutom saknar mossor rötter, varför de inte heller torkar ut myren under torktillfällen på samma vis som kärlväxters rötter gör. Rötter kan även ha luftfyllda vävnader där syre kan transporteras ner till rotspetsen, vilket kan driva på nedbrytning av torv. Rötter kan på samma sätt även fungera som transportkanal åt andra hållet, och transportera upp det metan som producerats i syrefri miljö djupt ner i jorden till markytan. En höjd vattennivå medför vattenmättad och därmed syrefri torv närmare ytan där metan kan produceras. Om vattennivån ligger några decimeter under markytan finns en volym syresatt jord där metanoxiderande bakterier i den ytliga marken kan äta upp metanet som sipprar upp och sen andas de ut koldioxid. Kan man få vattnet att stå i marken på en hög jämn nivå kan marken alltså åter bli till en sänka för koldioxid genom torvinlagring, utan att metanutsläppen ökar. Mätningar på 28 platser i Sydsverige på naturliga myrmarker med starrgräs, har visat en stor variation i metanutsläpp, alltifrån upptag till utsläpp: 40 ± 219 kg CH₄ ha⁻¹ år⁻¹. Omräknat till koldioxidekvivalenter innebär detta 1 ± 6 ton CO₂ ha⁻¹ år⁻¹ (Nilsson et al., 2001). Mossar som domineras av vitmossor har ofta lägre metanutsläpp än om kärlväxter dominerar.

Sumpskog och mad (våt ängsmark). Om man inte vill restaurera hela vägen till myrmark kan man anlägga en sumpskog eller en mad. I många fall finns områden nära åar och sjöar som kan göras blötare. Till en sumpskog behöver man välja anpassade trädslag som till exempel al, björk eller sälg som tål att växa på blöt mark. För att det ska bli en klimatvinst måste dock markvattennivån ständigt hållas hög, nästan uppe vid markytan. Minskningen av växthusgasutsläpp kanske inte blir lika stor som vid restaurering till myr, men kan vara ett bättre alternativ än att fortsätta med en djup dränering med höga förluster av växthusgaser.

3.5 Avskogning och beskogning

Som omnämnts ovan har den totala arealen skogsmark i Skåne varit tämligen konstant under de senaste åren (429 600 hektar år 2005 och 428 100 hektar år 2018), men från det kan man inte dra slutsatsen att kolförrådet varit konstant. Viktigt för den totala kolbalansen, förutom de faktorer som vi gått igenom ovan, är också hur stor markyta som avskogats och nybeskogats, eftersom kolutsläpp från avskogning och kolupptag vid nybeskogning sker på olika tidsskalor. När ett område permanent avskogas, till exempel omvandlas till bebyggd mark eller åkermark, förloras kolet i den stående biomassan omedelbart och så även en del av kolet i marken. När ett område beskogas och nyplanteras finns det en fördröjning eftersom det tar tid att binda kol genom trädutväxt. I Skåne är det de tätortsnära skogarna som främst ligger i riskzonen för att försvinna, på grund av tätorternas expansion. Om man vill behålla det kolförråd som finns i dessa skogar är det alltså viktigt att ta speciell hänsyn till detta i den kommunala planeringen.

4: Biokol

Författare: Håkan Wallander, Inger Valeur och Ann-Mari Fransson

Biokol produceras genom pyrolys av växtbiomassa, vilket innebär upphettning av materialet till mellan 350 och 1000 utan syretillförsel. Under processen frigörs brännbara gaser som kan användas för energiutvinning och för att driva processen. Slutprodukten blir ett poröst kolrikt material som är motståndskraftigt mot nedbrytning och har därför framförts som ett sätt att långtidslagra kol för att mildra klimatförändringarna (Roberts et al., 2010; Woolf et al., 2010). Långtidslagring innebär att biokolet används så att huvuddelen av kolet inte frigörs till atmosfären.

Biokol kan användas som jordförbättringsmedel (Jeffery et al., 2011), eller tillförs jorden via gödsel från djur som fått biokol som fodertillsats (Azzi et al., 2019), som tillsats i byggmaterial (Ithaka Institute – Building material¹⁶, som filtermaterial för att rena vatten (Berger, 2012) eller för att stabilisera föroreningar vid jordsanering (Enell et al., 2020).

Globalt uppskattas biokol kunna bidra till en kolsänka på mellan 1000 och 1800 miljoner ton CO₂ per år (Paustian et al., 2016), vilket kan jämföras med ett årligt utsläpp av 38 000 miljoner ton koldioxid genom mänsklig aktivitet under 2019¹⁷. Potentialen för biokolsproduktion i Skåne beror i hög grad på efterfrågan hos produkten, materialtillgång och på konkurrens om materialet från andra användningsområden. Det finns en marknad för biokol i urbana applikationer, och produktionen i Sverige går stadigt upp i takt med att fler anläggningar byggs. En annan eftertraktad produkt från biokolproduktion är koldioxidinbindning-/klimatkompensation som säljs separat vid sidan av själva biokolet. Flera olika bolag har etablerats med detta som affärsidé¹⁸.

4.1 Klimatnytta med biokol

Att beräkna den verkliga klimatnyttan med biokol är komplicerat eftersom den beror av många faktorer. I samtliga livscykelanalyser (LCA) som är gjorda för biokol har man dock funnit en tydlig klimatnytta (Matuščík et al., 2020). Produktion av biokol genererar utsläpp av koldioxid genom hantering och transport av råmaterialet. Dessutom förloras kol från ekosystem där materialet hämtas, till exempel skog eller åker. Det går även åt energi för att torka och värma upp materialet inför pyrolyseringen. Den största vinsten ur klimatsynpunkt är långtidslagringen av kol, men värmeenergin som utvinns vid pyrolyseringen kan också räknas in och används för att

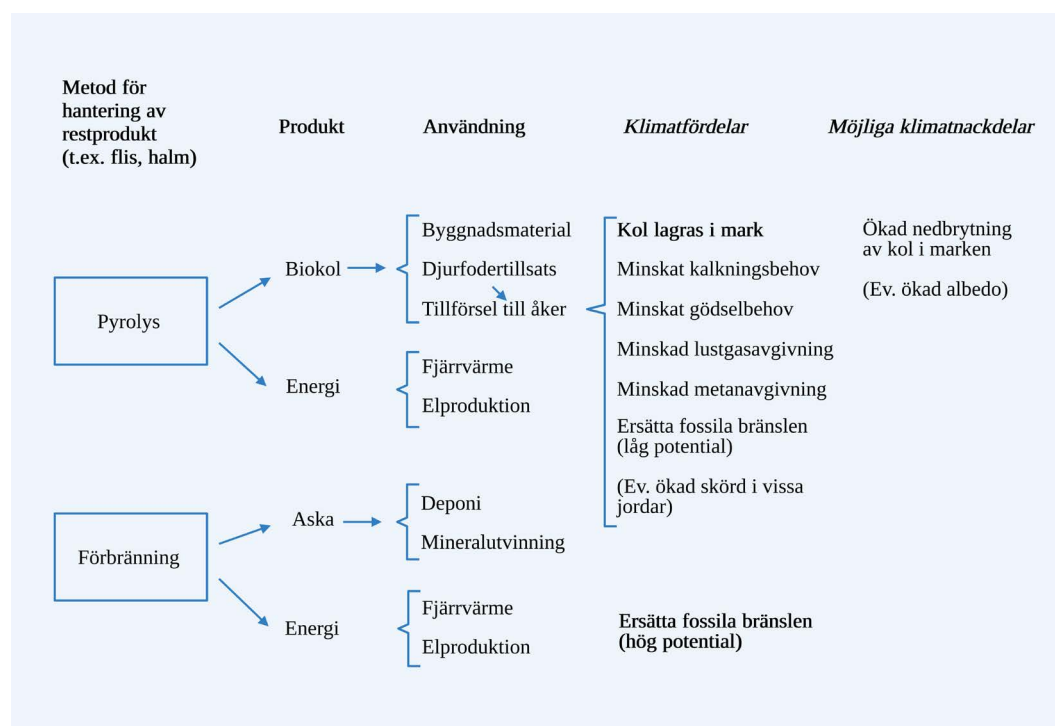
16 www.ithaka-institut.org

17 www.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions

18 Till exempel: Puro, Carbon Future och Ecoera

förvärma råmaterialet och/eller substituera fossila bränslen. Man får också en positiv klimateffekt genom att metan och lustgasavgivning minskar från mark där biokol tillsatts (Borchard et al., 2019; Hu et al., 2014). Den kan även ge minskat albedo när marken blir mörkare och absorberar mer värme, det sistnämnda negativt ur klimatsynpunkt. Det är ofta svårt att jämföra studier och ge ett genomsnittsvärde på hur stort det positiva utfallet blir eftersom man använt olika antagande och många effekter är svåra att beräkna (Matuščík et al., 2020).

Vid en jämförelse av 32 olika publicerade LCA om biokol kom man fram till en kollagring av i genomsnitt 1 ton koldioxidekvivalenter per ton råmaterial (Tisserant & Cherubini, 2019). Siffrorna varierar dock mycket mellan olika studier (0,04 ton-1,67 ton) beroende på vilket råmaterial som använts. I regel gav vedartade råmaterial (energiskog och skogsrester) ett bättre resultat än blötare material som trädgårdsavfall. När det gäller skörderester som till exempel halm, så kan det ge bättre klimatnytta att använda den till bioenergi (-1,35 ton CO₂) som ersätter fossila bränslen än till att göra biokol (-1,06 ton CO₂ per ton halm) (Clare et al., 2014). Positiva och negativa effekter av förbränning respektive biokolstillverkning för klimatet redovisas i Figur 4.1.



Figur 4.1. Klimatfördelar och klimatnackdelar vid pyrolys eller förbränning av restprodukter som till exempel flis och halm.

Störst klimatnytta får man om biokol tillförs i djurhållning som foder- och gödseltillsats eftersom läckaget av , ammoniak och lustgas från gödseln då minskar. Eventuellt minskar även metanemissionen från djuren (Azzi 2019). Att tillföra biokol redan vid djurhållningen blir också enkelt och kostnadseffektivt eftersom gödseln så småningom återförs till marken och extra transporter för att sprida biokolet undviks.

4.2 Hur biokol påverkar markegenskaper och andra ekosystemtjänster

Biokol påverkar markens egenskaper på flera sätt. Materialets porösa struktur gör att vatten hålls kvar bättre i marken (Piccolo et al., 1996), och dess stora yta (Major et al., 2009) ger en hög katjonutbyteskapacitet (Banik et al., 2018) där främst positiva joner kan binda. Tillförsel av biokol till marken kan därför minska läckage av ammoniumkväve och andra näringsämnen som kalium, natrium och magnesium (Major et al., 2009). Den stora ytan och porositeten gör även att mikroorganismer trivs i biokolet, och när mikroorganismernas biomassa ökar så ökar kväveinnehållet (Thies & Rillig, 2009). Med tiden lösgörs de positiva jonerna, till exempel ammonium, från biokolet och blir tillgängligt för växter att ta upp vilket minskar läckaget av kväve till ytvatten. Kvarbliven aska i biokol har en pH-höjande effekt när det tillförs marken. Detta kan ge en positiv tillväxteffekt på sura jordar genom att minska kalkningsbehovet, vilket är positivt ur klimatsynpunkt då tillverkning av kalk genererar stora koldioxidutsläpp. Tillförsel av biokol till skogsmark är mindre lämpligt eftersom organiskt material som ligger ansamlat i markytan riskerar att bli mer lösligt om pH-värdet höjs, dessutom bryts det ner fortare genom så kallad positiv priming, vilket innebär att mikroorganismer i marken blir mer aktiva när de gynnas av biokolet (DeCiucies et al., 2018).

4.2.1 Biokol i urban miljö

Biokol har hög potential att förbättra markegenskaper och därmed gynna ekosystemtjänster i urban miljö. En friskare vegetation med mycket grön biomassa ger alla de producerande ekosystemtjänster som vegetation kan leverera i form av syreproduktion, kolinbindning i biomassan, vattenrening och jordbildning (Nilsson et al., 2010). Vegetationen kan också ge stöd för andra organismer och därigenom gynna en biologisk mångfald av till exempel insekter och fåglar. Städernas grönska är viktiga för luftrening, reglering av mikroklimat, förändrad ljudbild, dagvattenhantering, avloppshantering och har sociala och kulturella funktioner (Bolund & Hunhammar, 1999). Biokol kan få en viktig roll i urbana miljöer eftersom jorden i städer är torr och mer kompakterad än till exempel jordbruksmark. Biokol kan där bidra till en attraktiv och mer resilient urban grönska, vilket ger positiva effekter på människors hälsa och välbefinnande (Grahn & Stigsdotter, 2003; Pálsdóttir et al., 2018). Den skugga och temperatursänkning som friska täta träd kan ge under varma sommardagar kan bokstavligen rädda liv.

När man planterade träd i städerna för 100 år sedan kunde de breda ut sina rötter relativt fritt. Men numera begränsas trädens rötter av den tekniska infrastrukturen och gamla rivningsmassor som ofta finns i marken. Rötter skadas och grävs ofta av när nya ledningar dras, konstruktioner installeras, dränering av byggnader och vägar förbättras. Denna ogästvänliga rotmiljö har lett till svårigheter att ta upp tillräckligt med vatten och näring. Ett sätt att lösa detta problem har blivit att plantera träden i en konstruktion som både är bärande och ger utrymme för rötterna att utvecklas, så kallad skelettjord (Grabosky & Bassuk, 1996). På senare tid har man

med stor framgång använt biokol och kompost i dessa konstruktioner. Nu har detta utvecklats till att innehålla endast makadam, kompost och biokol, så kallat kolmakadam. Detta material används både för att renovera växtbäddar, och vid nyplantering av träd i städer till exempel Helsingborg och Stockholm.



