Klimatomställning Malmö

KLIMATOMSTÄLLNING MALMÖ, MILJÖFÖRVALTNINGEN

Potentiella kolsänkor i Malmö stad

EUROPEISKA UNIONEN
Europeiska regionala utvecklingsfonden

Malmö stad

Rapporter kan laddas ner från malmo.se

Huvudförfattare: Tora Råberg, Projektkoordinator. Bioekonomi och Hälsa, enhet Jordbruk och Livsmedel. RISE (Research Institutes of Sweden)

Medförfattare: Katarina Lorentzon
Mårten Västerdal
Anna Pettersson Skog
Carmen Cristescu
Kent Davidsson
Björn Schouenborg
Placid Atongka Tchoffor

Avdelning: Miljöstrategiska avdelningen
Datum: 2022-04-07
Förvaltning: Miljöförvaltningen, Malmö stad

Med stöd av

Begreppsförklaring

CCS=Carbon Capture and Storage, koldioxidavskiljning från rökavgaser för lagring i berggrund.

GROT=rester från skogsavverkning som betecknar grenar och toppar.

Gröna tak=Gröna tak är ett samlingsnamn för olika vegetationsuppbyggnader på tak eller tak med levande växtlighet som takbeläggning.

Jonbyteskapacitet=ett mått på till exempel en jords förmåga att binda katjoner genom jonbyte till jordpartiklarnas negativt laddade ytor.

Karbonatisering=En naturligt förekommande kemisk reaktion med koldioxid som ger upphov till karbonater, bikarbonat eller karbonsyra.

KL-trä=korslimmat trä.

Kollager=Kollager som är statisk tills lagret till exempel förbränns.

Kolinlagring=Dynamisk kolinlagring som ökar varje år tills en kategori mättas.

Kolsänka=En kolsänka är en funktion eller process där koldioxid tas upp ur luften och lagras.

Kton=tusen ton.

LCA=Livscykelanalys.

Pyrolys= en process där ett material upphettas till en hög temperatur, vanligtvis omkring 500–1000°C, i en syrefri miljö, så att det sönderfaller utan att förbränning sker.

Trädgrop=En odlingsbädd anpassad till träd som ska kunna växa i många år.

Innehåll

Begreppsförklaring 4

Sammanfattning 7
Översiktlig sammanfattning av analysen 7

Bakgrund 10

Metod 12
Beräkningsunderlag 12
Avgränsning 12

Skapande av kolsänkor och graden av permanens 14
Råvaror för att skapa långsiktiga kolsänkor 14
Pyrolys 15
HTC – hydrotermisk karbonisering 15
Biokol 16

Nuvarande markanvändning 18

Urbana grönområden 19
Stadsträd 19
Trädstrategier 20
Häckar och buskar 21
Bruksgräs – gräsmattor, golfbanor och fotbollsplaner 22
Växtbäddar 23
Skelettjordar 23

Urban infrastruktur, bebyggd mark och tillhörande mark 24
Hållbart byggande - generella strategier och verktyg 24
Träbyggande 25
Gröna tak 26

Rural markanvändning 28
Produktionsskog 28
Energiskog 29
Växtföljdens och jordbearbetningens påverkan på kolinlagring 30
Biokol i jordbruksmark 31
Återvätning av mullrika jordar 32
Havet 33
Ålgräsängar 33

Övriga möjligheter 35
Vass 35
Biokolsinblandning i byggnadselement 35

Biokolbetong 36
Biobaserad isolering 36
Karbonatisering av betongkross och aska 37
Biokolfilter för rening av dagvatten 38
Biobaserad asfalt 38

Utförlig utvärdering och diskussion 40

Appendix 1. 47
Nyckeltal för beräkning av kolförråd och årlig kolinlagring 47
1.1. Biokol 47
1.2. Bruksgräs - gräsmattor, golfbanor och fotbollsplaner 47
1.3. Växtbäddar 48
1.4. Häckar och buskar 49
1.5. Energiskog 50
1.6. Stadsträd 50
1.7. Jordbruk 51
1.8. Återvätning av mullrika jordar 52
1.9. Produktiv skogsmark 53
1.10. Ålgräs 54
1.11. Träbyggande 54
1.1. Gröna tak 57
1.1. Karbonatisering av aska och betongrester 58

Appendix 2. 60
Samlat underlag för beräkningarna 60

Sammanfattning

Miljöförvaltningen inom Malmö stad gav RISE uppdraget att identifiera möjligheter att öka kolsänkorna inom kommungränsen. Syftet med den här rapporten är att sammanställa ett brett underlag för klimatarbete med åtgärder som möjliggör en ökning av de lokala kolsänkorna i Malmö stads geografiska område. Genom att uppskatta olika åtgärders potential för kolinlagring, teknisk mognadsgrad och kostnadseffektivitet från ett klimatperspektiv, samt visa på vilka skalor det går att jobba med dessa åtgärder inom kommunen, avses rapporteringen ge en översikt över vilka satsningar som kan göras för att kolsänkorna ska kunna bidra till Malmö stads miljö- och klimatmål.

Forskargruppen från RISE har analyserat 18 olika kategorier som har potential att öka den lokala kolinlagringen inom:

- de urbana grönområdena,
- den urbana infrastrukturen, bebyggd mark och tillhörande mark
- rural markanvändning och
- övriga möjligheter.

I beräkningarna ingår inte klimatpåverkan från insatser som krävs för att genomföra åtgärderna, till exempel avverkning, uppdrivning och plantering av skogsplantor, transport av timmer och förädling av virke. I rapporten tas inte hänsyn till om en ökad användning av mark i en kategori, minskar markanvändning inom en annan kategori.

Översiktlig sammanfattning av analysen

Det finns två kategorier som dominerar vad gäller möjligheter att öka kolinlagringen till 2030 i Malmö stad. Den största möjligheten att skapa negativa utsläpp är genom att till stor del använda sig av biobaserade material i nybyggnation av bostäder. Trä eller andra biobaserade material ger upphov till ett kollager i materialet, samtidigt som det sker en återväxt genom årlig kolinlagring i ett hållbart skogsbruk eller återväxt av annat biobaserat material. Inom bostadsbyggandet är det flera komponenter som visar på stor potential till ett lokalt kollager; som vikten av att bevara befintliga träbyggnader, låta träbyggnader utgöra en allt större del av nybyggnation och använda sig av förnyelsebart material vid tillbyggnad och renovering. Dessutom är återanvändning och återvinning till pyrolys för biokol ett sätt att förlänga kolsänkan ytterligare. Det finns gedigen kunskap om träbyggnation och en ökning av förnyelsebart material förväntas inte skapa någon stor kostnadsökning jämfört med andra material. När rapporten skrivs har kostnader för alla olika byggmaterial stigit i snabb takt på grund av konflikt i närområde som tidigare levererat råmaterial. Detta är inte en del av vårt beräkningsunderlag. Till 2030 visar analysen på en potential att öka kolinlagringen för sektorn med ca 460 kton CO_2 ekv. Kton avser tusen ton. När vi beräknat kolinlagringspotentialen till 2122, med antagandet att nybyggnadstakten fortsätter i

samma utsträckning som 2022–2030, så är inlagringspotentialen ca 750 kton CO_2 ekv., men osäkerheten om den framtida nybyggnadstakten är naturligtvis stor. I beräkningen har det antagits att halva beståndet av befintliga bostäder har rivits år 2122 och det biogena kolet har återgått till atmosfären som CO_2.

Den näst största potentialen för att öka kolsänkorna finns inom lantbrukets växtodling där kolsänkan består av att öka kollagret med biokol och att öka den årliga kolinlagringen genom att öka jordens mullhalt. Till 2030 finns det en potential att öka kolsänkan med 366 kton CO_2 ekv.. Det skulle kräva att all växtodlingsareal i kommunen används för att mylla ner 20 ton biokol/ha till 2030. Åtgärden förväntas på sikt ge högre skördar genom en ökad vattenhållande förmåga med en bättre jordstruktur och lägre utlakning av växtnäring. I dagsläget är det kostsamt att köpa in biokol och investering i egen produktion är att rekommendera för att kunna maximera användningen av biokol och därmed uppnå en stor kolinlagring. En ökad produktion av biokol med lokala restprodukter skulle ge möjlighet till stora kolsänkor till ett lägre pris. För att nå potentialen krävs även åtgärder i odlingsteknik för att öka jordens årliga kolinlagring, vilket är en långsam process som har en stor effekt på längre sikt. Förändringarna består huvudsakligen i en mer varierad växtföljd som inkluderar flerårig vall, mellan- och fånggrödor efter huvudgrödan, odling av mer kvävefixerande baljväxter, ökad användning av mullrika gödselmedel samt minskad jordbearbetning. Kunskap om fördelar med ett varierat odlingssystem finns men det behöver även finnas ekonomiska incitament, till exempel avsättning för vall eller ersättning för kolinlagringen för att motivera omläggning av odlingssytemet. Genom en förändrad växtodlingsteknik med mullhöjande effekt och att använda 20 ton biokol/ha kan kolsänkan ökas till 1518 kton CO_2 ekv till 2130.

Analysen visar att den sammanlagda potentialen för ökad kolinlagring genom åtgärder inom de olika kategorierna har potentialen att lagra strax under 1 000 kton CO_2 ekv. till 2030, jämfört med 2022. Tidsperioden är endast 8 år och det krävs stora insatser från Malmö stad för att varje år öka kolinlagringen till den här summan. Samtidigt måste utsläppen sjunka varje år för att nå de mål som Malmö stad har satt upp.

I Tabell 1 presenteras en översiktlig bedömning av de olika kategorierna utifrån en värdering av deras kolinlagringspotential, teknisk mognadsgrad och kostnad för implementering. Teknisk mognadsgrad avser hur mycket kunskap som finns för att direkt implementera tekniken. Kolsänkepotential är baserat på beräkningar baserade på lokala förhållanden och nyckeltal, se Appendix 1. och Appendix 2. Kostnad avser hur fördyrande åtgärden är jämfört med att inte använda sig av den.