Figur 4.2. Byggmästaregatan i Lund. En konstruktion med gatuträd där biokol används i växtbädden för att hålla kvar och rena vattnet åt träden. Foto: María Ingimarsdóttir

I Stockholm tillförs oftast dagvatten till dessa konstruktioner och de fungerar då som regnbäddar eller så kallade BGG system (Blue-grey-green), vilka används för att reducera, fördröja och rena dagvatten som samlats från olika hårdgjorda ytor i staden. Regnbäddar är trots sitt namn torra miljöer, som endast periodvis översvämmas. För att kunna hantera så mycket vatten som möjligt innehåller de jord som har mycket porer. När systemet är tomt på vatten så riskerar växterna att utsättas för torkstress, så biokol används rutinemässigt i dessa konstruktioner för att ge växterna

en bättre livsmiljö¹⁹. Växterna reducerar näringshalterna i dagvattnet och samtidigt skapar biokolet förutsättningar för att det ska renas även av mikroorganismer som kan bryta ner olika föroreningar (Gwenzi et al., 2017; Ulrich et al., 2017) och reducerar näringsläckaget ytterligare.

Tillförsel av biokol direkt till anläggningsjord eller befintlig jord har även visat sig ge positiva effekter på tillväxten av träd. Tillväxteffekten i urban jord kan vara upp till 15 procent jämfört med en kontroll²⁰, detta när 10-15 volymprocent biokol har blandats in i jorden.

Biokol används också vid anläggningar av gröna tak i stadsmiljö. Nordens största leverantör av sedummattor för gröna tak har sedan en tid infört biokol i sin produktion. I en nyanlagd stadsdel i Helsingfors, som planerats för hållbar dagvattenhantering och gröna områden mellan bostadshusen, beräknades en potential att binda kol i form av biokol till 340 kg kol per invånare under en 50 årsperiod (Ariiluoma et al., 2021). Beräkningarna baserades på en inblandning av 15 volymprocent biokol i yttjorden i grönområden mellan bostadshusen samt vid anläggning av gröna tak (Tabell 4.1).

Tabell 4.1. Åtgång av biokol i urbana naturbaserade lösningar.

Tillämpning	Halt biokol volym %	Mängd biokol m ³ /m ²	Per träd/regnbädd m ³
Kolmakadam	12,5	0,15	1,5-3,75
Parkträd	10-15	0,15	1,5-3,75
Regnbäddar	10	0,15	3
Gröna tak	10	0,003-0,01	-

4.2.2 Biokol inom jordbruket

Biokolets påverkan på skördeutbytet för olika grödor i olika delar av världen har sammanställts i ett stort antal översiktsartiklar (Jeffery et al., 2017; Jeffery et al., 2011; Liu et al., 2014). I tropiska och subtropiska områden kan skördeökningarna vara stora (Jeffery et al., 2017; Kätterer et al., 2019), speciellt i jordar med lågt pH-värde och låg organisk halt eftersom dessa har dålig vatten- och näringshållande förmåga. I tempererade områden är en eventuell skördeökning svår att bestämma och brukar därför inte tas med som bidragande faktor till klimatnytta i livscykelanalyser. Kunskapsläget om effekter av biokolstillförsel på skördeutbyte i Skåne och i Sverige är begränsat, och mer forskning behövs (SOU, 2020:4).

Biokol kan däremot minska risker med kväveutlakning i tempererade områden. Lämpliga jordbruksmarker kan vara de med låg markfuktighet, det vill säga sandig mark med låg organisk halt, samt ett lågt pH-värde. I Skåne finns 148 000 hektar

¹⁹ <https://bluegreengrey.edges.se/>

²⁰ <https://biokol.org/publikationer/pdf/biokolhandboken>

jordbruksmark som uppfyller dessa kriterier och där antas biokol kunna göra nytta för att förhindra kväveläckage (Osslund, 2020). Ett lämpligt sätt att tillföra biokol till åkermark är att blanda den med stallgödsel. Då behöver inte lantbrukaren köra på åkern en extra gång eller bearbeta marken i onödan. Enligt ovannämnda uppskattning, kan cirka 140 000 ton biokol tillföras per år till mark i Skåne (Osslund, 2020), om max 20 ton per hektar tillförs över en 20-årsperiod.

4.3 Certifiering och tillverkning av biokol

European Biochar Foundation²¹ har tagit fram en europeisk certifiering för biokol för att säkerställa att produkten har tillräckligt hög kvalitet som kolsänka (bland annat specificerad kolhalt och hög stabilitet i marken) samt att klimatnyttan är säkerställd. Biokolet ska dessutom ha en låg föroreningsgrad, det vill säga ligga under gränsvärde för tungmetaller och PAH, samt vara tillverkat på ett energieffektivt sätt. Biokolet får inte användas till förbränning utan måste lagras, dessutom ska spillvärme från processen tas tillvara. Certifieringen är uppdelad i olika kategorier beroende av hur och var biokolet ska användas. Störst krav gäller om det ska användas som fodertillsats till boskap. Minst krav gäller om biokolet används som tillsats i byggnadsmaterial. För EBC-certifierat biokol som ska säljas på den svenska marknaden gäller även krav enligt ”European Biochar Certificate - svensk bilaga”. Den svenska bilagan har ett gränsvärde för bly på 100 mg Pb per Kg TS, ett gränsvärde för kadmium på 1 mg Cd per Kg TS. Enligt EBC definieras biokol som förkolnad växtbaserad biomassa och en lista på tillåtna utgångsmaterial finns tillgänglig hos European Biochar²².

Alla nya såväl som gamla tekniker för koltillverkning går ut på att konstruera en hård/ugn där luft/syre inte släpps in till det upphettade organiska materialet. Värmen får de flyktiga ämnena i materialet att bli till en energirik gas, pyrolysgas. Den flyktiga gasen består av vattenånga, kolmonoxid, metan och andra lättare kolväten. I moderna pyrolysanläggningar tas energin i pyrolysgaserna och spillvärmerna tillvara. Av den energimängd som finns i råmaterialet, övergår 35 till 60 procent till pyrolysgaser, och för ett certifierat biokol.

Äldre tekniker som till exempel koltillverkning i en kolmila, är inte godkända för tillverkning av certifierat biokol eftersom pyrolysgaserna förbränns inne i ugnen/milan tillsammans med kolet. Då fastläggs en del ämnen från pyrolysgasen i kolets många små porer som miljöfarliga polycykliska kolväten (PAH er) (Basu, 2013). Ett biokol som tillverkas i hög temperatur och under lång tid blir jämförelsevis rent, har hög kolhalt och är beständigt för nedbrytning, men utbytet av kol blir mindre än om det tillverkas vid lägre temperaturer eftersom mer kol avgår under processen (Enell et al., 2020; Norberg, 2019). Om biokolet tillverkas vid en lägre temperatur än 600 grader C kommer det att fungera bra som jordförbättring eftersom förmågan att hålla kvar växtnäring blir hög. För att optimera den vattenhållande förmågan bör temperaturen

21 <https://www.european-biochar.org/>

22 https://www.european-biochar.org

vara mellan 400 och 600 C vilket ger porer i lagom storlek. Vid pyrolys i hög temperatur blir porstorleken i kolet mindre och kan till och med bli så små att vattnet som finns där inte är tillgängligt för växter. Dessutom kommer ett biokol tillverkat vid hög temperatur bli mer hydrofobt, vilket minskar biokolets vattenhållande förmåga

4.4 Råmaterial för biokol i Skåne

En uppskattning av mängden tillgängligt råmaterial för tillverkning av biokol i Skåne, samt fördelar och nackdelar för dessa, har sammanställts på uppdrag av NSR (Sippel, 2019). En sammanställning av ett urval av dessa data, samt vissa egna beräkningar finns redovisade i tabell 5.5. Nedan diskuteras de råmaterial som har störst potential för biokolstillverkning i Skåne i mer detalj, nämligen jordbruksrester, skogsrester och park- och trädgårdsavfall samt tång. Vi tar även upp avloppsslam även om pyrolyserat slam för närvarande inte klassificeras som biokol. En översikt över pyrolysanläggningar i Sverige uppdateras kontinuerligt på biochar map, nordic biochar network²³. Idag (2022) är Skånefrö AB Sveriges största producent av biokol i Skåne med en produktion av 1500 ton per år.

4.4.1 Jordbruksrester

Den största delen av halmen som produceras på Skånes åkrar lämnas kvar och hackas ner i marken för att öka mullhalten, men stora delar används även till strö för djur, grovfoder till framför allt hästar samt som täckmaterial för grönsaksodling och sockerbetor²⁴. Halm och rapsstrå som lämnas kvar på åkern är en viktig födokälla för markdjur, till exempel daggmaskar, och bidrar till en ökad mullhalt, men en stor del av halmen bryts ner, vilket innebär att kolet återgår till atmosfären i form av koldioxid (Mattsson, 2010; Ingrid Kaag Thomsen & Bent Tolstrup Christensen, 2004). Om man i stället tillverkar biokol skulle enligt en beräkning av (Thers et al., 2019) biokolstillverkning av rapsstrå kunna binda motsvarande 500 Kg koldioxidekvivalenter i marken per 1000 Kg torkat rapsfrö.

Halm används även som bränsle, både på gårdarna och i kraftvärmeverk. Om man i stället skulle tillverka biokol av halmen skulle en större mängd kol kunna lagras i marken. Men man skulle samtidigt få en mindre substitutionseffekt genom att halmförbränningen ersätter förbränning av fossila bränslen. Den bästa strategin ur klimatsynpunkt beror därför på hur stor substitutionseffekten blir på kolbaserad energi i samhället (Azzi et al., 2019).

Frörens kan användas för tillverkning av biokol med hög stabilitet och goda odlingsegenskaper. Om biokolframställningen samlokaliseras med produktion av till exempel utsäde, vilket till viss del sker redan idag, tillkommer inte någon extra kostnad för insamlingen av restprodukten. Även skörderester från majs skulle kunna använ-

23 <https://www.nordicbiochar.org/about-us/map/>

24 (hushållningssällskapet Skåne A Adholm personlig kommunikation)

das till biokol, medan många andra restprodukter, som till exempel sockerbetsblast, är mindre lämpliga eftersom torrsubstanshalten är låg. Många av dessa våta material passar bättre för utvinning av biogas (Björnsson et al., 2011).

4.4.2 Rester från skogsbruket

Restprodukter som grenar och toppar (årlig produktion i Skåne cirka 200 000 ton, tabell 5.5) från skogsavverkningar kan utgöra ett lämpligt material för biokolstillverkning i Skåne. I Finland har man använt biokol från skogsrester på åkermark vilket har lett till ökad kolinlagring i ytjorden. Där tillfördes 30 ton per hektar, och efter ett och ett halvt år återfanns 80 procent av kolet i de översta 45 cm av jordlagret (Soenne et al., 2020). LCA analysen från Stockholm som diskuterats ovan (Azzi et al., 2019) baseras på en årlig pyrolysning av 250 000 ton träflis från avverkningsrester från skogen vilket beräknades ge mellan 52 000 och 87 000 ton biokol. Det finns en hög kontinuerlig tillgång av skogsrester i Skåne och materialet är utmärkt för biokolstillverkning på grund av hög kolhalt och låg fukthalt. Samtidigt råder det stor konkurrens om materialet och marknadsvärdet är högt. Idag utgör till exempel skogsrester den dominerande bränsleråvaran för Örtofta kraftvärmeverk, och sannolikheten för att det ska finnas material tillgängligt för biokolstillverkning bedöms vara låg i nuläget. Detta kan ändras i framtiden när kraftproduktionen bli mindre kolbaserad (Azzi et al., 2019).



Figur 4.3. Träpellets före och efter pyrolys vid tillverkning av biokol. Foto: Lina Pettersson

Andra restprodukter från virkesproduktionen och massaindustrin, till exempel bark, som idag förbränns och levererar fjärrvärme kan även de i framtiden ställas om till pyrolys när kolinlagringen behöver öka ytterligare. Även returträ skulle kunna bli

aktuellt för biokolstillverkning. En annan möjlig restprodukt från skogssektorn är slam från vattenrening i pappers- och massaindustrin. I en IVL rapport (Ek & Westling, 2003) beräknades en total slammängd av 716 000 ton i Sverige varav huvuddelen förbränns (52 procent), 18 procent används som jordförbättringsmedel och 26 procent deponeras. Deponering är dock inte tillåten idag så denna del används numera på annat sätt. För biokolstillverkning är så kallat fiberslam lämpligast och den årliga produktionen för år 2000 var 316 000 ton i Sverige (Ek & Westling, 2003). I Skåne är den enda industri som kan bli aktuell för denna råvara Nymöllaverket (Stora Enso) som har en årlig kapacitet: 340 000 ton (massa) och 475 000 ton (papper). Troligen kommer dock fiberslam från Nymöllaverket inte kunna bli aktuellt för biokolstillverkning eftersom en biogasanläggning har samlokaliseras med Nymölla bruk och denna kommer att använda fabriken spillvatten som råvara.