En numerisk och mer utförlig sammanställning presenteras i

Tabell 2 på sid 42. I den inkluderas ökningspotential av kolsänkan, kostnadseffektivitet (kr/ton CO_2 ekv) och beskrivs översiktligt övriga för- och nackdelar med åtgärden. Beräkningarna som ligger till grund för resultatet visas i Tabell 10 i Appendix 2. på sid 60.

Tabell 1. Förenklad översikt av de olika åtgärdsområdenas potential till kolinlagring, dess tekniska mognadsgrad och vad det kostar att öka kolsänkan.

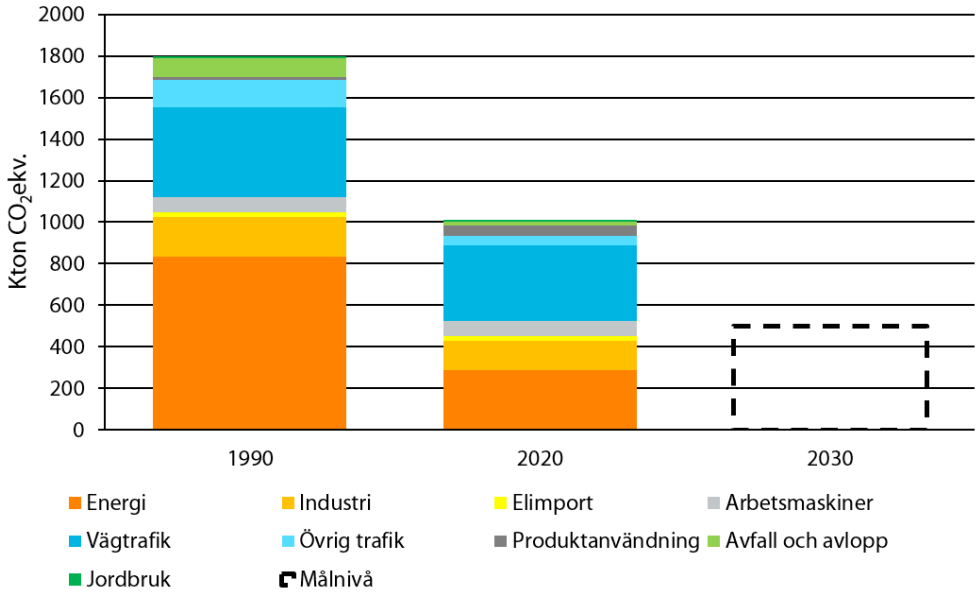
Åtgärdsområde	Teknisk mognadsgrad (låg, medel, hög)	Kolsänkepotential (låg, medel, hög)	Kostnad (låg, medel, hög)	Sidhänvisning
Ökad andel trä i nybyggnation, trä i påbyggnad	Hög	Hög	Låg	25
Optimerad växtföljd & jordbearbetning + biokol	Hög	Hög	Medel	30
Återvätning av mulljordar	Hög	Medel	Låg	32
Produktiv skogsmark + biokol	Låg	Medel	Medel	28
Nermyllning av biokol till bruksgräs och golfbanor	Medel	Medel	Hög	22
Fler gröna tak + biokol	Hög	Låg	Hög	25
Ökad stadsträdplantering + biokol	Hög	Låg	Medel	19
Karbonatisering av aska och betongkross	Låg	Låg	Medel	37
Mer energiskog + biokol	Hög	Låg	Medel	29
Ålgräsängar	Hög	Låg	Låg	33
Växtbäddar perenner, häckar & buskar + biokol	Hög	Låg	Medel	21 & 22
Biokolbetong	Låg	Låg	Medel	36

Bakgrund

Den första januari 2018 trädde Sveriges nya klimatlag i kraft. Den specificerar bland annat att regeringen regelbundet ska ta fram en handlingsplan för hur klimatmålen ska uppnås. Målet är att senast år 2045 ska Sverige inte ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, och därefter uppnå negativa utsläpp. Negativa utsläpp innebär att utsläppen av växthusgaser från verksamheter i Sverige är mindre än till exempel den mängd koldioxid som tas upp av naturen som en del av kretsloppet, eller mindre än de utsläpp Sverige bidrar till att minska utomlands genom att investera i olika klimatprojekt. För att uppnå detta mål ska utsläppen vara 85 % lägre än referensåret 1990[1]. Resterande utsläpp behöver tas bort från atmosfären med kompletterande åtgärder. För att nå målet behöver kolsänkor[2] identifieras och skalas upp, och det finns många olika lagringsmetoder. Vissa metoder ger en kortlivad kolsänka och andra metoder ger upphov till betydligt längre tidshorisont för kolsänkan. Långlivade kolsänkor har en inlagring på flera hundra eller tusen år som till exempel BECCS. BECCS är koldioxidavskiljning från rökgaser efter förbränning av biobränslen som komprimeras till flytande form och lagras i underjordiska bergsformationer. Ursprungligen från engelska Bio Energy with Carbon Capture and Storage. Karbonatisering av mineraler eller användning av biokol som inte innebär förbränning är tekniker som ger ytterligare möjligheter till långsiktig kolinlagring[3]. Möjligheter med CCS/BECCS-teknik som en del i Malmö Stads klimatarbete att uppnå negativa utsläpp har utretts separat och tekniken har därför exkluderats från den här kartläggningen. Kortlivade kolsänkor hjälper till att minska koldioxid i atmosfären så att de långsiktiga teknikerna hinner utvecklas och skalas upp. Kolsänkor kan dessutom vara olika snabba på att lagra in koldioxid.

I Malmö stads miljöprogram för 2021–2030[4] har flera mål satts upp varav flera målområden kopplar till kolsänkor. Mål 1 består i att minska utsläppen av växthusgaser i Malmö som geografiskt område med 70 % till 2030 från 1990 års nivå, Figur 1. Mål 2 är att Malmö stad som organisation ska nå nettonollutsläpp. I de fall där verksamheter inte kan minska sina utsläpp av växthusgaser till 2030 kan de kvarvarande utsläppen kompenseras och det ska i möjligaste mån ske lokalt.

[1] https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/03/myndigheter-ska-ta-fram-forslag-till-sveriges-klimatarbete/
[2] Kolsänka = En kolsänka är en funktion eller process där koldioxid tas upp ur luften och lagras
[3] The Oxford principles for Net Zero Aligned Carbon Offsets (2020)
https://www.smithschool.ox.ac.uk/publications/reports/Oxford-Offsetting-Principles-2020.pdf
[4] https://malmo.se/Miljoprogram-for-Malmo-stad-2021-2030.html



Figur 1. Malmö stads historiska territoriella växthusgasutsläpp och mål för 2030.

Miljöförvaltningen inom Malmö stad gav RISE uppdraget att identifiera möjligheter att öka kolsänkorna inom kommungränsen. Syftet med den här rapporten är att sammanställa ett brett underlag för klimatarbete med åtgärder som möjliggör en ökning av de lokala kolsänkorna i Malmö stads geografiska område. Genom att uppskatta olika åtgärders potential för kolinlagring, teknisk mognadsgrad och kostnadseffektivitet från ett klimatperspektiv, samt visa på vilka skalor det går att jobba med dessa åtgärder inom staden, avses rapporteringen ge en översikt över vilka satsningar som kan göras för att kolsänkorna ska kunna bidra till Malmö stads miljö- och klimatmål.

Metod

Beräkningsunderlag

En sammanställning från Klimatkommunerna har vägt samman olika faktorer, såsom kostnad, energiåtgång, vattenförbrukning och markanspråk samt kolsänkepotential för ett urval av olika lösningar som ger upphov till kolsänkor och deras slutsats är att två lösningar är relativt enkla och samtidigt effektiva – binda in kol i växter och mark och använda biokol[5]. Helena Söderqvist på företaget 2050 Consulting AB har sammanställt rapporten ”Kolinlagring i mark – beskrivning av kolinlagring genom naturliga processer på Malmö stads fastigheter”[6]. Rapportens slutsats är att kol som motsvarar 31 500 ton CO_2 ekv. lagras årligen i 4 924 fastigheter som ägs av kommunen, varav 115 km^2 (11 500 hektar) ägs av Malmö stad och 8,7 km^2 (865 hektar) upplåts med tomträtt. Samtidigt syns en trend med ökad bebyggelse på bekostnad av urbana och rurala grönytor[7]. Av den anledningen är det viktigt att komplettera utvärderingar med potentiell ökning av kolinlagring i bebyggelse som till exempel träbyggnad. Det finns flera komplicerande faktorer med en sammanställning av kommunens potential som den här. Ett exempel på detta är vilka möjligheter Malmö Stad har att råda över markens användning eller styra val av till exempel byggmaterial. I det här arbetet har flera antaganden gjorts för att visa på möjligheter, men det kan krävas en långsiktig strategi från kommunen för att påverka olika sektorer eller enas om investeringar i tid och pengar för att nå interna kolinlagringsmål. Ett annat konkret exempel är hur möjligheterna ser ut för att ställa krav på vad som ska odlas och hur, till de som brukar lantbruks- och skogsmark i Malmö stad. Det måste löna sig för företagare att göra det som är bra för kolinlagring och en möjlig väg att gå vid upphandling kan vara krav på anslutning till den frivilliga certifieringsmarknaden för kolinlagring.

I den här sammanställningen har nyckeltal från tidigare publikationer uppdaterats och utökade utvärderingsparametrar beaktats, som teknisk mognadsgrad för implementering, samhällsekonomiska effekter och en tidsaspekt för inlagring genom olika metoder. Molvikten för koldioxid har dividerats med molvikten för kol för att beräkna CO_2 ekv. (44/12 g/mol).