4.4.3 Park och trädgårdsavfall

Park och trädgårdsavfall från återvinningscentraler och villakärl (Lund och Malmö) används idag till bränsle och kompostering. I Sverige generellt komposteras 74 procent av materialet medan 26 procent användes till bränsle (Linné et al., 2008). I Lund är sorteringen noggrannare än på andra ställen och endast 61 procent går till kompostering (Bengtsson, 2012). Här krossas materialet och fraktioneras sedan i fyra olika storleksfraktioner. Den största fraktionen >40 mm är huvudsakligen vedartad och säljs till värmeverk. De övriga fraktionerna har för höga askhalter för att vara lämpliga som fastbränsle och används i stället för kompostering. Fastbränslet har ett högre marknadsvärde medan kompostmaterialet används lokalt i kommunen eller förädlas till kompostjord.

Alla fraktionerna från park och trädgårdsavfall skulle kunna användas för biokolstillverkning men de torrare vedartade fraktionerna är lämpligast (Paulsson et al., 2015). Kvaliteten på materialet varierar eftersom inblandning av föroreningar som jord förekommer vilket försvårar biokolstillverkningen. Satsvis pyrolysering kan då behöva användas i stället för kontinuerliga system. Det finns dock exempel på fungerande kontinuerligt system för att pyrolysera park- och trädgårdsavfall från stockholmsregionen²⁵, och ytterligare planer på uppstart av anläggningar för att pyrolysera park och trädgårdsavfall i en satsvis panna²⁶. Pyrolysis av park och trädgårdsavfall har alltså bedömts som ett lämpligt material för produktion i stor skala av flera aktörer. I dagsläget används parkavfall i Skåne främst för energiutvinning och kompostering. För den grova andelen (grenar och dylikt), som utgör cirka 47 000 ton per år i Skåne, skulle biokolstillverkning kunna vara ett bättre alternativ (Tabell 5.5). Idag används biokol från flera olika källor, inklusive importerat biokol, vid stadsplanteringar, men detta biokol kunde alltså produceras av lokalt råmaterial. Det finns en stor tillgång av blötare material som gräs och löv i Skåne (140 000 ton) men detta passar bättre till kompostering eller för rötning till biogas på grund av låg torrsvikt och hög inblandning av jord.

25 Högdalens biokolsanläggning (Biokol | Stockholm Vatten och Avfall)

26 Telge energi i Södertälje, samt NSR i Helsingborg

4.4.4 Tång

Ilandfluten tång samlas regelbundet upp längs Skånes kuster för att göra sandstränderna attraktivare under sommarmånaderna. Tången återförs vanligtvis till havet under hösten. Om tången i stället används som resurs för biokolstillverkning skulle detta bidra till en ökad kolsänka, samtidigt som näringsämnen som fosfor flyttas från Östersjön och Öresund till åkermarken. Enligt Trelleborgs kommun är pyrolysning av tång ett bättre alternativ än att tillverka biogas²⁷. Den totala tillgången på tång i Skåne har beräknats till 80 000 ton per år (Tabell 5.5). En stor mängd sand kommer dock med vilket ger en relativt låg kolhalt i biokolet. En ytterligare utmaning är att biokolet får hög salthalt vilket kan ge problem om alltför stora mängder återförs till jord.

4.4.5 Avloppsslam

Avloppsslam utgör en restprodukt som har föroreningar i form av tungmetaller, läkemedelsrester och mikroplast. Slammet kan spridas på jordbruksmark för att återföra fosfor och kväve, men denna verksamhet behöver fasas ut i framtiden för att minska risken för att gifter ansamlas i kretsloppet (SOU, 2020:3). Utredningen om hållbar slamhantering kom därför fram till två förslag på hur slammet ska hanteras i framtiden på jordbruksmark: 1) totalförbud på återföring av slam till jordbruksmark, eller 2) undantag för hygieniserat och kvalitetssäkrat slam.

Pyrolysning av avloppsslam kan göras på ett sätt så att den hygieniseras samt så att föroreningar som kadmium, läkemedelsrester och mikroplaster försvinner. Det är dock osäkert hur tillgänglig fosfor blir för grödorna. Högre temperatur ger bättre avskiljning av kadmium men sämre tillgänglighet av fosfor. Utredningen Hållbar slamhantering (SOU, 2020:3) anser därför inte att teknologin är färdigutvecklad för att garantera den funktionalitet och giftfrihet som krävs för en hållbar slamhantering i framtiden.

4.4.6 Andra material

Tillgången på hästgödsel är hög i många delar av Skåne, men i regel är det lämpligare att återföra gödsel direkt till åkern, alternativt använda den för rötning till biogas, hellre än att tillverka biokol. Biokolstillverkning medför kväveförluster och kvävefattiga råmaterial bör därför användas i första hand. Om hästgödseln inte anses göra tillräckligt stor nytta på åkern på grund av för låg kvävehalt kan det i vissa fall vara motiverat att tillverka biokol av den.

27 <https://www.trelleborg.se/bygga-bo-miljo/samhallsutveckling-och-hallbarhet/klimat-miljo-och-hallbarhet/tang-i-trelleborg/>

5: Utmaningar och möjligheter

Författare: Katarina Hedlund, Marianne Hall, Peter Olsson, Ullrika Sahlin, María Ingimarsdóttir, Åsa Kasimir, Giuliana Zanchi, Håkan Wallander, Inger Valeur, Ann-Mari Fransson

För att åstadkomma en förändring i markanvändning som ger både mer kollagring och en långsiktig hållbar utveckling av markanvändningen behövs information, styrmedel och riktade åtgärder. I rapporten har vi redogjort för vetenskapligt utvärderade förslag på hur man kan öka kollagring i mark och vegetation genom en rad åtgärder och odlingsmetoder. Vi har också sammanställt klimatnyttan med biokol. För att dra vidare slutsatser om potentialen i hur detta kan bidra till en positiv kollagring och nå klimatmål såväl som andra miljömål så behövs uppskattningar av hur mycket av kolet i kretsloppet som kan bindas i mark och vegetation med hjälp av dessa åtgärder. Här sammanfattas fakta från de tidigare kapitlen i form av strategier och utmaningar för varje markanvändning. Vidare har vi med hjälp av några enkla modellverktyg tagit fram potentialer för kolinlagring i Skåne. Dessa är tänkta att ge information för en reflektion över beslut om markanvändning snarare än exakta beräkningar av kollagring.

5.1 Strategier för en klimatpositiv framtid

5.1.1 Regional nivå

På regional nivå finns ett flertal strategier som bidrar till en klimatpositiv framtid. Alla arbetar för att lösa olika delar av de utmaningar och problem som finns, och vi har inte utvärderat eventuella synergier eller målkonflikter mellan dessa strategier i den här rapporten.

De regionala miljömålen för Skåne definierar detaljerade mål som bidrar till uppfyllelsen av klimatmål. Miljömålen finns beskrivna i ett regionalt åtgärdsprogram för miljömålen 2021-2025 (Länsstyrelsen-Skåne, 2021) och har använts för att identifiera prioriterade områden för det regionala miljöarbetet. Miljömålen är nu även kopplade till målen för Agenda 2030 vilket ska ge möjligheter till ett brett hållbarhetsfokus. Den regionala strategin har inom de prioriterade områdena definierat strategiska program och åtgärder om hur till exempel markanvändning inom jord och skogsbruk kan klimatanpassas. Detta kan ske med hjälp av naturbaserade lösningar, som till exempel hur våtmarker kan återskapas, och strategin anger vilka aktörer som ansvarar för arbetet inom regionen.

Åtgärdsprogrammet lyfter fram fyra prioriterade områden till år 2025:

- ⇒ Hållbara städer och samhällen
- ⇒ Hållbar mark- och vattenanvändning
- ⇒ Hållbar livsmedelsförsörjning
- ⇒ Hållbar konsumtion och produktion.

En *klimat- och energistrategi för Skåne*, har tagits fram av Länsstyrelsen Skåne, Region Skåne och Kommunförbundet Skåne inom ramen för Klimatsamverkan Skåne. Strategin ”Ett klimat neutralt och fossilbränslefritt Skåne” beslutades i juni 2018 och innehåller regionala klimatmål. Strategin ska ge vägledning för det fortsatta klimat- och energiarbetet i regionen och innehåller regionala målsättningar och prioriterade områden med åtgärder för resurseffektivisering, energiomställning och minskad klimatpåverkan fram till år 2030.

Klimatmål för Skåne till år 2030:

- ⇒ Utsläppen av växthusgaser i Skåne ska vara minst 80 procent lägre än år 1990.
- ⇒ Utsläppen av växthusgaser från konsumtion i Skåne ska vara högst 5 ton koldioxidekvivalenter per person och år.
- ⇒ Energianvändningen i Skåne ska vara minst 20 procent lägre än år 2005 och utgöras av minst 80 procent förnybar energi.
- ⇒ Andelen resor som görs med cykel eller gång ska vara minst 30 procent och andelen resor som görs med kollektivtrafik ska vara minst 28 procent av det totala antalet resor i Skåne.
- ⇒ Utsläppen av växthusgaser från transporter i Skåne ska vara minst 70 procent lägre än år 2010.

5.1.2 Internationella strategier för en klimatpositiv framtid

Inom EU beslutades under 2021 en gemensam klimatlag (2021/1119/EU) som omvandlar den europeiska gröna given (the European Green Deal) politiska åtagande om att EU ska uppnå klimatneutralitet senast 2050 till en bindande skyldighet (COM/2019/640final). EU:s tidigare mål om att minska utsläppen av växthusgaser med 40 procent skärps till att utsläppen ska minska med 55 procent till 2030. Medan EU:s klimatpolitiska ramverk ursprungligen uteslöt markanvändningssektorn ur de klimatpolitiska åtagandena, ingår numer även denna sektor i de klimatpolitiska skyldigheterna, och en rad exempel på åtgärder för kolinlagring finns angivna i den gröna given.

EU:s långsiktiga klimatstrategi föreskriver ett mål om att uppnå netto-nollutsläpp av växthusgaser till 2050 (COM/2018/773). Även i det globala klimatavtalet från

Paris 2015 fastställs tillsammans med 1,5 graders-målet ett globalt mål om netto-nollutsläpp, men först under andra hälften av seklet (Prop/2016/17:16). EU:s uppdaterade klimatmål under den nya klimatlagen innebär även en uppdatering av EU:s gemensamma åtaganden under Parisavtalet. I en rapport från IPCC sammanställs kunskapsläget om möjliga vägar för att nå Parisavtalets 1,5 gradersmål (IPCC, 2018). I många av de scenarier som illustrerar möjliga vägar framåt stiger initialt den atmosfäriska koncentrationen av växthusgaser så mycket att det krävs inte bara netto noll-utsläpp för att nå temperaturmålet, utan även netto-negativa utsläpp där mer kol tas upp av det globala systemet, det vill säga hav, landekosystem och teknosfär, än vad som släpps ut.

5.2 Potential för klimatpositiva kretslopp vid en hållbar markanvändning i Skåne

Hur stor är då potentialen ökad kolinlagring i Skåne, för samtliga adresserade markanvändningstyper: skog, åkermark, betes- och gräsmark, våtmark samt biokol i urbana miljöer? Vi redogör nedan för några exempel där det går att uppskatta framtida kollagring, utan att ändra markanvändningen från till exempel jordbruk till skogsbruk.

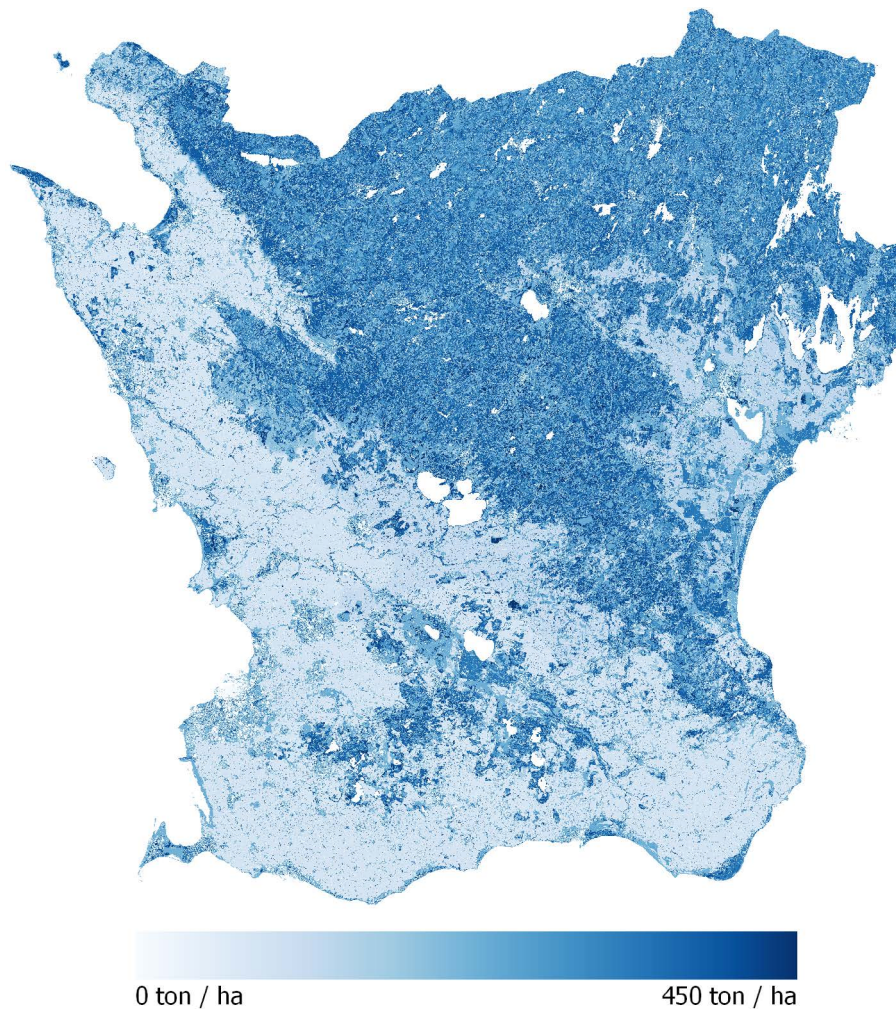
5.2.1 Kollagring i Skåne idag och i framtiden