Avgränsning

Det finns många kategorier som lagrar kol och bidrar till årlig kolinlagring i Malmö stad, men i den här sammanställningen utgår beräkningarna från de områden som bedöms ha en potential att ökas. Vi utgår ifrån premissen att inget biokol används i nuläget för att visa på effekten av storskalig användning inom olika områden. När

[5] En översikt över olika sätt att skapa kolsänkor | Klimatkommunerna
[6] Söderqvist H. (2021) Kolinlagring i mark. 2050 Consulting AB.
[7] Miljöbarometern. Grönytor (2020) Grönyta, tabell - Miljöbarometern - Malmö stad (miljobarometern.se)

priser för biokol presenteras som kr/ CO_2 ekv. är de marknadsmässiga och inköpskostnaden kan förväntas sjunka avsevärt om Malmö stad investerar i en egen pyrolysanläggning. I den här rapporten görs en analys av kollager och årlig kolinlagring, utan att ta hänsyn till eventuella utsläpp i samband med aktiviteter som kan kopplas till kategorierna. Anledningen är att det är mycket tidskrävande att göra en komplett livscykelanalys (LCA) av de olika kategoriernas associerade utsläpp för implementering, transport och skötsel. Osäkerheten är för stor och det råder inte enighet i hur alla steg ska beräknas inom och mellan sektorer[8, 9]. Ökad kolinlagring till följd av förbättrad tillväxt inom primärproduktion av livsmedel och skog behöver mer forskning för att tas med i beräkningar och har av den anledningen inte inkluderats i de kvantitativa beräkningarna.

[8] Clavreul, J., Guyonnet, D., & Christensen, T. H. (2012). Quantifying uncertainty in LCA-modelling of waste management systems. *Waste Management*, *32*(12), 2482–2495.

[9] Di Maria, A., Eyckmans, J., & Van Acker, K. (2018). Downcycling versus recycling of construction and demolition waste: Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. Waste management, 75, 3-21.

Skapande av kolsänkor och graden av permanens

Den växande biomassan består av cirka 50% kol, som växten tar upp under sin livscykel från atmosfären i form av koldioxid (CO_2). Med energin från solljus, separerar växten kolet (C) från den upptagna koldioxiden och bygger upp det till organiska molekyler som till exempel glukos, cellulosa eller lignin[10]. De kolrika strukturerna kan ge upphov till en kort inlagring om den snabbt avgår som CO_2 som till exempel i odlingssystem med ettåriga grödor eller på längre sikt om det är en vedartad växt, till exempel träd, som får nå sin fulla tillväxt. Även marken bygger upp sitt kolförråd från döda växter och djur. Träden kan kunna förbrännas som flis i ett värmeverk och då har kolet återvänt till atmosfären igen. Kolet kan bevaras om det vedartade materialet används i en träprodukt som bevaras under många år som till exempel möbler och byggnader[11]. Om växtbiomassan pyrolyseras blir ungefär hälften av växtens kol flyktig och avgår som brännbar gas. Den andra halvan omvandlas till en stabil, fast form av kol (biokol) som bryts ned extremt långsamt under naturliga förhållanden. Förutsatt att biokolet inte förbränns finns en stor del av dess kol kvar i det terrestra systemet under flera århundraden och i flera fall tusen år som ett markbundet kollager[12, 13]. Kortare kolcykler är också viktiga i de fall de skapar en nyuppkommen kolsänka jämfört med nuvarande scenario. Ett hundraårsperspektiv på kolinlagring är ett relevant tidsperspektiv då klimatgasers effekt vanligtvis översätts till dess potential i ett hundraårsperspektiv (Global Warming Potential 100 eller GWP100). Nyckeltal för kolsänkor i samband med olika tekniker presenteras i Appendix 1.

Råvaror för att skapa långsiktiga kolsänkor

Jorden och havet tar emot och binder in stora mängder koldioxid. Därefter är skogen och enskilda träd störst i inlagringspotential. Det är därför av största vikt att träd bevaras så länge som möjligt, om de inte avverkas för att bygga träbyggnader som fortsätter lagra kolet under hela sin livstid. Biokol ger upphov till stabila kolsänkor, men dess råvaror bör vara restprodukter och inte stamved från skog vilket annars riskerar öka avverkningstakten av skogen som kan ta upp koldioxid ytterligare några tiotal år med god tillväxt. Grenar och toppar från avverkning, så kallad GROT, förmultnar snabbt i skogen och avgår som CO_2, vilket inte sker om materialet

[10] EBC (2020), Certification of the carbon sink potential of biochar, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (http://European-biochar.org). Version 2.1E of 1st February 2021

[11] Långsiktig kolinlagring genom organiska material. RISE expertisområde. https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/kolinlagring

[12] EBC (2020), Certification of the carbon sink potential of biochar, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (http://European-biochar.org). Version 2.1E of 1st February 2021

[13] Spokas, K. A. (2010). Review of the stability of biochar in soils: predictability of O: C molar ratios. Carbon Management, 1(2), 289–303.

insamlas för pyrolys och därefter återförs till skogen. Det finns flera olika möjliga användningsområden för den här typen av restprodukter, vilket gör att nyttan behöver styra prioriteringsordningen för användande av resursen. Ett exempel är tillförd energi till fjärrvärme där ca 39% härrör från förnybart (GROT[14], sågspån, bark, pellets, briketter, pulver, bioolja, tallbeckolja, salix och andra åkergrödor) på nationell nivå[15]. Om förbränningen i stället modifieras till pyrolys, för att skapa biokol som ger upphov till kolinlagring, minskar mängden fjärrvärme från råvarorna. Det sänker nivån av koldioxidutsläpp, vilket kan leda till minskad koldioxidskatt och nyttor där biokolet används. Samtidigt innebär det att mindre energi genereras från råvaran, vilket kan öka efterfrågan på till exempel energiskog för att bibehålla mängden energi från biobränsle. Fjärrvärmeproduktion behöver dock på samhällsnivå fortsatt vara i balans för att försörja anslutna fjärrvärmekunder. Fuktiga restströmmar av slam från reningsverk, pappersbruk, fasta rötrester från biogasproduktion och tång kan förädlas genom hydrotermisk karbonisering (HTC) för att avlägsna oönskade ämnen och skapa en kolinlagrande produkt.

Pyrolys

Pyrolys är en termokemisk omvandlingsprocess som innebär att en råvara med organiskt innehåll utsätts för så hög temperatur att det organiska bryts ner utan närvaro av syre eller andra oxidationsmedel. En syrefri miljö kan åstadkommas genom tillförsel av en inert gas som exempelvis kvävgas eller genom att hindra lufttillträde. Det organiska kan bestå av vilka organiska molekyler som helst som är fasta vid rumstemperatur, men i praktiken härrör ofta råvaran från växtriket och består av därför huvudsakligen av stora molekyler som cellulosa, hemicellulosa och lignin. Nedbrytningen sker genom pyrolysreaktioner som innebär att dessa molekyler bryts upp i mindre, varav en del är i gasform. Således bildas det typiskt gaser som CO, CO_2, H_2, CH_4 och andra lätta kolväten samt tjära. De brännbara gaserna kan förbrännas för att producera den värme som behövs för att höja temperaturen. Pyrolysen kan på så vis driva sig själv. Tjäran består av lite större molekyler som kondenserar vid rumstemperatur. Vissa pyrolysreaktioner sker redan vid så låga temperaturer som 200 °C men för att pyrolysen skall ske på en tidskala om minuter så måste temperaturen närma sig 400 °C[16]. I praktiken används oftast högre temperatur. Biokol är den fasta och kolrika återstod som bildas vid pyrolysen. Fördelningen mellan gaser och biokol och dess sammansättning beror på råvaran (sammansättning och storlek), temperaturen under pyrolysen samt uppehållstiden vid denna temperatur. Målet är att 50% av råvarans kol skall hamna i biokolet.

HTC – hydrotermisk karbonisering

Hydrotermiska metoder är processer där en råvara med organiskt innehåll är omgiven av flytande vatten under övertryck och höjd temperatur. HTC sker typiskt i temperaturintervallet 180–260 °C och vid tryck på 2–6 bar. Vattnet är här en reaktant som reagerar med råvaran genom s.k. hydrolys varefter en polymerisering följd av en

[14] GROT = avverkningsrester som grenar, bark, toppar.
[15] Khodayari, R (2021) Tillförd energi. Energiföretagen. https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/tillford-energi/
[16] Liu et al. Development of Biochar-Based Functional Materials: Toward a Sustainable Platform Carbon Material, DOI: 10.1021/acs.chemrev.5b00195 Chem. Rev. 2015, 115, 12251−12285.

karbonisering sker[17]. Generellt är kolet från HTC hydrofobt och sprött. Råvarans sammansättning samt processparametrar som temperatur, tryck, uppehållstid och pH styr hur mycket kol som erhålls från processen. Höjd temperatur eller ökad uppehållstid ökar den specifika ytan och värmevärdet medan biokolsutbytet minskar. Ökad pH minskar den specifika ytan[18]. Det finns många tänkbara tillämpningar av biokol från HTC[19] och flera torde innebära att kolet binds under lång tid. Kommersiella exempel finns men är ganska få[20][21][22]. Till skillnad från vid pyrolys skall inte råvaran vara torr. Alltså behövs ingen torkning, vilket är energibesparande jämfört med pyrolys när det gäller blöta råvaror som gödsel och slam från reningsverk. Dessa råvaror kan ibland innehålla medicinrester, patogener och residual mikroplast, vilket är en fördel att bränna bort[23]. Enligt EBC:s och IBI:s gränsvärden klassificeras HTC-kol som pyrolysaska på grund av exempelvis lågt kolinnehåll i förhållande till biokol[24].

Biokol

Lämpliga råvaror för pyrolys till biokol är till exempel träflis, trädgårds- och parkavfall, rester från skogsavverkning, byggrester från träbyggnad och demolering av träbyggnader. Biokolet får flera ändrade egenskaper efter att råvaran pyrolyserats som till exempel

- ökad vattenhållande förmåga
- pH-höjning och
- ökad porositet
- kolsänka som under lång tid binder kol som annars skulle emitteras till atmosfären och bidra till klimatförändringar.

Biokol har en stabil struktur och en mycket långsam nedbrytningshastighet på mellan 150 och 5 000 år beroende på kvalitet. Biokolets effekt som kolsänka beräknas uppgå till omkring 2,5 ton CO_2 per ton producerad biokol ur ett hundraårsperspektiv. Siffran varierar beroende på biokolets kolhalt och stabilitet (H/C_{org} eller O/C, vilket visar hur känsligt kolet är för nedbrytning av syror eller syre)[25, 26]. Om biokol appliceras direkt på jordar eller indirekt i jordbruksjordar via dess användning i djurfoder, strö i stall, flytgödselhantering, kompost eller anaeroba rötkammare, kan en genomsnittlig nedbrytningshastighet på 0,3% per år antas för biokol med en H/C_{org}-kvot under 0,4

[17] Shen, Y. (2020). A review on hydrothermal carbonization of biomass and plastic wastes to energy products. *Biomass and Bioenergy*, *134*, 105479.
[18] Khan, T.A., Anisah, S.S., Saidatul, S.J., Ab Rahim, M.H., Park, J., Kim, H. (2019) Hydrothermal carbonization of lignocellulosic biomass for carbon rich material preparation: A review. Biomass and Bioenergy 130, 105384.
[19] De Mena Pardo, B., Doyle, L., Renz, M., Salimbeni, A. (Editors) (2016): Industrial Scale Hydrothermal Carbonization: new applications for wet biomass waste.
[20] De Mena Pardo, B., Doyle, L., Renz, M., Salimbeni, A. (Editors) (2016): Industrial Scale Hydrothermal Carbonization: new applications for wet biomass waste.
[21] https://www.antaco.co.uk/
[22] https://www.terranova-energy.com/en/
[23] Wang, H., Yang, Z., Li, X., & Liu, Y. (2020). Distribution and transformation behaviors of heavy metals and phosphorus during hydrothermal carbonization of sewage sludge. Environmental Science and Pollution Research, 27(14), 17109-17122.
[24] EBC-Guidelines for the Certification of Biochar Based Carbon Sinks Version 2.1 from 1st February 2021. https://www.european-biochar.org/media/doc/2/c_en_sink-value_2-1.pdf
[25] Spokas, K. A. (2010). Review of the stability of biochar in soils: predictability of O: C molar ratios. Carbon Management, 1(2), 289–303.
[26] Fransson AM, Gustafsson M, Malmberg J, Paulsson M, (2020). Biokolhandboken – för användare. https://biokol.org/wp-content/uploads/biokolshandbok.pdf

[27, 28]. 100 år efter markapplicering kan 74% av det ursprungliga kolet i biokol fortfarande redovisas som inlagrat kol[29]. Det bedöms att kol med en O/C kvot lägre än 0,2 ger en halveringstid för kolet på mer än 1000 år[30]. Pyrolystemperaturen påverkar biokolets livslängd. Pyrolystemperatur> 500 °C leder vanligtvis till längre (dvs > 1000 år) halveringstider. Högre pyrolystemperaturer leder också till att biokol med högre kolinnehåll och större specifik yta. Valet av råmaterial har stort inflytande på biokolets egenskaper. Specifik yta är störst i träbaserat biokol, vilket i kombination med pyrolystemperatur sannolikt skulle kunna främja större förändringar i markens fysiska egenskaper jämfört med biokol från annat råmaterial. Råvaror av örtartade växtdelar ger biokolet större katjonbyteskapacitet än annat biokol, vilket potentiellt kan leda till långsiktiga förändringar i markens näringsretention[31]. Det går att skapa biokol för att minska vissa miljöproblem och i andra fall för att tillhandahålla olika näringsämnen för växtodling[32]. Inom anläggning och VA önskas ett biokol med lågt fosforinnehåll eftersom det annars riskerar att öka övergödning av vattendrag som dagvatten leds till. Det kan vara aktuellt för regnbäddar och infiltrationsdiken om de har översvämningsfunktion. I odlingar med endast lite substrat, som till exempel gröna tak, är buffertkapaciteten låg och det kan vara viktigt att använda biokol med ett ganska neutralt pH. På skogs- eller jordbruksmark kan en pH-höjning vara intressant för att kompensera för försurning från utsläpp. I de fallen är biokol med ett högt pH att föredra.

I dagsläget är efterfrågan på biokol hög och tillgången är låg. Priset på biokol förändras i takt med att produktionen ökar och denna utveckling går att följa på företaget Envinns hemsida som uppdateras flera gånger om året[33]. Generellt sett är priset lägre vid köp av stora volymer som upphandlas med en producent.

---

[27] Budai, A., Zimmerman, A. R., Cowie, A. L., Webber, J. B. W., Singh, B. P., Glaser, B., ... & Joseph, S. (2013). Biochar Carbon Stability Test Method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability. International biochar initiative, 1-10.

[28] Camps-Arbestain, M., Amonette, J. E., Singh, B., Wang, T., & Schmidt, H. P. (2015). A biochar classification system and associated test methods. In *Biochar for environmental management* (pp. 197-226). Routledge.

[29] EBC (2020), Certification of the carbon sink potential of biochar, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. (http://European-biochar.org). Version 2.1E of 1st February 2021

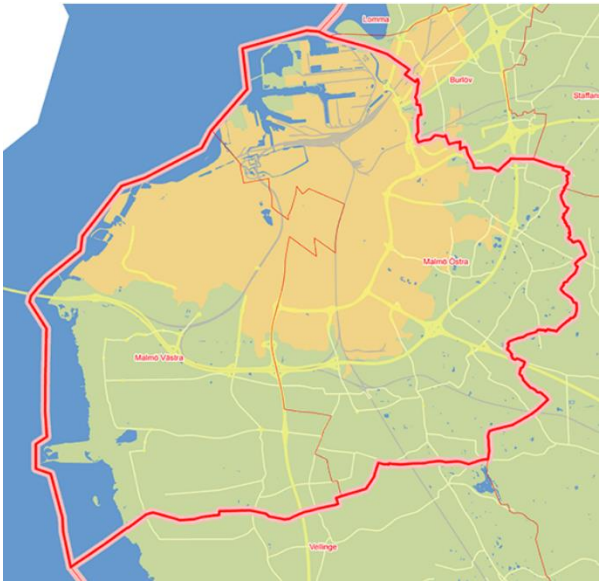
[30] Spokas, K. A. (2010). Review of the stability of biochar in soils: predictability of O: C molar ratios. Carbon Management, 1(2), 289–303.

[31] Ghodake, G. S., Shinde, S. K., Kadam, A. A., Saratale, R. G., Saratale, G. D., Kumar, M., ... & Kim, D. Y. (2021). Review on biomass feedstocks, pyrolysis mechanism and physicochemical properties of biochar: State-of-the-art framework to speed up vision of circular bioeconomy. Journal of Cleaner Production, 126645.

[32] Ippolito, J. A., Cui, L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., ... & Borchard, N. (2020). Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. Biochar, 1–18.

[33] https://envinnbiokol.se/marknad/#denfriakolmarknaden

Nuvarande markanvändning



Figur 2. Markanvändning i Malmö kommun (SCB).

För att analysera möjligheten med nuvarande och potentiell ökning av kolinlagring är det viktigt att förstå de lokala förutsättningarna i kommunen. Malmö kommun sträcker sig över 335 km², varav ca 54% är vatten och 47% land, Figur 2. Markanvändning i Malmö kommun (SCB).. Söder om Lernacken finns omfattande strandängar som fortsätter in i Vellinge kommun. Ute I Öresund finns grunda havsområden med stor betydelse för det marina livet. Särskilt betydelsefulla är ålgräsängarna och musselbankarna[34].

Markanvändningen består till stor del av tätort, men det finns också ett odlingslandskap. I den bebyggda tätorten är 31 km² klassificerat som grönyta[35]. Jorden är kalk- och näringsrik vilket gynnat utvecklingen av jordbruk, som upptar 31% av Malmö kommuns markanvändning[36, 37]. Berggrunden består av kalksten och ligger på några meters till 10-tals meters djup. Vid Kvarnby, Limhamn och Klagshamn har kritfyndigheterna brutits och det finns flera dammar och sjöar i dagbrotten där kalkrikt material ligger på stränderna. Små rester av ängs- och betesmarker finns i östra delen på gränsen mot Svedala kommun. Äldre gårdsmiljöer, parker och naturmiljöer har blivit en integrerad del av stadens grönstruktur[38]. Grönytan inom tätorten minskar och jordbruksmarken bebyggs i allt större utsträckning[39].

[34] https://www.lansstyrelsen.se/skane/samhalle/planering-och-byggande/naturvardsplan/skane-sydvast.html
[35] Miljöbarometern. Grönytor (2020)
[36] https://www.lansstyrelsen.se/skane/samhalle/planering-och-byggande/naturvardsplan/skane-sydvast.html
[37] SCB (2015) Kommunen i siffror https://kommunsiffror.scb.se/?id1=1280&id2=null
[38] https://www.lansstyrelsen.se/skane/samhalle/planering-och-byggande/naturvardsplan/skane-sydvast.html
[39] Miljöbarometern. Grönytor (2020) Grönyta, tabell - Miljöbarometern - Malmö stad (miljobarometern.se)

Urbana grönområden

Begreppet grönområden refererar till allmän platsmark med gräs-, busk- och trädvegetation i tätorten. Beroende av areal så kan den urbana vegetationens bidrag till kolinlagring vara ganska begränsad[40], men dagtid är koldioxidupptaget omfattande från till exempel urbana träd[41]. Delar av koldioxiden transpireras under natten och återgår till atmosfären. Genom att öka mängden biomassa på en yta som tidigare inte lagrat in kol uppstår en kolsänka även när kolcykeln är kortsiktig som på gröna tak, växtväggar eller ökad andel växtbäddar. För att öka den långsiktiga kolsänkan bör biokol användas vid uppbyggnad av ett grönområde, men kan även användas vid växtbäddsrenovering för existerande stadsträd och som dressmaterial för gräsytor. Den optimala mängden biokol varierar med vad det ska leverera för tjänst, se appendix 1 under rubriken *Biokol*. Önskas ökad vattenhållande förmåga så skiljer sig det optimala materialet och dosen från ett näringsrikt biokol som ska ge långsiktig förbättring av tillväxt hos växten.