Med nuvarande markanvändning i Skåne har vi med hjälp av data om marktäckning, biomassa av växtlighet, jordmån och kollagring i mark, beräknat mängden kol lagrat i växtbiomassa och organiskt material i marken. Detta har gjorts med hjälp av en modell, The InVEST Carbon Storage and Sequestration model (Nelson et al., 2009) som gör en kartbaserad uppskattning och ger kartbaserade underlag för mängden kol för varje markanvändning. Modellen kan även används för framtida projektioner av kollagring. Med hjälp av modellen och data om kol och markanvändning i Skåne²⁸, har vi uppskattat kollagring i och ovan markytan i olika typer av skogsmarker, åkermark, betesmarker, samt våtmarker och presenterat resultaten som kartor. Dessa kartor och data kan användas för en uppskattning över var och hur vi lagrar kol i Skåne, samt var det finns mest potential för att kunna genomföra förändringar. Kartorna är

28 Data från följande källor har använts som underlag till modellen: Bergqvist, E. (2018). Skogsliga siffror för Skåne 2018. <https://www.skansksskogsstrategi.se/wp-content/uploads/2021/03/Skanska-skogliga-siffror-2018.pdf> om skogsbestånd, EEA. (2022). Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems : a lever for nature restoration? <https://data.europa.eu/doi/10.2800/742383> kollagringsdata, Hiederer, R., & Köchy, M. (2012). Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database EUR 25225 EN – EUR Scientific and Technical Research series. -kollagring i mark, Naturvårdsverket. (2019). Nationella marktäckedata. <https://www.naturvardsverket.se/verktyg-och-tjanster/kartor-och-karttjanster/nationella-marktackedata-markanvandringsdata>, Jordbruksverkets integrerade administrations- och kontrollsystem- data om vilka grödor som odlades under 2016 till 2020 samt jordartsdata från SGU (2013).

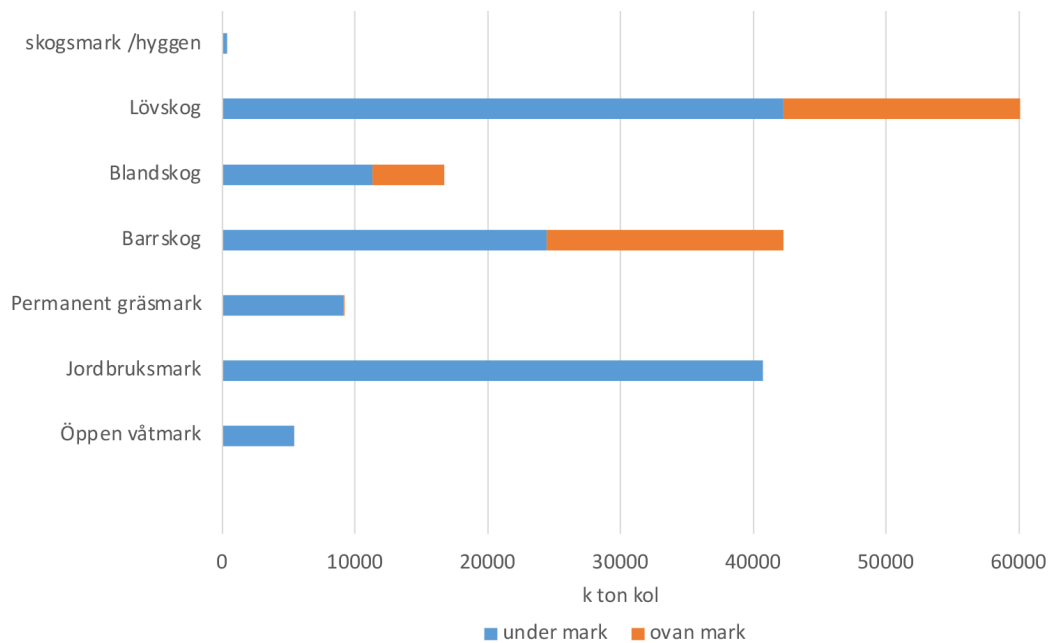
översiktliga uppskattningar av kolmängder då det inte finns detaljerade data för att göra kartbaserade uppskattningar med hög upplösning.

InVEST modellen beräknar dagens kollager i Skåne till totalt 232 Mton. Störst mängd kol finns lagrat i Skånes skogs- och mellanbygd (se Figur 5.1).



Figur 5.1. Karta över kollager i både vegetation och mark i Skåne (ton/ha) idag.

Det mesta kolet finns lagrat i marken, men i skogen finns även en hög kollagring i träd (se Figur 5.2). Den sammanlagda lagrade kolmängden i skogsmark, träd och deras rötter är större än kollagret i jordbruksmarken. Resultaten från modelleringen visar att om vi inte gör några förändringar i nuvarande jordbruks- och skogsbruksmetoder så kommer det totalt sett att försvinna kol från ekosystemen (se Figur 5.3). För att kunna behålla det lagrade kolet vi har idag måste därför åtgärder utföras. Inom jordbruket, där vi idag har mindre mängd inlagrat kol än i skogen, försvinner med nuvarande odlingsmetoder upp till cirka 0,5 procent av vårt kolförråd per år (Brady et al., 2015).

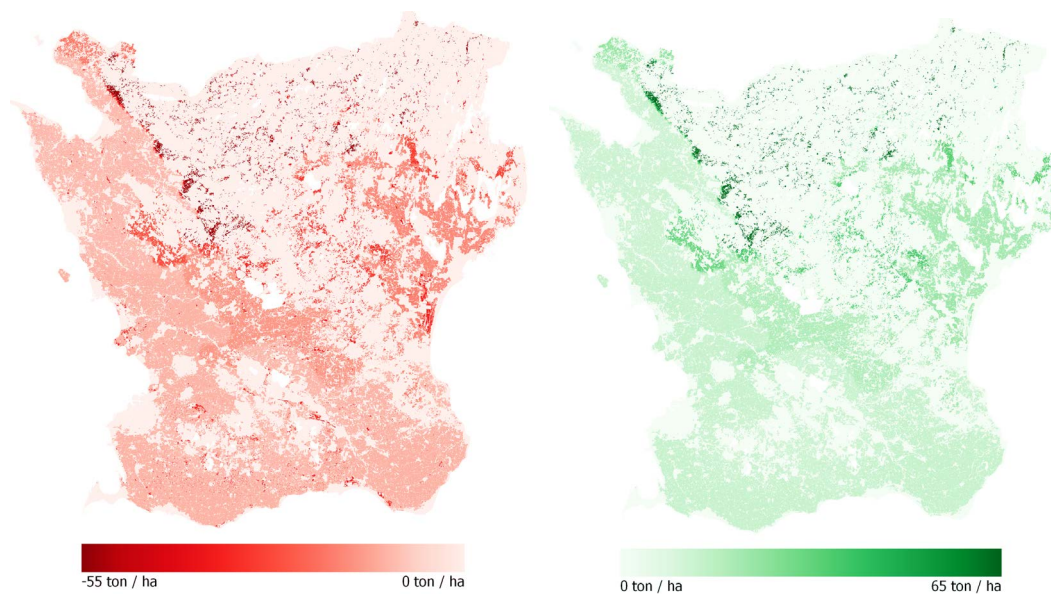


Figur 5.2. Totalt kollager (k ton kol) i varje markanvändningstyp i Skåne uppdelat ovan och under markytan.

Potentialen för att öka kollagring i skogs- eller åkermark innebär som redogjorts för tidigare följande möjligheter:

- ⇒ Ökad kollagring i jordbruksmark genom att använda flera olika brukningsmetoder där markytan hålls täckt med vegetation, en reducerad markbearbetning, samt tillförsel av skörderester med mera till marken.
- ⇒ Ökad kolinlagring i skog kan ske genom att sköta skogen för bevarad eller ökad tillväxt av biomassa, och motståndskraft från skador, samt att inte ta rötter och annat material från skogen
- ⇒ Återställa dikad tidigare våtmark genom återvätning, både på jordbruksmark och i skogsmark

Med hjälp av de åtgärder som kan öka kolhalten i *åkermark* (se kapitel 2) har vi nedan modellerat hur mycket kol som kan lagras under 30 år. Resultatet blev en årlig ökning av cirka 0,5 procent relativt kolinnehållet idag i åkermark, vilket visas på kartan nedan (Figur 5.3). Skogsmarken är ej förändrad i simuleringarna då vi i dagsläget saknas rimliga data över var det går att öka tillväxt. Modelleringen ger en ökad kolmängd i åkermark i Skåne om 30 år med 6,5 miljoner ton. Om vi inte genomför åtgärder och fortsätter med dagens brukningsmetoder kommer nuvarande kollager i stället att minska med nästan samma mängder på samma områden. Kartan till vänster i Figur 5.4 visar var och hur mycket kol vi kommer att förlora om vi fortsätter att bruka jordbruksmark och skogsmark som vi gör nu. Den högra kartan visar vad vi kan vinna i kollagring genom att hålla åkrar bevuxna, minska jordbearbetning, tillföra mer organiskt material och återvåta våtmarker.



Figur 5.3. Förändring i kollagring i Skåne om 30 år. Den vänstra kartan visar förluster av kol i åkermark vid fortsatt markanvändning som idag. Kartan till höger visar potential för kollagring i åkermark med hjälp av förändrade brukningsmetoder.

I *skogsmark* gäller att vi har en god kollagring som kan ökas marginellt med mer extensiva skötselmetoder, ökad ståndortsanpassning, men framför allt kan man undvika förluster av kol från utdikade torvmarker, och genom att hela tiden ha växande skog på markerna.

5.3 Utmaningar för att nå klimat och miljömål

För att kunna genomföra åtgärder som ökar kollagring krävs inte bara kunskap om vad dessa åtgärder teoretiskt sett kan åstadkomma, utan även hur dessa åtgärder kan uppmärksammas, upptas och genomföras. Vi har här nedan identifierat några utmaningar och sammanfattat möjligheterna till förändring som kommit fram under arbetet med rapporten.

5.3.1 Utmaning – ”öka kolinlagring i åkermark”

I Skåne finns en betydande potential att öka kolinlagring i jordbruksmark som idag används till växtodling, med i genomsnitt 0,21 Mton kol per år. Potentialen för att öka kollagring i *växtbiomassan* på åkermark är inte så stor vid en fortsatt mat- och foderproduktion, utan det är lagring av kol i marken som har störst potential. Idag finns betydande mängder kol i betesmarker och vallar, och det är viktigt att inte förändra markanvändning så att dessa i stället odlas med ettåriga grödor, vilket skulle medföra att lagrat kol förloras.

Tabell 5.1. Åtgärder och möjligheter för kollagring i åkermark inom Skåne, data från SCB 2018–2019, och uppgifter om halm från 2012.

Odlingsmetod	Upptag hos lantbrukare (per odlingsyta)	Kostnad (-) / Nytt (+)	Utmaning
Reducerad markbearbetning	Höstspannmål: 73 % Vårgrödor -havre: 30 % vårkorn: 26 %	Minskar dieselkostnader (+)	Öka upptag vid odling av vårgrödor
Tillförsel av organisk gödsel	Organisk gödsel: 48 %	Transportkostnad för växtodlings-gårdar (-)	Brist på organisk gödning/ potentiellt näringsläckage
Skörderester	Halm återförs 50 % Halm bortförs 46 %	Internt bruk av halm (+)	Framtida konkurrens om bioenergi
Växtföljder med ärtväxter eller fleråriga växter	Vall i växtföljd: 14 % Ärtväxter: 2 %	Minskad inkomst för växtodlings-gård (-)	Öka inslag av vall på växtodlingsgårdar
Mellan- och fångstgrödor ²⁹	Fångstgrödor bidrag 5 % Mellangrödor – data saknas	Investeringar i maskiner för sådd (-), kostnader för utsäde (-)	Öka inslag av mellangrödor, nya styrmedel finns från 2023
Extensiv odling av organogen odlingsmark	20 % har idag gräsmark eller vall	Omställning från odling av t.ex. potatis, morötter till vall/gräsmark (-)	Styrmedel för omställning till extensiv odling

Vi har identifierat några odlingsmetoder som är vetenskapligt belagda och kan öka kolinlagring i marken (Tabell 5.1). Vilka åtgärder som används beror inte bara på om de lagrar mer kol eller ej, utan är också beroende av kostnader och praktiska möjligheter att kunna genomföra dessa odlingsmetoder. I vissa fall, som till exempel vid reducerad plöjning, så minskar dieselåtgången betydligt jämfört med plöjning och kostnader för bränsle reduceras. För att öka användningen av olika odlingsmetoder så finns idag styrmedel via CAP och det svenska landsbygdsprogrammet, som från och med 2023 introducerar bidrag för metoder som främjar kolinlagring som till exempel mellangrödor i växtodlingssystem.