Stadsträd

Stadsträd har en multifunktionell påverkan på städer och dess innevånare. De ger skugga och avdunstningen bidrar till temperatursänkningar på sommaren, ger boplatser och föda åt flera arter samt ger en känsla av välmående för många[42]. Växtbäddar och rötter suger upp nederbörd, vilket minskar dagvattenflöden. Samtidigt är det viktigt att väga in kostnader för plantering och underhåll för att ge förutsättningar för välmående träd och säkra vistelsemiljöer i deras närhet. Trädgropens utformning är av stor vikt för att undvika att rötter söker sig in i rör och bryter upp vägbeläggningen. Kolinlagring i samband med stadsträd syftar på den mängd kol som finns bundet i de existerande trädens biomassa ovan och under jorden, samt den årliga ökningen av inlagrat kol. Träd lagrar kol under en relativt lång tid, i städer oftast under flera hundra år. Även jorden under träden binder kol och träden är därför viktiga för att hålla kvar kol i marken. Det finns ca 80 000 karterade stadsträd i Malmös stads träddatabas[43] varav minst 3 000 är mer än 100 år gamla och 20 000 träd är mer 50 år[44]. Alla träd är inte karterade eftersom syftet med inventeringen har varit att skapa ett underlag för drift och underhåll, därför kan satellitdata av trädens krontäckning vara ett bättre mått på hur stort trädbeståndet är. Malmö tätort har uppskattningsvis en krontäckningsgrad på 22 % i dagsläget, vilket bidrar med en kolsänka genom levande biomassa i träd på 143 540 ton CO_2 ekv enligt

[40] Velasco, E., Roth, M., Norford, L., & Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration?. *Landscape and urban planning*, *148*, 99-107.
[41] Fares, S., Paoletti, E., Calfapietra, C., Mikkelsen, T. N., Samson, R., & Le Thiec, D. (2017). Carbon sequestration by urban trees. In *The Urban Forest* (pp. 31-39). Springer, Cham.
[42] Gerstenberg, T., & Hofmann, M. (2016). Perception and preference of trees: A psychological contribution to tree species selection in urban areas. Urban Forestry & Urban Greening, 15, 103-111.
[43] GIS-enheten, Malmö stad
[44] GIS-enheten, Malmö stad

beräkningar inom ramarna för projektet iTree (2020)[45]. En beräkning i iTree[46] visade att ett genomsnittligt befintligt träd lagrar in ca 43 kg CO_2 ekv. per år. Den totala kolinlagringen under ett stadsträds livslängd var i genomsnitt ca 2 ton CO_2 ekv. Genom att använda tåliga träd som planteras i välkonstruerade trädgropar kan livslängd och kolinlagring förlängas. Att bevara och förhindra onödig nedtagning av träd och skog, samt nyplantering av träd, är viktiga insatser både för klimat, hälsa och miljö. När träden beskärs eller av olika anledningar tas ned kan dess biomassa pyrolyseras till biokol och därmed fungera som kolsänka under ytterligare ett antal år vilket gör träd till en potentiellt långvarig kolsänka.

De arter som varit vanligast vid nyplantering de senaste 5 åren är korstörne, ek, svarttall och avenbok. Ett stadsträd för nyplantering är ofta ca 15 år gammalt och har en stamomkrets på 20–25 cm[47]. Det innebär en stamdiameter på ca 6–8 cm. En modellering med iTree gjordes på nyplanterade träd utifrån de arter som är vanligast vid nyplantering. Resultatet visar att ett nyplanterat träd står för en årlig inlagring av 8 kg CO_2 ekv/år[48].

Trädstrategier

Ett mål enligt Malmö stads utkast till trädstrategi[49] är att öka krontäckningsgraden till 25 % från nuvarande 22 %. Malmö stad planterar ca 1500 nya träd per år i dagsläget, men det antalet ersätter bara de träd som tas bort av olika anledningar[50]. För att nå uppsatta mål om ökad krontäckning behöver minst 3500 träd planteras per år. Av dem ersätter 1500 träd andra träd som har tagits bort och den verkliga ökningen av träd blir endast 2000 träd per år. En nyplantering av 2000 nya träd ger en extra kolinlagring med 17 ton CO_2 ekv./år som kommer att öka exponentiellt eftersom 2000 nya träd/år ger en kolinlagring på 17 ton CO_2 ekv per år som sedan kommer att fortsätta lagra in 17 ton CO_2 ekv per år.

En nylanserad tumregel för den urbana miljön är 3-30-300, vilket innebär att stadsinnevånare bör kunna se tre träd från sitt hus, städerna bör ha en krontäckningsgrad på minst 30% och inte mer än 300 meter till närmaste grönområde. Det är riktlinjer utvecklade av professor Cecil Konijnendijk[51], baserat på kunskap om hur urbana träd minskar förekomst av värmeöar, förbättrar mental och fysisk hälsa. De kan även bidra till färre partiklar i luften och reducera buller[52, 53].

Om man skulle inspireras av Köpenhamns trädstrategi skulle 12 träd per 1000 invånare och år planteras[54], vilket för Malmös del skulle innebära 4220 träd per år (351 749 innevånare 2021).

---

[45] Deak, J, och J. Österberg, 2020, iTree Sverige, för strategiskt arbete med ekosystemtjänster, SLU, https://www.tradforeningen.org/wp-content/uploads/2020/12/Slutrapport-i-Tree-Sverige.pdf
[46] iTree Eco user's manual ver 6. 2021-09.22
[47] Personlig kommunikation Johan Östberg, SLU
[48] iTree Eco user's manual ver 6. 2021-09.22.
[49] Trädstrategi Malmö stad Remissversion 2017-09-13
[50] Trädstrategi Malmö stad Remissversion 2017-09-13
[51] Green cities Europe. https://se.thegreencities.eu/fakta-om-3-30-300/
[52] Konijnendijk van den Bosch, C. Promoting health and wellbeing through urban forests – Introducing the 3-30-300 rule. IUCN Urban Alliance. https://iucnurbanalliance.org/promoting-health-and-wellbeing-through-urban-forests-introducing-the-3-30-300-rule/
[53] Sandberg, K. (2021) Uppdaterad åtgärdstabell 2021–2025 för Åtgärdsprogram för särskilt skyddsvärda träd, Naturvårdsverket.
[54] Trädstrategi Malmö stad Remissversion 2017-09-13

Häckar och buskar

Häckar kan användas för att minska vind, luftföroreningar och minska insyn eller ge en vacker inramning. De ger skydd åt fåglar, små däggdjur och insekter, men de har också en kapacitet att lagra kol. Kolinlagringen sker både över och under jord och dess omfattning beror på häckens ålder och om den är lövfällande eller städsegrön. I Malmö stad finns kategorierna lekbuskage, prydnadsbuskage, bruksbuskage och klippta häckar som tillsammans upptar en yta på 244 772 m², enligt serviceförvaltningen på Malmö stad. I metaanlayser av publicerad forskning har det uppmätts en total kolinlagring som motsvarar vissa typer av skogar, vilket belyser vikten av att använda sig av buskar och häckar som även ger förutsättningar för ökad biodiversitet[55]. I England finns en tradition av att inte bara etablera häckar i parker utan även runt odlingsmark. Det har resulterat i en stor mängd ekosystemtjänster varav kolinlagring är en. Det har konstaterats att det finns möjlighet att öka kolinlagringen substantiellt när häckar tillåts växa både bredare och högre[56]. Häckars förmåga att minska blåst, luftföroreningar[57] och buller är en fördel både i urban och rural kontext. En minskning av jorderosion orsakad av vind är av stor vikt för att inte den näringsrika matjorden skall gå förlorad[58]. Vi inkluderar ingen potentiellt ökad areal i beräkningarna i rapporten eftersom traditionen med häckar runt fält inte finns allmänt etablerat i Sverige som till exempel i Storbritannien. Vi inkluderar däremot möjligheten att tillsätta biokol till odlingsbäddarna för häckar och buskar av olika slag. Nyplantering av häckar kan också ske i skelettjordar med biokol eller i biokolsmakadam när de står på öppna ytor.

En målkonflikt som berör täta häckar på platser där brott ofta begås, är en känsla av otrygghet relaterad till att någon skulle kunna vara gömd bakom buskage[59]. Upplevelsen är relaterad till trånga områden, medan upplevelsen av hot inte är närvarande på större grönytor[60]. En studie från Göteborg har visat att kvinnor och äldre upplever störst hälsofrämjande påverkan från de urbana grönytorna och ju mer naturtrogna desto mer positiv upplevelse[61]. Häckar som ramar in odlingsmark tar även mark i anspråk och en vandrande skugga uppstår på dess norrsida. För vissa grödor kan det vara positivt för att minska avdunstningen sommartid, men flera grödor missgynnas av skugga under framför allt vår och höst. För att undvika problem med rotinträngning i dräneringssystem kan ett val av arter med utpräglad pålrot vara en fördel. Det finns även kvävefixerandebuskar som minskar risken för att grödans gödning används av omgivande buskar.

---

[55] Drexler, S., Gensior, A., & Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. Regional Environmental Change, 21(3), 1-14.

[56] Axe, M. S., Grange, I. D., & Conway, J. S. (2017). Carbon storage in hedge biomass—A case study of actively managed hedges in England. Agriculture, ecosystems & environment, 250, 81-88.

[57] Janhäll, S. (2015). Review on urban vegetation and particle air pollution–Deposition and dispersion. *Atmospheric environment*, *105*, 130-137.

[58] Drexler, S., Gensior, A., & Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. Regional Environmental Change, 21(3), 1-14.

[59] Lis, A., Pardela, Ł., Iwankowski, P., & Haans, A. (2021). Are trees and shrubs unsafe hiding places? Impact of plant forms on the perception of danger in urban green spaces in crime hot spots. Landscape Online, 91, 1-14.

[60] Kusmane, A. S., Ile, U., & Ziemelniece, A. (2019, February). Importance of trees with low-growing branches and shrubs in perception of urban spaces. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 471, No. 9, p. 092061). IOP Publishing.

[61] Sang, Å. O., Knez, I., Gunnarsson, B., & Hedblom, M. (2016). The effects of naturalness, gender, and age on how urban green space is perceived and used. *Urban forestry & urban greening*, *18*, 268-276.

Bruksgräs – gräsmattor, golfbanor och fotbollsplaner

Kolinlagringen på gräsmark sker framför allt under markytan, men på klippta gräsytor för rekreation eller sport är utsläpp från skötsel och underhåll ofta större än kolinlagringen. Intensivt skötta gräsytor gödslas med konventionell kvävegödning, vars produktion vanligen resulterat i ansenliga utsläpp av CO_2. Gräset klipps och i vissa fall blåses bort med maskiner som tankas med fossila drivmedel[62, 63]. För att uppnå en kolsänka i den här kategorin krävs en övergång till gräsklippning drivet av förnyelsebar energi och att produktionen av kväve inte kräver fossil energi[57, 58]. När gräsklipp lämnas kvar återgår en del av kvävet vilket minskar behovet av kvävegödsling, men en stor andel av både kol och kväve återgår till atmosfären om klippet ligger exponerat för luften. Genom att samla in biomassan från gräsytorna för rötning kan biogasproduktionen ersätta fossilgas och rötresten kan ersätta kvävegödning till livsmedelsgrödor. Vid förbränning och gödsling återgår kolet till atmosfären igen. Det ger en kort lagringscykel som släpps ut och förnyas årligen. En klimatmässigt bättre lösning är att blanda in vitklöver i parkgräs, vilket bidrar med kvävefixering från luften. En övergång till extensiv äng ger lägre behov av klippning, men det har observerats en svag minskning av kolinlagring[64]. Andra nyttor som biologisk mångfald är ett starkare argument än kolinlagring för övergång till äng från bruksgräs[65].

För att öka gräsytors kolinlagring vid anläggning kan biokol myllas ner eller toppdressas på redan etablerat gräs. Det har även fördelen att ge en förbättrad vattenhållande förmåga. Biokolet kan med fördel vara ett näringsrikt eller till och med näringsberikat biokol. En total mängd på 2 kg/m^2 är vanlig, men om det är näringsberikat kan 4 kg/m^2 vara en lämplig dosering. Dosen kan fördelas till flera tillfällen för bästa resultat.

En fullstor fotbollsplan i Lund toppdressades med 1 kg/m^2 biokolpellets med goda resultat på gräsets tillväxt[66]. I skånska Gärsnäs dressades med den dubbla mängden biokolspellets in i ytan på en nyanlagd fotbollsplan, 2 kg/m^2. Det har resulterat i god tillväxt, hållfasthet och slitstyrka[67].

I Malmö stad finns 1 257 435 m^2 så kallat bruksgräs, vilket ger stora möjligheter för minskade CO_2-utsläpp och ökad kolinlagring. Det finns även 2 698 000 m^2 golfyta i Malmö kommun där kolinlagringen skulle kunna ökas med tillsatt biokol vid nyetablering eller genom att dressa ytan.

---

[62] Townsend-Small, A., & Czimczik, C. I. (2010). Correction to "Carbon sequestration and greenhouse gas emissions in urban turf". Geophys. Res. Lett, 37, L06707.
[63] Guertal, E. A. (2012). Carbon sequestration in turfed landscapes: a review. Carbon sequestration in urban ecosystems, 197–213.
[64] Poeplau, C., Marstorp, H., Thored, K., & Kätterer, T. (2016). Effect of grassland cutting frequency on soil carbon storage–a case study on public lawns in three Swedish cities. Soil, 2(2), 175-184.
[65] Ignatieva, M., Eriksson, F., Eriksson, T., Kätterer, T., Tidåker, P., Wissman, J., ... & Hedblom, M. (2020). Pros and cons of transdisciplinary research: A case study of Swedish lawns and their sustainable alternatives. Urban Forestry & Urban Greening, 56, 126799.
[66] Lunds kommun. https://www.mynewsdesk.com/se/lund/pressreleases/foerdelar-foer-idrott-miljoe-och-klimat-paa-sveriges-foersta-fotbollsplan-med-biokol-2949591
[67] Skånefrö. https://skanefro.se/sveriges-forsta-nyanlagda-klimatpositiva-fotbollsplan/

Växtbäddar

Med växtbäddar avses alla typer av öppna vegetationsytor för buskar, träd och perenner. En växtbädd kan också användas för dagvattenhantering. Vid nyplantering och eller växtbäddsrenovering använder man ett substrat som ska förankra vegetationen samt utgöra ett vatten- och näringsmagasin för vegetationen. En viktig faktor är också att gasutbytet fungerar. Substratet kan vara en tillvaratagen matjord men det vanligaste i urban miljö är att man har ett massunderskott och behöver köpa in substratet från en leverantör som oftast tillverkat det genom att blanda t.ex. sand, ler och torv. Torv som kolkälla är till skillnad från biokol inte stabil utan bryts ned i kontakt med syre. En ny typ av substrat bestående av bergkross och biokol har visat sig fungera bra på grund av sin öppna struktur samt för att det inte är packningskänsligt och därmed har ett bra gasutbyte oavsett hantering. En vanlig blandningsrelation i detta substrat är 25 volymprocent av en biokol/kompost-blandning av storleksfraktionen 2/6 mm eller liknande. I biokol/kompostblandningen har man oftast lika andelar biokol och kompost[68]. Detta innebär en biokolinblandning på ca 12–13 volymprocent, dvs. 120–130 liter biokol per m^3 växtbädd.

Vid anläggning av regnbäddar där stora volymer vatten infiltreras genom växtbädden och vidare ut på ledningsnätet bör man beakta att inblandning av biokol och kompost i substratet ibland har bidragit till läckage av fosfor. Det har tillskrivits andelen finmaterial i biokolet samt inblandad kompost. Man behöver säkerställa att det totala näringsinnehållet i regnbäddarna inte är för högt och riskerar att lakas ut. Det gäller även andra typer av substrat.

Skelettjordar

För att ett träd överhuvudtaget ska kunna växa och därmed binda koldioxid krävs en tolerans för de tuffa förhållandena som ofta råder i stadsmiljö. Förutom den kompaktering som sker som en följd av hög belastning är närings- och vattentillgången ofta begränsad. I många fall samverkar också dessa: näringstillgången försämras som en följd av låg vattenhalt i marken och vattentillförseln blir sämre då jorden kompakteras. Ett sätt att förbättra förhållandena har varit att plantera träden i skelettjordar[69] bestående av makadam med jord som tillsammans med vatten spolas ner i makadamen. Metoden har utvecklats och numera är det vanligt i Stockholm och flera andra städer att skelettjord anläggs med inblandning av biokol i en grov makadamfraktion[70]. Biokolets närings- och vattenhållande kapacitet i kombination med skelettjordens motståndskraft mot kompaktering har i flera studier visats kunna förbättra både etableringen och tillväxten av stadsträd positivt. Det vanligaste utförandet i Stockholm idag är att en blandning av 15 volymprocent biokol/kompost med makadam av en fraktion motsvarande partikelstorlek till exempel 16/90 eller 32/63 mm. Det innebär en inblandning av ca 7,5 volymprocent biokol. I Malmö stad blandar man idag in 10 volymprocent biokol/kompost i skelettjorden. I båda städerna brukar man lägga ett lager biokol utan kompost i botten på växtbädden. Ofta räknar man med minst 15 m^3 skelettjord per träd vid nyplantering. För större träd kan en större volym med fördel användas. I Stockholm används ungefär 500 kg biokol/träd med en densitet på 250 kg/m^3 för biokolet[71], vilket innebär ca 2 m^3 biokol per träd.

---

[68] Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok 2017; Levande gaturum - en handbok i Blågröngrå system, Edges och Uppsala kommun, https://bluegreengrey.edges.se/

[69] Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok 2009-02-23

[70] Se till exempel Växtbäddar i Stockholms stad – en handbok 2017

[71] https://medium.com/carboculture/how-to-use-biochar-for-structured-soil-plant-beds-in-urban-areas-8a45108e799

Urban infrastruktur, bebyggd mark och tillhörande mark

Hållbart byggande - generella strategier och verktyg

Målet med ett hållbart byggande är att nya byggnader utformas och placeras så de på ett positivt sätt bidrar till livet i samhället, men även till landskapet eller stadsbilden. Förändring av befintlig bebyggelse sker på ett sådant sätt att befintliga värden och kvaliteter tas tillvara. Byggandet är resurseffektivt och miljövänligt. Byggnaderna är miljövänliga och anpassningsbara för nya användare genom återanvändning av inredning och funktionsduglig utrustning. Hushållning med resurser är allt viktigare och återvinningen av byggnadsmaterial ska utvecklats, samtidigt som farliga ämnen ska fasas ut[72]. Kolet i biobaserat byggmaterial lagras in under decennier före konstruktion i (till exempel i trä) eller bara under föregående år (till exempel i skörderester från jordbruket). Kol kan också bindas och lagras av cementbaserade material (till exempel betong), efter byggnation, genom karbonatisering (sid 37)[73]. Karbonatisering är en naturlig kemisk process där kalciumhydroxid i betong reagerar med koldioxid direkt ur luften och återbildar kalksten. Det är en långsam, men kontinuerlig process. Det är viktigt att poängtera att ett trähus vanligtvis betyder en byggnad med trästomme (byggnadssystem i trä), men att det även innehåller andra material som gips, mineraliska isolermaterial, grund av betong, takpannor av tegel eller betong och att det ibland även har putsad fasad[74]. Byggnader av betong innehåller ofta träreglar och detaljer av trä i inomhusmiljön, vilket gör byggnader till hybrider mellan olika dominerande materialval[75]. Betong består till 15% av cement som till största delen utgörs av finmalen kalksten. Stenen bränns i hög temperatur som kräver mycket energi och i processen avgår CO_2 till atmosfären. Cement är det mest använda byggmaterialet i Sverige med en årlig produktion på ungefär 10 miljoner ton[76] som ger upphov till 2,2 miljoner ton CO_2 vid tillverkningen[77]. När cement härdar binds koldioxid in igen till viss grad. Teoretiska uppskattningar anger att maximalt 43% av den emitterade koldioxiden kan bindas in igen under konstruktionens livstid[78]. Mängden som karbonatiserar varierar kraftigt och beror både på betongkvaliteten och hur stor obehandlad betongyta som finns exponerad för luften och under hur lång tid. För att frigöra delar av betong som ännu inte karbonatiserats behöver den krossas i