Det krävs många åtgärder för att öka kollagring i jordbruksmark. Flera av åtgärderna har redan ett stort upptag hos lantbrukarna, medan andra metoder har en hög potential att öka i upptag. Detta gäller till exempel användning av mellangrödor, samt växtföljder som gynnar kolinlagring. Användning av stallgödsel för framställning av biogas har enligt Energimyndigheten (2019) minskat under senare år. Stallgödseln kan återföras till åkermarken i form av biogödsel/rötrest, men har då förlorat en stor del av kolinnehållet vid biogasproduktionen.

Utmaningen är att samtidigt som vi vill skapa kollagring i marken vill vi även ha produktion av en rad andra ekosystemtjänster. Dessa kan i vissa fall gynnas av åtgärder för att öka kolhalten i marken, som till exempel skörd och motstånd mot torka och översvämningar, och även skydd av biologisk mångfald. I ett framtida klimat med extrema vädersituationer kan nyttan av kollagring alltså bli ännu större. Mer kunskap behövs dock om hur åtgärder för ökad kollagring påverkar lantbrukarnas ekonomi i olika odlingssystem inom jordbruket, samt miljö- och climateffekter av detta.

5.3.2 Utmaning – ” öka kolinlagring i skog”

Skogarna i Skåne är högproduktiva och boniteten är mer än dubbelt så hög som det nationella genomsnittet: 11,4 skogskubikmeter per hektar och år ($m^3sk\ ha^{-1}\ år^{-1}$) jämfört med 5,5 $m^3sk\ ha^{-1}\ år^{-1}$. Det uppskattas att kolförrådet i trädens biomassa inklusive rötter i Skåne uppgår till 26 miljoner ton kol som motsvarar 60 ton kol per hektar (SLU, 2020). Den största delen av kolinnehållet finns dock i marken vilket motsvarar 97 ton kol/ha länet (SLU, 2017). För att öka kolinlagring krävs då insatser som både ökar biomassan av träd/rötter samt det kol som finns lagrat i marken. Att bara öka trädbiomassan på bekostnad av kolet i marken är därför inte någon klimatpositiv strategi.

Förluster av kol från skogsmark sker, förutom som trädråvara, främst i form av växthusgaser från dikad torvmark och skogen kan där bli en nettokälla för växthusgaser som släpps ut i atmosfären (Meyer et al., 2013). I Skåne finns cirka 45 000 ha skogsmark på torvmark enligt kartanalysen i avsnitt 5.2, varav cirka 64 procent av all torvmark anses vara dränerade (SGU, 2006).

Möjligheter att öka kolinlagring i skog och skogsmark är som tidigare i rapporten angivits: tillväxtfrämjande åtgärder, ökning av andel skyddade skogsområden, mer extensiva skötselmetoder, ändrad markanvändning av skogsmark på dikad torvmark, förhindra förluster av skogsmark till annan markanvändning. Det finns flera utmaningar och intressekonflikter vid genomförande av vissa de förslag som nämns här, till exempel att ståndortsanpassning med ökad andel ädellöv ger större motståndskraft mot vissa störningar, men att det tar lång tid för ädellöv att bli en mogen skog (Tabell 5.2). Andra åtgärder kan även öka produktion som till exempel ståndortsanpassning vilket innebär att val av trädslag baseras på de träd som har en naturlig utbredning och anpassning till lokalt klimat. För Skånes del kan ett byte från gran till tall eller ökad inblandning av lövträd vara en effektiv åtgärd för att ståndortsanpassa och för övrigt anpassa skogen till framtida klimat.

Utmaningen är att skapa kolsänkor med en effektiv kollagring. Det finns flera stora intressekonflikter (Tabell 5.2) och ett behov av forskning och datainsamling kring olika trädslags förmåga till kolinbindning, och även hur kontinuitetsskogsbruk kontra trakthyggesbruk påverkar andra miljöfaktorer som till exempel biologisk mångfald.

Tabell 5.2. Åtgärder och möjligheter för kollagring i skog i Skåne.

Åtgärder som främjar kollagring	Exempel	Intressekonflikter	Utmaning
Tillväxtfrämjande åtgärder			
Främmande trädslag	Stegvis introduktion av främmande arter	Naturvärden mot produktionsvärden	Risker med hybridisering etc. med inhemska trädarter
Ståndorts-anpassning	Större andel lövträd och ädellövskog Ersätta gran mot tall på näringsfattig mark	Ädellöv lagrar mycket kol, men tar lång tid att bli en mogen skog.	Viltskador Upptag hos skogsägare av mer blandade skogsbestånd
Anpassning av vilt-populationen	Utveckling av viltförvaltnings-planer	Viltintressenter mot skogsproduktion	Samordning av viltförvaltning
Trädförädling	Förädling av egenskaper som gynnar tillväxt/biomassa (10 % ökning)	Naturlig genvariation kan hotas	Bevara naturliga genpooler
Skyddade områden och extensiva skötselmetoder			
Skyddade områden	Skydd mot avverkning -idag 43 000 ha	Bevarar natur och friluftsvärden men hindrar produktion	Kostnader för ersättning, kortsiktig strategi
Ökad löv- och blandskog	Inslag av flera arter av lövträd på t.ex. fuktiga marker	Viltskador, produktion och ekonomi	Osäkerhet i produktion
Ökade omloppstider	Fördröjning av slutavverkning med 10 år	Avvägning av ekonomi mot risker från naturliga störningar	Minska sårbarhet för skogsägaren
Hyggesfritt skogsbruk	Öka areal av hyggesfria skogsbruks-metoder	Osäkerheten om produktionsförmåga och kollagrings-potentialen vid hyggesfritt skogsbruk är hög	Upptag av hyggesfria metoder hos skogsägarna
Byte av markanvändning			
Återvätning av torvmark	Restaurering av torvmark med skog till myr eller sumpskog	Produktionsintresse	Styrmedel för byte av markanvändning
Beskogning	Ytor för nybeskogning är begränsade i Skåne	Konflikter mellan olika intressen av markanvändning, bebyggelse, industrimark	Avskogning pga. städens expansion, Kommunal planering t.ex. översiktsplaner

5.3.3 Utmaning –” återvätning av våtmarker”

Utmaningen gäller till stor del en omställning av produktion till annan markanvändning, där avvägningar mellan ekonomi och efterfrågan på skogs- och jordbruks-

produkter ställs mot klimat- och miljömål. En fortsatt restaurering och återskapande av våtmarker har en stor positiv inverkan på att minska utsläppen av växthusgaser och potentiellt uppnå kolinlagring, men också på flera andra ekosystemtjänster. Pluggning av diken för återskapande av våtmarker kan bidra till att fördröja vattenflöden och minska översvämningar vid ökad frekvens av extremväder i framtiden.

Återvätning som metod kan ha flera olika möjligheter till fortsatt markanvändning och behöver inte helt utesluta fortsatt produktion. För jordbruksmark kan det vara möjligt att återställa marken till en sänka för koldioxid, utan att metanutsläppen ökar, om man kan hålla kvar vattnet i marken på en jämn nivå på någon decimeter under ytan. Dessa marker skulle kunna användas för bete eller slätter på gräsmarker. Om man avstår från odling av till exempel ettåriga grödor som potatis och morötter och i stället kombinerar extensivt odlade gräsmarker med återvätning och håller grundvattnet på en hög nivå så kan alltså utsläppen av växthusgaser minskas.

För skogsmark på dikad torv avgör tidsperspektivet vilka åtgärder som föredras. En uppvuxen skog kan buffra markens utsläpp så att ekosystemet som helhet ger ett netto noll-utsläpp av kol. I ett kort tidsperspektiv på några decennier kan kvarhållande av skogen vara ett bra sätt att inte släppa ut växthusgaser, men det blir heller inget större upptag, och marken förlorar lagrat kol. Avverkas skogen kommer större delen av biomassan att under de närmaste åren därefter återgå till luften som CO₂, samtidigt som den dikade torvmarken åter dikas och planteras med ny skog som inte har samma fotosynteskapacitet som den uppvuxna skogen, vilket medför att ekosystemet ger förlust av kol under flera decennier genom att torven bryts ner. Om man däremot avverkar skogen och återfår en blöt mark som avger minimalt med växthusgaser och återfår funktion av upplagring av torv så är det förlust av biomassan som ger klimatförlusten. I det lite längre tidsperspektivet blir den stora vinsten för klimatet att nedbrytningen av torven upphör.

Tabell 5.3. IPCC emissionsfaktorer, direkt emission från organogena marker i tempererat klimat (IPCC, 2014).

Växthusgas	Skog på dränerad torvmark	Åker på dränerad torvmark	Våtmark, naturlig eller restaurerad
		Ton CO ₂ ekv. ha ⁻¹ år ⁻¹	
CO ₂	9,5 (7,3–12,1)	29,0 (23,8–34,5)	1,8 (-2,6-6,3)
CH ₄	0,07 (-0,02-0,16)	0 (-0,08-0,08)	8,1 (0,0–32,0)
N ₂ O	1,2 (-0,2-2,5)	5,5 (3,4–7,5)	0
Summa	10,8	34,4	9,9

Emissionen av växthusgaser från Skånes torvmarker, naturliga och dikade skogs och jordbruksmarker kan grovt uppskattas med hjälp av data från IPCCs emissionsfaktorer som anger utsläpp per hektar och år och används i nationell statistik

för utsläppsberäkningar, se tabell 5.3. Naturliga våtmarker avger också växthusgaser, dock är det företrädesvis metan som då avgår och dessa emissioner inkluderas inte i klimatredovisning då de antas vara naturliga. Vid återvätning når man inte noll emission men även om metan avges fortsättningsvis så är den stora vinsten reducerad CO₂-avgivning som på lite längre sikt har störst betydelse för klimatet eftersom uppehållstiden för metan i atmosfären bara är drygt 10 år (Gunther et al., 2020). IPCCs emissionsfaktorer är grova då markvattennivån har stor inverkan på de resulterande utsläppen och upptagen. Emissionen är som högst vid låg vattennivå och minskar linjärt med 3 ton CO₂ per decimeter höjning av markens vattennivå (Evans et al., 2021).

Med hjälp av data om markanvändning och jordarter³⁰ så har vi uppskattat att det finns cirka 45 000 ha skogsmark på torvmark, vilket utgör cirka 10 procent av skogsmarken, samt 12 500 ha (2,8 procent) åkermark på organogena jordar i Skåne, se tabell 5.4. Den största potentialen för att minska växthusgaser finns i organogen mark som idag brukas i jordbruksproduktion. Idag odlas cirka 80 procent av ytan av organogen jordbruksmark med årliga grödor och används i övriga 20 procent som betesmark eller till perenna grödor som till exempel flerårig vall, enligt data från 2020 och Jordbruksverkets integrerade administrations- och kontrollsystem. Med ett byte av produktion från årliga grödor till exempel bioenergi grödor, så borde koldioxidavgången minska väsentligt. Idag finns bioenergi grödor endast på cirka 140 ha av den organogena odlingsmarken. En ökning av återvätning av marker med bioenergi grödor kan ytterligare minska växthusgaser men även förbättra andra miljöfaktorer som retention av näringsämnen och vattenreglering i jordbruksmarken. Generellt sett så bör de organogena jordarna antingen återvätas, odlas med perenna grödor, till exempel energi grödor, eller vara betesmarker.

Tabell 5.4. Uppskattning ytan av skogs respektive jordbruksmark på torvmark i Skåne, Data från Naturvårdsverket (2019), Jordbruksverket data³¹ 2016-2020 och jordartskarta från SGU (2013).

	Skog på torvmark 1,3 %	Skog på våtmark 2,3 %	Jordbruk på torvmark 1,2 %	Öppna våtmarker
Yta i Skåne	21 500	23 800	12 500	12 520

Det behövs fortsatt arbete med att kunna uppskatta hur mycket växthusgaser som avges vid återvätning eller vid mer extensiv markanvändning. Dessutom är det viktigt att identifiera nuvarande skogsmarker på våtmark så att dessa inte dikas ut i framtiden och blir framtida kolkällor. Arbetet med att öka antalet våtmarker i Skåne är värdefullt för klimatarbetet, och det är viktigt att det fortsatt integreras i klimat- och miljömål. I klimathandlingsplanen som Sveriges regering antog i december

30 Data från Naturvårdsverket. (2019). Nationella marktäckedata. <https://www.naturvardsverket.se/verktyg-och-tjanster/kartor-och-karttjanster/nationella-marktackedata> , Jordbruksverket data 2016-2020 och jordartskarta från SGU (2013)

31 Jordbruksverkets administrativa register för arealbaserade stöd

2019 står att man stärkt insatserna för restaurering av våtmarker med många hundratal miljoner kronor. Regeringen beslutade också under 2021 att bidra till klimatmålen genom att uppdra till Skogsstyrelsen och Jordbruksverket att återvåta dikade våtmarker. Skogsstyrelsen har i projekt även tidigare arbetat med att plugga igen diken vilket är en verksamhet som nu kan skalas upp. För att genomföra återvåtning behöver varje enskild markägare identifiera skogsområden som är dikade och fortfarande har organogen mark.

5.3.4 Utmaning – ”kollagring genom användning av biokol”

Klimatnyttan av biokol som görs på restprodukter från skogs- och jordbruk ger den största klimatnyttan genom att binda in kol över en längre tidsperiod. Dock finns avvägningar om vad dessa restprodukter kan användas till i övrigt, och i tabell 5.5 nedan beskrivs dessa. Stor klimatnytta får man även om biokol tillförs i djurhållning inom jordbruket som foder- och gödseltillsats, vilket kan minska metan-emissionen, ammoniak och lustgas från gödseln. Att tillföra biokol redan vid djurhållningen blir också kostnadseffektivt eftersom gödseln så småningom återförs till marken och extra transporter för att sprida biokolet undviks.