[72] Vision för Sverige 2025. Boverket. https://sverige2025.boverket.se/bygg-hallbart.html
[73] https://www.betongindustri.se/sv/betongindustri-sjosatter-den-forsta-miljodeklarationen-med-karbonatisering
[74] https://byggteknikforlaget.se/fullskaleforsok-av-biobaserad-isolering-i-yttervaggar/
[75] Erlandsson, M., Malmqvist, T., Francart, N. & Kellner J. (2018) Minskad klimatpåverkan från nybyggda flerbostadshus, Sveriges Byggnadsindustrier
https://www.ivl.se/download/18.72aeb1b0166c003cd0d1d5/1542035270063/C350.pdf
[76] Key Facts & Figures (no date). Available at: https://cembureau.eu/about-our-industry/key-facts-figures/
[77] Ecofys, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research and Öko-Institut (2009) *Methodology for the free allocation of emission allowances in the EU ETS post 2012 Sector report for the cement industry*, *Report*. Available at: https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/ets/allowances/docs/bm_study-cement_en.pdf.
[78]Xi, F., Davis, S. J., Ciais, P., Crawford-Brown, D., Guan, D., Pade, C., ... & Liu, Z. (2016). Substantial global carbon uptake by cement carbonation. *Nature Geoscience*, *9*(12), 880-883.

samband med rivning samt inte bindas in omgående i ny betong, se kapitlet *Karbonatisering av betongkross och aska.*

Ett hållbart byggande ska ta hänsyn till ekonomisk nytta, social rättvisa och miljöaspekter. De tre aspekter som har definierat den linjära modellen för hållbart byggande är konstruktion, byggande och rivning inklusive avfall. Omställningen till cirkulärt och hållbart byggande innebär att dessa tre aspekter kompletteras med återanvändning och återvinning av material på olika sätt. Enligt nuvarande standarder brukar den beräknade livslängden för en byggnad vara endast 50 år, men genom att olika delar byggnaden återcirkuleras kan livslängden bli betydligt längre. Det kan till exempel gälla en träfasad. Resten av det organiska materialet som till exempel bjälklag och stommar kan vara en kolsänka under en betydligt längre period. För att undersöka byggnadens klimatpåverkan används beräkningar genom livscykelanalys (LCA). Utvecklingen sker parallellt med att allt större krav ställs på byggsektorn.

I Malmö stad finns behov av nybyggnation och renoveringar. Dessa kan nu utföras med mer hållbara metoder än tidigare tack vare ett samlat grepp för att göra byggsektorn mer hållbar genom LFM30, Lokal färdplan för en klimatneutral bygg- och anläggningssektor i Malmö 2030[79]. Under 2020 inleddes byggande av flerbostadshus med trästomme[80] och byggandet av en serie radhus i Sege där avsikten är att reducera klimatpåverkan så mycket som är tekniskt möjligt genom att använda mycket trä[81, 82].

Träbyggande

Nybyggnation

Byggande av bostäder med trästomme vinner marknadsandelar i Europa som ett resultat av träets många miljömässiga och ekonomiska fördelar[83]. I Sverige användes 23 % av träkonsumtionen till nybyggnation (2018). Virke till förtillverkade småhus utgör en stor del, men alltmer trä går även till flervåningshus med trästomme[84]. I dagsläget är det 19% av alla flerbostadshus i Sverige som byggs med trästomme[85]. I Malmö stad byggs det framför allt flerbostadshus, vilka traditionellt har en lägre andel trä som material jämfört med småhus och villor. Det är teoretiskt möjligt att öka kolsänkan i flerbostadshus genom att använda en större andel trä i till exempel stommar och fasader. Det beräknas att industriellt byggda flerbostadshus i trä ger upphov till en kolsänka som motsvarar mellan 75 till 100% av den totala klimatpåverkan från material och byggskede. Med rätt val av leverantörer och materialval när det gäller gips, isolering, armering och betong går det att reducera klimatavtrycket från material och byggsked ytterligare. Mängden inbundet biogent kol motsvarar mellan 121 och 150 kg CO_2/m^2 boarea. Även nybyggnation av offentliga byggnader som hallar, skolor, kontor med mera är ett område som förbrukar en ökande mängd trä. I de 23 % av träkonsumtionen ingår också, förutom det virke som går åt till själva trästommen vid nybyggnation, även virke som används till fast

[79] LFM30. https://lfm30.se/
[80] https://www.mynewsdesk.com/se/lindbacks/documents/hej-malmoe-343708
[81] Stadsbyggnad (2021) Att dela är framtiden. https://stadsbyggnad.org/2021/sege-park-att-dela-ar-framtiden/
[82] Radhus i Segepark, Malmö (2021) https://www.deromebostad.se/sok-bostad/projekt/parkstraket
[83] Green buildings. UNECE. https://unece.org/forests/green-building
[84] Användningen av trä i Sverige (2018). Från råvara till material - Svenskt Trä (svenskttra.se)
[85] https://www.tmf.se/statistik/branschstatistik/trahus/flerbostadshus/

inredning i nya hus såsom lister, golv, trappor och dörrar[86]. Det finns olika sätt att öka mängden kol som lagras i byggandet och materialets livslängd innan det inlagrade kolet avgår som CO_2 till atmosfären vid tex förbränning. Att öka mängden trä är det mest självklara[87], men det är även möjligt att ersätta fossil isolering med biobaserade materia. En annan metod är att öka användning av byggsystem som innehåller en större andel trä än vanliga träregelstommar, till exempel korslimmat trä, så kallat KL-trä. 1 m^3 KL-trä kan innehålla mellan 196[88] och 208[89] kg kol - beroende på densitet och mängd torrsubstans i virket. En svensk studie av olika byggsystem jämförde mängden biogent kol inlagrat i byggmaterial[90]. Studien visar att byggteknik med KL-trä resulterar i bundet biogent kol i byggnaden som är större än det utsläpp som sker för att tillverka byggnaden. Detta förhållande gäller även för det analyserade systemet med träbaserade byggelement med lättbalkar.

Vid val av olika material i stomme, klimatskal och alla övriga skikt av en byggnad, är tidsperspektivet av stor vikt för byggnadens klimatpåverkan under livstiden. Det behöver ställas krav på designstrategier och planering för att skapa förutsättning som ökar materialets livslängd och därmed långsiktigheten i kolsänkan. Om trämaterialet används som bränsle när byggnaden tjänat ut, återgår allt kol i materialet till atmosfären igen. För att öka kolsänkans livslängd krävs förbättrade demonteringstekniker med syfte att återanvända träelement och att skapa marknadsplatser som ger en överblick med hänsyn till utbud och efterfrågan på sekundära materiel[91].

Vid renovering av byggnader kan valet att använda biobaserat material avsevärt minska byggnadernas koldioxidavtryck[92]. Med renovering avses i detta fall tillbyggnad, utbyte eller förstärkning av till exempel balkonger, ytterväggar, innerväggar, bjälklag, förstärkning, solida dörrar, innertak, lister och trägolv. Under 2018 har det största användningsområdet för barrträråvaror varit vid renovering, ombyggnad och tillbyggnad. Detta område står för 37 % av trävarukonsumtionen och innefattar både ”Gör det själv” och professionell verksamhet[93].

Gröna tak

Enligt uppgifter från European Federation of Green Roof and Green Walls Association fanns det ca 400 000 m^2 gröna tak i Malmö 2019[94]. Förutsatt att taket inte har alltför kraftig lutning, att bjälklaget är dimensionerat för det samt att detaljplanen medger det, är det fullt möjligt att anlägga gröna tak på befintliga tak. Det är också

---

[86] Användningen av trä i Sverige (2018). Från råvara till material - Svenskt Trä (svenskttra.se)

[87] Amiri, A., Ottelin, J., Sorvari, J., & Junnila, S. (2020). Cities as carbon sinks—classification of wooden buildings. *Environmental Research Letters*, *15*(9), 094076.

[88] Holmen Wood Products AB. ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION. https://www.holmen.com/globalassets/travaror/certifikat-och-markning/nepd-345-236-no_kl-tre.pdf

[89] Stora Enso. (2020). Environmental Product Declaration CLT (Cross Laminated Timber). The International EPD System.

[90] Erlandsson, M, Petterson, D.,.Jonsson J-A. (2020). Referensbyggnaden Blå Jungfrun med träbaserade element med lättbalkar och cellulosaisolering-en klimatdeklaration för hela byggnaden och livscykeln. IVL Rapport C 558

[91] van Stijn, M. A. (2021). *Maximization of carbon storage in timber in residential dwellings in the Netherlands until 2050 and 2100* (Master's thesis).

[92] Göswein, V., Silvestre, J. D., Monteiro, C. S., Habert, G., Freire, F., & Pittau, F. (2021). Influence of material choice, renovation rate, and electricity grid to achieve a Paris Agreement-compatible building stock: A Portuguese case study. *Building and Environment*, *195*, 107773.