Biokol används i första hand till jordförbättring i urbana miljöer, där potentialen för kollagring med denna metod ses som hög och gynnar vegetation. Applicering på jordbruksmark diskuteras ofta, men förekommer idag endast i enstaka fall och mest i försöksverksamhet. Det finns inte heller forskningsunderlag som visar på positiva *skördeeffekter* av biokol i jordbruksmark i tempererade områden (Jeffery et al., 2017). Vid applicering av biokol på jordbruksmark kan läckage av näringsämnen från åkermark reduceras, men det saknas kunskap om hur detta påverkar gödselgivor och skördar i ett svenskt klimatperspektiv på kort och lång sikt. Potentialen för att få klimatnytta är dock mycket större i jordbruksmark än i urbana miljöer eftersom den lämpliga arealen är mycket större. Tillförsel av biokol till skogsmark är mindre lämpligt eftersom organiskt material som ligger ansamlat i markytan blir mer lösligt och riskerar att brytas ner och förloras då mikroorganismer i marken aktiveras av biokolet.

Förutom biokolets värde som kolsänka, är det biokolet som produkt som till stor del tros kunna finansiera framtidens pyrolysanläggningar (Ertl, 2019). I dagens biokolstillverkning läggs därför stor vikt på att biokolets kvalitet kan säkerställas så att köparen kan garanteras de värden som biokolet utlovar. Vikten av en certifiering av biokolet blir därmed alltmer väsentlig.

Idag finns en kommersiell användning av biokol för planteringar av framför allt träd i urbana miljöer. Denna har potential att öka något i framtiden utan att några styrmedel behöver införas. För att en omställning till en större produktion av biokol ska äga rum krävs att betydligt fler pyrolysanläggningar byggs. Flera anläggningar har tidigare initierats genom klimatklivet³² och detta kan bli ett viktigt redskap för att initiera fler i framtiden. Eventuella positiva klimateffekter jämfört med traditionella användningsmetoder måste dock dokumenteras, och det måste finnas en

32 <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/klimatklivet/>

ekonomisk vinst för att omställningen ska bli möjlig. Utmaningen att omvandla organiska restprodukter till biokol har en potentiellt hög klimatnytta, dock behövs mer kunskap om hur biokolet bäst används inom urbana miljöer, skogs- och jordbruk. Det behövs mer kunskap om biokol och dess möjligheter, samt analyser av möjliga multipla ekosystemtjänster och hur biokolet kan utnyttjas både klimat- och kostnadseffektivt.

Tabell 5.5. Potential av råmaterial som kan användas till biokolstillverkning i Skåne. Data från (1) en underlagsrapport till SGI (Sippel, 2020), (2) en rapport om biogaspotentialen i Skåne utförd av Biogas syd och länsstyrelsen i Skåne (Björnsson et al., 2011), (3) SCB.

Substrat	Tillgänglighet Skåne (ton/år)	Alternativ användning	Vår kommentar
A) Material som kan användas till biokolstillverkning idag			
Halm	250 000 (1) 818 000 (2) 375 000 (3)	Strö, jordförbättring, energi	Bra till biokol, Kan också lämnas för jordförbättring
Rapsstrå	285 000 (1) 209 000 (3)	Strö, energi	Bra till biokol, Kan också lämnas för jordförbättring
Frörens	196 000 (1)	inga	Bra till biokol
Majsavfall	187 000 (1)	Foder, jordförbättring energi	Bra till biokol
Trädgårdsavfall grenar	47 000 (1)	Energi	Bra till biokol
B) Material som används för energiändamål idag men kan användas till biokol i framtiden			
Rester från lövträd	120 000 (1) 68 500 (3)	Pappersmassa, energi	Används som bio-bränsle, kan bli biokol i framtiden
Rester från barrträd	120 000 (1) 129 500 (3)	Pappersmassa, energi	Används som bio-bränsle, kan bli biokol i framtiden
Returträ	199 000 (1)	Energi	Används som biobränsle, dock kontaminationsrisk
Sågspån	39 000(1)	Biobränsle, strö, energi	Bra till biokol och energi
Bark	47 000 (1)	Energi	Bra till biokol och energi
Salix (korgvide)	21 000 (1)	Energi	Bra till biokol och energi, risk för höga kadmiumnivåer

5.4 Avslutande reflektion

Vi har här redogjort för en rad åtgärder som kan förbättra kollagring i våra ekosystem i Skåne. Resultaten i de analyser som gjorts visar att i åkermarker finns den största potentialen för *ny kolinlagring*. I betesmarker och skogsmarker på mineraljordar är klimatvinster främst kopplade till att säkerställa att det kol som *redan finns inbundet* i ekosystemen stannar kvar där, och inte släpps ut på grund av ändringar i skötselmetoder. Hos dikade torvmarker finns en stor potential att *minska utsläpp* av växthusgaser genom återställning till våtmarker. Minskade utsläpp kan även ske genom ändrad användning av organogena åkermarker.

Dessa resultat är dock grundade på modellresultat, befintligt dataunderlag och antaganden där underlag saknas. För att kunna göra *detaljerade prognoser* om framtida kollagring så krävs detaljerade underlag från inventeringar och kartläggningar av lagrat kol. Detta saknas till stor del idag och det vore värdefullt för framtida prognoser att ha fler detaljerade kartläggningar.

Vi har i rapporten inte gjort avvägningar mellan förändringar av markanvändning, utan endast diskuterat åtgärder inom befintligt jord- och skogsbruk. Framtida ekonomiska drivkrafter samt styrmedel för klimatåtgärder kommer att påverka avvägningar mellan olika typer av markanvändning. Fortsatt arbete om framtida styrmedel och drivkrafter för denna förändring är viktigt för att kunna minska vår klimatpåverkan på ett effektivt sätt.

6: Referenser

2021/1119/EU, Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/1119 av den 30 juni 2021 om inrättande av en ram för att uppnå klimatneutralitet och om ändring av förordningarna (EG) nr 401/2009 och (EU) 2018/1999 (europeisk klimatlag).

Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., Gimeno, B.S., 2013. *Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis*. Agriculture, Ecosystems & Environment 168, 25-36.

Akselsson, C., Belyazid, S., Hellsten, S., Klarqvist, M., Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P.-E., Lundin, L., 2010. *Assessing the risk of N leaching from forest soils across a steep N deposition gradient in Sweden*. Environmental Pollution 158, 3588-3595.

Amsili, J.P., Kaye, J.P., 2021. *Root traits of cover crops and carbon inputs in an organic grain rotation*. Renew. Agr. Food Syst. 36, 182-191.

Ariiluoma, M., Ottelin, J., Hautamäki, R., Tuhkanen, E.-M., Mänttari, M., 2021. *Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki*. Urban Forestry and Urban Greening, 126939.

Autret, B., Mary, B., Chenu, C., Balabane, M., Girardin, C., Bertrand, M., Grandeau, G., Beaudoin, N., 2016. *Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment*. Agriculture Ecosystems & Environment 232, 150-164.

- Azzi, E.S., Karlton, E., Sundberg, C., 2019. *Prospective life cycle assessment of large-scale biochar production and use for negative emissions in Stockholm*. Environmental Science and Technology 53, 8466-8476.
- Banik, C., Lawrinenko, M., Bakshi, S., Laird, D.A., 2018. *Impact of pyrolysis temperature and feedstock on surface charge and functional group chemistry of biochars*. Journal of Environment Quality 47, 452-461.
- Barrios, E., 2007. *Soil biota, ecosystem services and land productivity*. Ecological economics 64, 269-285.
- Bengtsson, A., 2012. *Ekosystemtjänster från urbana grönytor—en systemstudie med fokus på kollagring och biobrännleproduktion i Lunds kommun*. Institutionen för Teknik och samhälle, Miljö- och Energisystem, Lunds Tekniska Högskola, p. 105.
- Berger, C., 2012. *Biochar and activated carbon filters for greywater treatment – comparison of organic matter and nutrients removal*. Institutionen för energi och teknik. SLU.
- Bergqvist, E., 2018. *Skogliga siffror för Skåne 2018*. Skogsstrategi (Red.).
- Björnsson, L., Lantz, M., Murto, M., Davidsson, Å., 2011. *Biogaspotential i Skåne-inventering och planeringsunderlag på översiktsnivå*. Länsstyrelsen i Skåne.
- Bolinder, M., Kätterer, T., Andrén, O., Ericson, L., Parent, L.-E., Kirchmann, H., 2010. *Long-term soil organic carbon and nitrogen dynamics in forage-based crop rotations in Northern Sweden (63–64 N)*. Agriculture, ecosystems & environment 138, 335-342.
- Bolinder, M.A., Stehdahl, Kätterer, T., 2019. *Utredning om kolbalanser vid beskogning av jordbruksmark. Redovisning av uppdrag till Klimatpolitiska vägvalsutredningen*. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Bolund, P., Hunhammar, S., 1999. *Ecosystem services in urban areas*. Ecological Economics 29, 293-301.
- Borchard, N., Schirrmann, M., Cayuela, M.L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J.M., Fuertes-Mendizábal, T., Sigua, G., Spokas, K., Ippolito, J.A., 2019. *Biochar, soil and land-use interactions that reduce nitrate leaching and N₂O emissions: a meta-analysis*. Science of the Total Environment 651, 2354-2364.
- Borjesson, G., Kirchmann, H., Kätterer, T., 2014. *Four Swedish long-term field experiments with sewage sludge reveal a limited effect on soil microbes and on metal uptake by crops*. Journal of Soils and Sediments 14, 164-177.
- Brady, M.V., Hedlund, K., Cong, R.-G., Hemerik, L., Hotes, S., Machado, S., Mattsson, L., Schulz, E., Thomsen, I.K., 2015. *Valuing Supporting Soil Ecosystem Services in Agriculture: A Natural Capital Approach*. Agronomy Journal 107, 1809-1821.
- Brady, V.M., Hristov, J., Wilhelmsson, F., Hedlund, K., 2019. *Roadmap for Valuing Soil Ecosystem Services to Inform Multi-Level Decision-Making in Agriculture*. Sustainability 11.
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B.G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., Chenu, C., 2017. *Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France*. Agriculture, Ecosystems & Environment 236, 243-255.
- Clare, A., Shackley, S., Joseph, S., Hammond, J., Pan, G., Bloom, A., 2014. *Competing uses for China's straw: the economic and carbon abatement potential of biochar*. GCB Bioenergy 7, 1272-1282.
- COM/2018/773, *En långsiktig klimatstrategi för EU*. Fakta-pm om EU-förslag 2018/19:FPM19 : COM (2018) 773.
- COM/2019/640final, *Meddelande från Kommissionen till Europaparlamentet, Europeiska rådet, Rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt Regionkommittén, Den Europeiska Gröna Given*
- Conant, R.T., Cerri, C.E.P., Osborne, B.B., Paustian, K., 2017. *Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis*. Ecol. Appl. 27, 662-668.

- Cong, R.G., Hedlund, K., Andersson, H., Brady, M., 2014. *Managing soil natural capital: An effective strategy for mitigating future agricultural risks?* *Agricultural Systems* 129, 30-39.
- Daily, G.C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Mooney, H.A., Pejchar, L., Ricketts, T.H., Salzman, J., Shallenberger, R., 2009. *Ecosystem services in decision making: time to deliver*. *Frontiers in Ecology and the Environment* 7, 21-28.
- Davis, S.C., Parton, W.J., Del Grosso, S.J., Keough, C., Marx, E., Adler, P.R., H, D.E., 2012. *Impact of second-generation biofuel agriculture on greenhouse-gas emissions in the corn-growing regions of the US*. *Frontiers in Ecology and Environment* 10, 69-74.
- DeCiucies, S., Whitman, T., Woolf, D., Enders, A., Lehmann, J., 2018. *Priming mechanisms with additions of pyrogenic organic matter to soil*. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 238, 329-342.
- Diaz, S., Fargione, J., Chaplin, F.S.I., Tilman, D., 2006. *Biodiversity loss threatens human well-being*. *Plos Biology* 4, 1300-1305.
- Díaz-Yáñez, O., Pukkala, T., Packalen, P., Peltola, H., 2019. *Multifunctional comparison of different management strategies in boreal forests*. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 93, 84-95.
- Droste, N., May, W., Clough, Y., Borjesson, G., Brady, M., Hedlund, K., 2020. *Soil carbon insures arable crop production against increasing adverse weather due to climate change*. *Environmental Research Letters* 15.
- Du, E., Terrer, C., Pellegrini, A. F. A., Ahlström, A., van Lissa, C. J., Zhao, X., Xia, N., Wu, X., Jackson, R. B., 2020. *Global patterns of terrestrial nitrogen and phosphorus limitation*. *Nature Geoscience*, 13(3), 221– 226.
- EEA, 2022. *Carbon stocks and sequestration in terrestrial and marine ecosystems : a lever for nature restoration?* , European Environment Agency, Publications Office, EEA.
- Ek, M., Westling, O., 2003. *Dagsläget beträffande skogsindustrins avfall*. Rapport, IVL.
- Emanuelsson, U., 2009. *Europeiska kulturlandskap - Hur människan format Europas natur*. Formas, Stockholm. ISBN 9789154059775.
- Emmerson, M., Morales, M., Oñate, J., Batáry, P., Berendse, F., Liira, J., Aavik, T., Guerrero, I., Bommarco, R., Eggers, S., 2016. *How Agricultural Intensification Affects Biodiversity and Ecosystem Services*. *Advances in Ecological Research*, 55, 43-97.
- Emmett, B.A., 2007. *Nitrogen Saturation of Terrestrial Ecosystems: Some Recent Findings and Their Implications for Our Conceptual Framework*. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus* 7, 99-109.
- Enell, A., Tiberg, C., Larsson, M., Berggren Kleja, D., 2020. *Förädling av biokol för en effektivare användning som jordförbättrare i urban förorenad mark. Resultat och slutsatser från laboratorie-försök*. Statens geotekniska institut, SGI, Linköping, 2019-09-06.
- Ernfors, M., von Arnold, K., Stendahl, J., Olsson, M., Klemetsson, L., 2008. *Nitrous oxide emissions from drained organic forest soils - an up-scaling based on C : N ratios* (Reprinted). *Biogeochemistry* 89, 29-41.
- Ertl, F., 2019. *Summary of different types of pyrolysis concepts*. PAMOJA Cleantech AB. Technical Review.
- Evans, C.D., Peacock, M., Baird, A.J., Artz, R.R.E., Burden, A., Callaghan, N., Chapman, P.J., Cooper, H.M., Coyle, M., Craig, E., Cumming, A., Dixon, S., Gauci, V., Grayson, R.P., Helfter, C., Heppell, C.M., Holden, J., Jones, D.L., Kaduk, J., Levy, P., Matthews, R., McNamara, N.P., Misselbrook, T., Oakley, S., Page, S.E., Rayment, M., Ridley, L.M., Stanley, K.M., Williamson, J.L., Worrall, F., Morrison, R., 2021. *Overriding water table control on managed peatland greenhouse gas emissions*. *Nature* 593, 548-552.

- Eyvindson, K., Dufflot, R., Triviño, M., Blattert, C., Potterf, M., Mönkkönen, M., 2021. *High boreal forest multifunctionality requires continuous cover forestry as a dominant management*. Land Use Policy 100, 104918.
- Felton, A., Petersson, L., Nilsson, O., Witzell, J., Cleary, M., Felton, A.M., Björkman, C., Sang, Å.O., Jonsell, M., Holmström, E., Nilsson, U., Rönnberg, J., Kalén, C., Lindblad, M., 2020. *The tree species matters: Biodiversity and ecosystem service implications of replacing Scots pine production stands with Norway spruce*. Ambio 49, 1035-1049.
- FORMAS, 2021. *Växtföljers påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark*. Rapport F1:2021, Formas, Stockholm. ISBN 978-91-540-6148-8.
- Forzieri, G., Girardello, M., Ceccherini, G., Spinoni, J., Feyen, L., Hartmann, H., Beck, P.S.A., Camps-Valls, G., Chirici, G., Mauri, A., Cescatti, A., 2021. *Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests*. Nature Communications 12, 1081.
- Gamfeldt, L., Snäll, T., Bagchi, R., Jonsson, M., Gustafsson, L., Kjellander, P., Ruiz-Jaen, M.C., Froberg, M., Stendahl, J., Philipson, C.D., Mikusinski, G., Andersson, E., Westerlund, B., Andren, H., Moberg, F., Moen, J., Bengtsson, J., 2013. *Higher levels of multiple ecosystem services are found in forests with more tree species*. Nat Commun 4, 1340.
- Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N.E.-H., Niggli, U., 2012. *Enhanced top soil carbon stocks under organic farming*. Proceedings of the National Academy of Sciences 109, 18226.
- Grabosky, J., Bassuk, N., 1996. *Testing of structural urban tree soil materials for use under pavement to increase street tree rooting volumes*. Journal of Arboriculture 22, 255-263.
- Grahn, P., Stigsdotter, U.A., 2003. *Landscape planning and stress*. Urban Forestry & Urban Greening 2, 1-18.
- Gunther, A., Barthelmes, A., Huth, V., Joosten, H., Jurasinski, G., Koebsch, F., Couwenberg, J., 2020. *Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions*. Nature Communications 11, 5.
- Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubactep, C., Mukome, F.N., 2017. *Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision*. Journal of environmental management 197, 732-749.
- Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, H.B., Isberg, P.-E., 2017. *How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review*. Environmental Evidence 6, 30.
- Haddaway, N.R., Hedlund, K., Jackson, L.E., Kätterer, T., Lugato, E., Thomsen, I.K., Jørgensen, H.B., Söderström, B., 2015. *What are the effects of agricultural management on soil organic carbon in boreo-temperate systems?* Environmental Evidence 4, 1.
- Hall, M., Lund, E., Rummukainen, M., 2015. *Klimatsäkrat Skåne*. CEC Rapport Nr 02. Centrum för miljö- och klimatforskning, Lunds universitet, Lund.
- Heal, G., 2000. *Nature and the market place: Capturing the value of ecosystem services*. Island Press, Washington, D.C.
- Hedlund, K., 2019. *Moving from source to sink in arable farming*. EIP-AGRI Focus Group. Final report.
- Hedlund, K., Brady, M., Hanson, H., Hristov, J., Alkan Olsson, J., Smith, H., Wilhelmsson, F., 2017. *Värdering av ekosystemtjänster inom jordbruket – för effektivt beslutsfattande*. I: Naturvårdsverket (Red.), Rapport
- Hiederer, R., Köchy, M., 2012. *Global Soil Organic Carbon Estimates and the Harmonized World Soil Database* EUR 25225 EN – EUR Scientific and Technical Research series.

- Holmström, E., Goude, M., Nilsson, O., Nordin, A., Lundmark, T., Nilsson, U., 2018. *Productivity of Scots pine and Norway spruce in central Sweden and competitive release in mixtures of the two species*. Forest Ecology and Management 429, 287-293.
- Hu, T., Sorensen, P., Olesen, J.E., 2018. *Soil carbon varies between different organic and conventional management schemes in arable agriculture*. European Journal of Agronomy 94, 79-88.
- Hu, Y.-L., Wu, F.-P., Zeng, D.-H., Chang, S.X., 2014. *Wheat straw and its biochar had contrasting effects on soil C and N cycling two growing seasons after addition to a Black Chernozemic soil planted to barley*. Biology fertility of soils 50, 1291-1299.
- IPCC, 2014. *2013 Supplement to the 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*. I: Hiraiishi, T.et.al. (Red.), Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Geneva, Switzerland.
- IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. I: Masson-Delmotte, V., et al (Red.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- Jacobson, S., Hannerz, M., 2020. *Contortatallens självspridning i svensk skogsmark*. Skogforsk, Uppsala.
- Jeffery, S., Abalos, D., Prodana, M., Bastos, A.C., Van Groenigen, J.W., Hungate, B.A., Verheijen, F., 2017. *Biochar boosts tropical but not temperate crop yields*. Environmental Research Letters 12, 053001.
- Jeffery, S., Verheijen, F.G., van der Velde, M., Bastos, A.C., 2011. *A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis*. Agriculture, Ecosystems and Environment 144, 175-187.
- Jordbruksverket, 2008. *Minska jordbrukets klimatpåverkan! Del 1. Introduktion och några åtgärder/styrmedel*. Rapport 2008:11. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 2010. *Inlagring av kol i jordbruksmark*. Rapport 2010:25. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 2012. *Behov av nya mål och åtgärder för ekologisk produktion i landsbygdsprogrammet*. Rapport 2012:37. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 2014. *Utsläpp av växthusgaser från torvmarker*. Rapport 2014:24. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 2017. *Användning av avloppsslam på jordbruksmark*. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 2018. *Återvätning av organogen jordbruksmark som klimatåtgärd*. Rapport 2018:30. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 2019. *Rekommendationer för gödsling och kalkning 2020*. Jordbruksinformation. Jordbruksverket, Jönköping.
- Jordbruksverket, 2020. *Förslag till utformning av åtgärder i den strategiska planen för den gemensamma jordbrukspolitiken 2023-2027*. Jordbruksverket, Jönköping.
- Kareiva, P., Tallis, H., Ricketts, T.H., Daily, G.C., Polasky, S. (Eds.), 2011. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford.
- Karlsson, B., Rosvall, O., 2008. *Ökad tillgång och användning av förädlade plantor*. I: Skogforsk (Red.), Uppsala.
- Karlton, E., Saarsalmi, A., Ingerslev, M., Mandre, M., Andersson, S., Gaitnieks, T., Ozolincius, R., Varnagiryte-Kabasinskiene, I., 2008. *Wood ash recycling - possibilities and risks*. I: D. Röser et al. (Red.), Sustainable Use of Forest Biomass for Energy: A synthesis with focus on the Baltic and Nordic Regions. Springer Science+Business Media B.V. 12, 79-108.

- Kasimir, Å., He, H., Coria, J., Nordén, A., 2018. *Land use of drained peatlands: Greenhouse gas fluxes, plant production, and economics*. *Global Change Biology* 24, 3302-3316.
- Kramer, K., Degen, B., Buschbom, J., Hickler, T., Thuiller, W., Sykes, M.T., de Winter, W., 2010. *Modeling exploration of the future of European beech (Fagus sylvatica L.) under climate change—Range, abundance, genetic diversity and adaptive response*. *Forest Ecology and Management* 259, 2213-2222.
- Kuzyakov, Y., Blagodatskaya, E., 2015. *Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review*. *Soil Biology & Biochemistry* 83, 184-199.
- Kätterer, T., Roobroeck, D., Andrén, O., Kimutai, G., Karlton, E., Kirchmann, H., Nyberg, G., Vanlauwe, B., de Nowina, K.R., 2019. *Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in sub-humid regions of Kenya*. *Field Crops Research* 235, 18-26.
- Lal, R., Monger, C., Nave, L., Smith, P., 2021. *The role of soil in regulation of climate*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 376.
- Linné, M., Ekstrandh, A., Englesson, R., Persson, E., Björnsson, L., Lantz, M., 2008. *Den svenska biogaspotentialen från inhemska råvaror*. Avfall Sverige.
- Liu, C., Lu, M., Cui, J., Li, B., Fang, C., 2014. *Effects of straw carbon input on carbon dynamics in agricultural soils: a meta analysis*. *Global change biology* 20, 1366-1381.
- Lucander, K., Zanchi, G., Akselsson, C., Belyazid, S., 2021. *The Effect of Nitrogen Fertilization on Tree Growth, Soil Organic Carbon and Nitrogen Leaching—A Modeling Study in a Steep Nitrogen Deposition Gradient in Sweden*. *Forests* 12, 298.
- Lugato, E., Panagos, P., Bampa, F., Jones, A., Montanarella, L., 2014. *A new baseline of organic carbon stock in European agricultural soils using a modelling approach*. *Global Change Biology* 20, 313-326.
- Lundmark, T., Bergh, J., Nordin, A., Fahlvik, N., Poudel, B.C., 2016. *Comparison of carbon balances between continuous-cover and clear-cut forestry in Sweden*. *Ambio* 45, 203-213.
- Länsstyrelsen-Skåne, 2019. *Strategi för formellt skydd av skog i Skåne län*. Rapport 2019:21.
- Länsstyrelsen-Skåne, 2021. *Tillsammans för ett hållbart Skåne - Regionalt åtgärdsprogram för miljömålen 2022-2025*. Rapport 2021:55.
- Maeght, J.-L., Rewald, B., Pierret, A., 2013. *How to study deep roots—and why it matters*. *Frontiers in Plant Science* 4, 299.
- Magnusson, K., 2020. *Risikanalytisk av hybridlärk (Larix X marschlinsii) – Möjligheter och problem*. Institutionen för skogsekonomi. SLU, Uppsala.
- Major, J., Steiner, C., Downie, A., 2009. *Biochar effects on nutrient leaching. I: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), Biochar for environmental management*. Earthscan Publications, New York, USA, pp. 271–287.
- Mattsson, L., 2010. *Soil organic C development in cereal and ley systems. Data from 20 years old Swedish field experiments*. *Archives of Agronomy & Soil Science* 48, 107-115.
- Matušítk, J., Hnátková, T., Kočí, V., 2020. *Life cycle assessment of biochar-to-soil systems: A review*. *Journal of Cleaner Production* 259, 120998.
- Meersmans, J., Van Wesemael, B., Goidts, E., Van Molle, M., De Baets, S., De Ridder, F., 2011. *Spatial analysis of soil organic carbon evolution in Belgian croplands and grasslands*. *Global Change Biology* 17, 1960-2006.
- Menichetti, L., Ekblad, A., Kätterer, T., 2015. *Contribution of roots and amendments to soil carbon accumulation within the soil profile in a long-term field experiment in Sweden*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 79-87.

- Meyer, A., Tarvainen, L., Nousratpour, A., Björk, R.G., Ernfors, M., Kasimir Klemedtsson, Å., Lindroth, A., Råntfors, M., Rütting, T., Wallin, G., Weslien, P., Klemedtsson, L., 2013. *A fertile peatland forest does not constitute a major greenhouse gas sink*. Biogeosciences Discussions 10, 5107-5148.
- Naturvårdsverket, 2019. Nationella marktäckedata.
- Nelson, E., Mendoza, G., Regetz, J., Polasky, S., Tallis, H., Cameron, D.R., Chan, K.M.A., Daily, G.C., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Lonsdorf, E., Naidoo, R., Ricketts, T.H., Shaw, M.R., 2009. *Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales*. Frontiers in Ecology and the Environment 7, 4-11.
- Nilsson, K., Sangster, M., Konijnendijk, C., 2010. *Forest, Trees and human health and well-being: introduction*. I: Nilsson, K., Sangster, M., Gallis, C., Hartig, T., de Vreis, S., Seeland, K., Schipperijn, J. (Eds.), Forest, trees and Human health. Springer, New York Dordrecht Heidelberg London.
- Nilsson, M., Mikkilä, C., Sundh, I., Granberg, G., Svensson, B.H., Ranneby, B., 2001. *Methane emission from Swedish mires: National and regional budgets and dependence on mire vegetation*. Journal of Geophysical Research 106, 20847.
- Nilsson, U., Berglund, M., Bergquist, J., Holmström, H., Wallgren, M., 2016. *Simulated effects of browsing on the production and economic values of Scots pine (Pinus sylvestris) stands*. Scandinavian Journal of Forest Research 31, 279-285.
- Nilsson, U., Elfving, B., Karlsson, K., 2012. *Productivity of Norway spruce compared to Scots pine in the interior of northern Sweden*. Silva Fennica 46(2): 197–209.
- Norberg, E., 2019. *Effekten av olika typer av biokol på metallers löslighet i förorenad urban jord*. Institutionen för geovetenskaper. Uppsala universitet, Uppsala.
- Osslund, F., 2020. *Prioritising biochar application to arable land in Sweden: A spatial multi-criteria analysis*. Skolan för arkitektur och samhällsbyggnad (ABE), Hållbar utveckling, miljövetenskap och teknik. KTH, Stockholm.
- Pálsdóttir, A.M., K Stigsdotter, U., Persson, D., Thorpert, P., Grahn, P., 2018. *The qualities of natural environments that support the rehabilitation process of individuals with stress-related mental disorder in nature-based rehabilitation*. Urban Forestry & Urban Greening 29, 312-321.
- Pardos, M., del Río, M., Pretzsch, H., Jactel, H., Bielak, K., Bravo, F., Brazaitis, G., Defosse, E., Engel, M., Godvod, K., Jacobs, K., Jansone, L., Jansons, A., Morin, X., Nothdurft, A., Oreti, L., Ponette, Q., Pach, M., Riofrío, J., Ruíz-Peinado, R., Tomao, A., Uhl, E., Calama, R., 2021. *The greater resilience of mixed forests to drought mainly depends on their composition: Analysis along a climate gradient across Europe*. Forest Ecology and Management 481, 118687.
- Paulsson, M., Svensson, S.-E., Mattsson, J.E., Mattiasson, B., 2015. *Park- och trädgårdsavfall – en resurs för fastbränsle och biogas*. SLU, Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgård- och växtproduktionsvetenskap, Alnarp, Sverige.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. *Climate-smart soils*. Nature 532, 49-57.
- Pe'er, G., Zingrebe, Y., Hauck, J., Schindler, S., Dittrich, A., Zingg, S., Tschardtke, T., Oppermann, R., Sutcliffe, L.M.E., Sirami, C., Schmidt, J., Hoyer, C., Schleyer, C., Lakner, S., 2017. *Adding Some Green to the Greening: Improving the EU's Ecological Focus Areas for Biodiversity and Farmers*. Conservation Letters 10, 517-530.
- Peura, M., Burgas, D., Eyvindson, K., Repo, A., Mönkkönen, M., 2018. *Continuous cover forestry is a cost-efficient tool to increase multifunctionality of boreal production forests in Fennoscandia*. Biological Conservation 217, 104-112.
- Piccolo, A., Pietramellara, G., Mbagwu, J., 1996. *Effects of coal derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils*. Soil use and Management 12, 209-213.

- Pittelkow, C.M., Liang, X., Linnquist, B.A., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Lundy, M.E., van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., van Kessel, C., 2015. *Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture*. *Nature* 517, 365-368.
- Poepflau, C., Bolinder, M.A., Eriksson, J., Lundblad, M., Kätterer, T., 2015a. *Positive trends in organic carbon storage in Swedish agricultural soils due to unexpected socio-economic drivers*. *Biogeosciences* 12, 3241-3251.
- Poepflau, C., Don, A., 2015. *Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis*. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 200, 33-41.
- Poepflau, C., Kätterer, T., Bolinder, M.A., Börjesson, G., Berti, A., Lugato, E., 2015b. *Low stabilization of aboveground crop residue carbon in sandy soils of Swedish long-term experiments*. *Geoderma* 237, 246-255.
- Power, A.G., 2010. *Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies*. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365, 2959-2971.
- Powlson, D.S., Stirling, C.M., Jat, M., Gerard, B.G., Palm, C.A., Sanchez, P.A., Cassman, K.G., 2014. *Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation*. *Nature Climate Change* 4, 678-683.
- Prop/2016/17:16, *Regeringens proposition 2016/17:16 Godkännande av klimatavtalet från Paris*.
- Ricketts, T.H., Watson, K.B., Koh, I., Ellis, A.M., Nicholson, C.C., Posner, S., Richardson, L.L., Sontner, L.J., 2016. *Disaggregating the evidence linking biodiversity and ecosystem services*. *Nature Communications* 7.
- Riley, H., Bakkegard, M., 2006. *Declines of soil organic matter content under arable cropping in southeast Norway*. *Acta Agriculturae Scandinavica, B* 56, 217-223.
- Ritter, L., 2020. *Lövträd och lövskog - En sammanställning av nuvarande kunskap*. Skogforsk, Uppsala.
- Roberts, K.G., Gloy, B.A., Joseph, S., Scott, N.R., Lehmann, J., 2010. *Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential*. *Environmental Science & Technology* 44, 827-833.
- Sanderman, J., Baldock, J.A., 2010. *Accounting for soil carbon sequestration in national inventories: a soil scientist's perspective*. *Environmental Research Letters* 5, 034003.
- SCB, 2013. *Odlingsåtgärder i jordbruket 2012. Träda, slåttervall, vårkorn, havre, höstspannmål samt användning av halm och blast*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2015. *Ekologisk växtodling 2014. Omställda arealer och arealer under omställning*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2017a. *Ekologisk växtodling 2016. Omställda arealer och arealer under omställning*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2017b. *Odlingsåtgärder i jordbruket 2016. Träda, slåttervall, jordbearbetning, fånggrödor samt spridning av kalk på åkermark*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2018. *Växtskyddsmedel i jord- och trädgårdsbruket 2017. Användning i grödor*. Statistiska centralbyrån.
- SCB, 2019. *Markanvändningen i Sverige*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2020a. *Ekologisk växtodling 2019. Omställda arealer och arealer under omställning*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2020b. *Jordbruksmarkens användning 2019. Slutlig statistik*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.
- SCB, 2020c. *Odlingsåtgärder i jordbruket 2019. Träda, slåttervall, jordbearbetning, fånggrödor samt spridning av kalk på åkermark*. Statistiska centralbyrån, Stockholm.

- SFS, 1998:944. *Förordning om förbud m.m. i vissa fall i samband med hantering, införsel och utförsel av kemiska produkter.*
- SGU, 2006. *Arealer av dränerade växthusgasemitterande torvjordar*. Digital kartstudie.
- Sippel, F., 2020. *A Comparative Assessment of the Availability and Suitability of different types of Biomass Feedstock in Skåne and Sweden for the Production of Biochar*. Report Pampoja Cleantech AB.
- SJVFS, 2004:62. *Föreskrifter om ändring i Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd (SJVFS 2004:62) om miljöhänsyn i jordbruket vad avser växtnäring.*
- Skogforsk, 2013. *Ekologiska effekter av främmande trädslag*. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2013/Ekologiska-effekter-av-frammande-tradslag/>.
- Skogforsk, 2019. *Förädling för framtiden* <https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/trycksaker/2010/foradling-for-framtiden/>
- SKS, 2009. *Regler om användning av främmande trädslag*. Meddelande. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- SKS, 2011. SKSFS 2011:7. *Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd till Skogsvårdslagen*. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- SKS, 2019a. *Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder*. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- SKS, 2019b. *Skogsbrukets kostnader för viltskador*. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- SKS, 2019c. *Skogsskador i region Syd 2018*. Skogsskaderapport. Februari 8, 2019. Skogsstyrelsen, Jönköping.
- SLU, 2010. *Skogsdata 2010*. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå, Sweden.
- SLU, 2017. *Skogsdata 2017*. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå, Sweden.
- SLU, 2020. *Skogsdata 2020*. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå, Sweden.
- SNFS, 1994:2. *Statens naturvårdsverks föreskrifter om ändring i kungörelsen (SNFS 1994:2) med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket*. Naturvårdsverket, Stockholm.
- Soane, B.D., Ball, B.C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., Roger-Estrade, J., 2012. *No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment*. Soil Tillage Research. 118, 66-87.
- Soinne, H., Keskinen, R., Heikkinen, J., Hyväluoma, J., Uusitalo, R., Peltoniemi, K., Velmala, S., Pennanen, T., Fritze, H., Kaseva, J., 2020. *Are there environmental or agricultural benefits in using forest residue biochar in boreal agricultural clay soil?* Science of the Total Environment 731, 138955.
- SOU, 2020:3. *Hållbar slamhantering, Betänkande av Utredningen om en giftfri och cirkulär återföring av fosfor från avloppsslam*. Statens offentliga utredningar, Stockholm.
- SOU, 2020:4. *Vägen till en klimatpositiv framtid, Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen*. Statens offentliga utredningar, Stockholm.
- TEEB, 2010. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.
- Thers, H., Djomo, S.N., Elsgaard, L., Knudsen, M.T., 2019. *Biochar potentially mitigates greenhouse gas emissions from cultivation of oilseed rape for biodiesel*. Science of the Total Environment 671, 180-188.
- Thies, J.E., Rillig, M.C., 2009. *Characteristics of biochar: biological properties*. I: Lehmann, J., Joseph, S. (Eds.), *Biochar for environmental management, Science and technology*. Earthscan, New York, USA.

- Thomsen, I.K., Christensen, B.T., 2004. *Yields of wheat and soil carbon and nitrogen contents following long-term incorporation of barley straw and ryegrass catch crops*. Soil Use and Management 20, 432-438.
- Tisserant, A., Cherubini, F., 2019. *Potentials, limitations, co-benefits, and trade-offs of biochar applications to soils for climate change mitigation*. Land 8, 179.
- Triplett, G., Dick, W.A., 2008. *No-tillage crop production: a revolution in agriculture!* Agronomy journal 100, S-153-S-165.
- Tsiafouli, M.A., Thebault, E., Sgardelis, S.P., de Ruiter, P.C., van der Putten, W.H., Birkhofer, K., Hemerik, L., de Vries, F.T., Bardgett, R.D., Brady, M.V., Bjornlund, L., Jorgensen, H.B., Christensen, S., D' Hertefeldt, T., Hotes, S., Hol, W.H.G., Frouz, J., Liiri, M., Mortimer, S.R., Setälä, H., Tzanopoulos, J., Uteseny, K., Pizl, V., Stary, J., Wolters, V., Hedlund, K., 2015. *Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe*. Global Change Biology 21, 973-985.
- Ulrich, B.A., Loehnert, M., Higgins, C.P., 2017. *Improved contaminant removal in vegetated stormwater biofilters amended with biochar*. Environmental Science: Water Research Technology 3, 726-734.
- van Breemen, N., 1995. *How Sphagnum bogs down other plants*. Trends in Ecology & Evolution 10, 270-275.
- Vincent-Caboud, L., Peigné, J., Casagrande, M., Silva, M.E., 2017. *Overview of Organic Cover Crop-Based No-Tillage Technique in Europe: Farmers' Practices and Research Challenges*. Agriculture 7.
- West, T.O., Post, W.M., 2002. *Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation*. Soil Science Society of America Journal 66, 1930-1946.
- Widenfalk, O., 2015. *Contortatall i Sverige – En kunskapsmanställning och riskbedömning*. FSC Rapport 2015.
- Williams, A., Hedlund, K., 2013. *Indicators of soil ecosystem services in conventional and organic arable fields along a gradient of landscape heterogeneity in southern Sweden*. Applied Soil Ecology 65, 1-7.
- Williams, A., Hedlund, K., 2014. *Indicators and trade-offs of ecosystem services in agricultural soils along a landscape heterogeneity gradient*. Applied Soil Ecology 77, 1-8.
- Wilson, D., Blain, D., Couwenberg, J., Evans, C.D., Murdiyarsa, D., Page, S., Renou-Wilson, F., Rieley, J., Sirin, A., Strack, M., Tuittila, E.-S., 2016. *Greenhouse gas emission factors associated with rewetting of organic soils*. Mires and Peat 17.
- Woolf, D., Amonette, J.E., Street-Perrott, F.A., Lehmann, J., Joseph, S., 2010. *Sustainable biochar to mitigate global climate change*. Nature communications 1, 1-9.
- Wulff, S., Roberge, C., 2020. *Inventering av granbarkborreangrepp i Götaland och Svealand 2020*. Arbetsrapport 521. Institutionen för skoglig resurshushållning, SLU, Umeå.
- Zanchi, G., Brady, M.V., 2019. *Evaluating the contribution of forest ecosystem services to societal welfare through linking dynamic ecosystem modelling with economic valuation*. Ecosystem Services 39, 101011.
- Zanchi, G., Lucander, K., Kronnäs, V. et al. 2021. *Modelling the effects of forest management intensification on base cation concentrations in soil water and on tree growth in spruce forests in Sweden*. European Journal of Forest Research 140, 1417–1429.
- Örlander, G., Frisk, J., 2020. *Viltbetesskador i Sverige Konsekvenser för virkesproduktion, ekonomi och klimat*. Södra, Växjö.

[CEC.LU.SE](http://cec.lu.se)



CEC

CENTRUM FÖR MILJÖ-
OCH KLIMATVETENSKAP

LUNDS UNIVERSITET
Centrum för miljö-
och klimatvetenskap
Ekologihuset
Sölvegatan 37
223 62 Lund
www.lu.se