[93] Från råvara till material. Svenskt trä https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/

[94] Grant, G., & Gedge, D. (2019). Living roofs and walls from policy to practice 10 years of urban greening in London and beyond. In *Report of the European Federation of Green Roof and Green Wall Associations (EFB) and Livingroofs. org on Behalf of the Greater London Authority*. Blanche Cameron of The Bartlett UK.

möjligt att bygga upp ett "fristående" bjälklag med grönyta på. Man kan rentav tänka sig en liten park på bjälklag ovanpå en parkeringsplats eller annan yta.

Gröna tak kan vara allt från sedumtak med en bygghöjd på några centimeter och extensiva skötselkrav till mäktiga, intensivt skötta växtbäddar av parkkaraktär[95]. Sedumtaken är de klart vanligaste och dessa har en vegetationsmatta som består av torktåliga sedum-arter på ett substratlager om 3–10 cm. Sedumörttak och ängstak har en rikare flora vilket fordrar tjockare substratlager. Substratet är näringsfattigt och består i regel av en blandning mellan porösa material som den ljusa vulkaniska bergarten pimpsten och den mörka scoria, jord av olika kornstorlekar och organiskt material som till exempel kompost. Biotoptak är en variant där man kombinerar olika vegetationstyper och också tillför substrat och mikrohabitat som till exempel död ved, stensamlingar och sandblottor. I beräkningarna för den här rapporten utgår vi ifrån två typer av gröna tak; sedumtak med 6 cm tjocklek och tak med prärievegetation 10,5 cm tjockt.

Gröna tak lagrar kol i biomassa över och under jord (blad, stammar, rötter). När växtdelarna vissnar och bryts ned av mikroorganismer frigörs en del av kolet till luften i form av koldioxid. Det organiska material som är svårt att bryta ned bildar humus som kan finnas kvar i jorden under lång tid. På gröna tak lakas dock humus ut via regnvatten som rinner genom substratet. I ett tunt substrat där det inte finns möjlighet för kolet att lagras in i djupare jordlager kan substratet alltså antas ha en kolhalt som varierar över tid men som sett till en längre tidsperiod är statisk, något som också bekräftas av studier. Det innebär att när växterna nått sin toppnivå vad gäller biomassa över och under jord så kommer inget mer kol att lagras in. En studie i Tyskland har visat att nettoupptaget av koldioxid från luften kan fortsätta minst 5 år efter anläggning men detta får då antas vara i form av fortsatt tillväxt av biomassa (som möjliggörs av tjockare substratlager) eller, alternativt, att upptaget motsvaras av den kol som förs ut med avrinningen[96]. En ökning av mullhalten i gröna tak, dvs av andelen organiskt kolhaltigt material i substratet, är inte något att eftersträva eftersom man då skulle riskera att få in mer näringskrävande och torkkänslig växtlighet (till exempel olika typer av gräs) som skulle kunna konkurrera ut sedum och örter.

Mängden kol som kan lagras in i biomassan beror på substratets innehåll och tjocklek, samt tillgången till vatten. I tjockare substrat med god tillgång till vatten blir växtligheten frodigare och mer kol lagras in. Genom att använda sig av biokol i substratet kan ytterligare kolsänka erhållas. En lämplig volymandel biokol att blanda in i substratet är ca 10%[97].

De gröna taken kan även fungera som pollen- och nektarkälla för insekter och för att fördröja dagvatten. Båda dessa funktioner är beroende av substrattjockleken. Dels skapar ett tjockare substratlager förutsättningar för en rikare flora, dels ökar den vattenhållande kapaciteten.[98] Genom att utforma de gröna taken så att det går att vistas på dem erhålls en trivsam rekreationsmiljö.

För en uppskattning av kostnader för anläggning av gröna tak i förhållande till kolinlagring, se tabell 2 sid 41.

---

[95] Grönatakhandboken (2021) Utg 2.

[96] Konopka, J., Heusinger, J., & Weber, S. (2021). Extensive urban green roof shows consistent annual net uptake of carbon as documented by 5 years of eddy-covariance flux measurements. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 126, e2020JG005879. https://doi.org/10.1029/2020JG005879

[97] Syrén, Bengt. Produktspecialist substrat vid Bara mineraler, muntlig uppgift 12 november 2021

[98] Grönatakhandboken (2021) Utg 2.

Rural markanvändning

Mängden kol som kan lagras in i jordar beror bland annat på jordens sammansättning, nederbörd, temperatur, odlingssystem och jordbearbetning. Generella strategier för att öka innehållet av markkol kan vara att öka andelen lövträd, odla energiskog på träda och hålla odlingsmarken bevuxen året runt genom direktsådd i obearbetad stubb, insådd av vall i spannmål samt fång- och mellangrödor. En ökning i mullhalt ger ofta högre tillväxt av det som odlas på grund av förbättrad markstruktur och ökad vattenhållande förmåga[99].

Produktionsskog

Drygt hälften av det kol som skogen tar upp återförs till atmosfären genom cellandning. Av resterande kol stannar en del i levande träd och en del (barr, grenar, rötter och hela träd) dör och bildar förna. Förnan bryts i sin tur ned varvid även kolet i förnan successivt återgår till atmosfären[100]. Det som huvudsakligen påverkar trenden i det sammantagna nettoupptaget är förändringar i levande biomassa, som tillväxt och avgång (avverkning och naturlig nedbrytning). När nettoupptaget i levande biomassa avtar på grund av avverkning, så övergår kolet till att lagras i kategorin avverkade träprodukter.

Näst störst nettoupptag återfinns i mineraljorden. Upptaget i mineraljord som förna som delvis består av humus, eller karbonatisering av mineraler är en långsam process som gör att förändringen inte syns efter enstaka år utan kan observeras som långsiktiga trender[101].

För att öka kolinlagringen kan skogen tillåtas växa under fler år innan avverkning och produktionsskogen kan gödslas i större utsträckning än idag. I genomsnitt för landet så är den slutavverkade skogen 101 år gammal, men trenden är att slutavverkningsåldern sjunker[102]. Kvävegödsling av barrskog ger snabbt en ökad biomassaproduktion och därmed högre kolinlagring[103], men det har uppmätts en reducering av biodiversitet och ekosystemtjänster som markvegetationen levererar[104]. Avverkningsrester, GROT, som snabbt förmultnar i skogen kan i stället pyrolyseras i fjärrvärmeverk för att få både värme och kol för att skapa kolsänkor. Biokolet kan

[99] Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, *304*(5677), 1623-1627.
[100] Rummukainen, M. (2021). Skogens klimatnyttor—En balansakt i prioritering. *CEC Rapport*, (6).
[101] Skog, utsläpp och upptag av växthusgaser (2021), Naturvårdsverket https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-och-upptag-i-skogen/
[102] Nilsson, P., Roberge, C., & Fridman, J. (2021). Skogsdata 2021: aktuella uppgifter om de svenska skogarna från SLU Riksskogstaxeringen.
[103] Jacobson, S., Pettersson, F., Högbom, L. & Ulf Sikström (2017) SKOGSGÖDSLING – en handledning från Skogforsk
[104] Strengbom, J., Axelsson, E. P., Lundmark, T., & Nordin, A. (2018). Trade-offs in the multi-use potential of managed boreal forests. Journal of applied ecology, 55(2), 958-966.

återföras vid återplantering med småplantor, en metod som håller på att utvärderas[105]. Framför allt minskar biokolet behovet av att tillsätta mineralgödning[106].

Långlivade produkter från skogen som husbyggnation av trä, har fördelen att de kan lagra biogent kol, som utgör en kolsänka under hela husets livslängd. Om skogen däremot används till kortlivade produkter, såsom wellpapp, hygienprodukter, papper eller bioenergi släpps kolet snabbt ut igen vid förbränning eller nedbrytning[107]. De kortlivade produkterna har trots det en viktig funktion eftersom de kan ersätta fossila råmaterial. De långlivade träprodukterna och återanvändning är nyckelkomponenter i att skapa kolsänkor från skogen. Det genomsnittliga virkesförrådet på svensk produktiv skogsmark är 140 skogskubikmeter (m^3 sk) per ha (14 000 m^3 sk/km^2). En m^3 sk motsvarar 0,75 ton torrvikt totalt, varav 50% är kol. Det innebär att den genomsnittliga mängden kol per hektar i levande trädbiomassa i svensk produktiv skogsmark är ca 50 ton kol per hektar, motsvarande 5 kg kol/m^2. I Malmö stad uppgår skogsmarken till 412 ha (4 118 400 m^2)[108]. Strategin för Malmö stads skogsbruk övergår alltmer till hyggesfritt och en större andel lövträd. Det gynnar biologisk mångfald genom mindre störningar av befintliga ekosystem, men fler studier behövs för att mäta påverkan på kolbalansen[109]. Det finns två huvudsakliga certifieringssystem för hållbart skogsbruk, Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC)[110] och Forest Stewardship Council (FSC)[111]. Dessa innehåller kriterier och indikatorer för ett ekologiskt, ekonomiskt och sociokulturellt hållbart skogsbruk. Redan nu gör Malmö stad mycket för att gynna de naturliga ekosystemen i skogen och det finns en möjlighet att ansluta sig till de här certifieringssystemen om Malmö stad önskar profilera sig inom hållbart skogsbruk.

Energiskog

Fleråriga energigrödor är bättre för miljön än ettåriga grödor, eftersom odlingen bidrar till minskat växtnäringsläckage, minskad användning av växtskyddsmedel och ökad inlagring av kol i marken[112]. Energiskog av poppel och salix växer snabbt och frodas på marker som är för fuktiga för att ge en hög skörd av livsmedelsgrödor. De kan även odlas på steniga och näringsfattiga jordar. Odlingen ger upphov till en ökad kolsänka under och ovan jord, med återkommande skörd på ca 10 ton torrsubstans per ha (1 kg ts /m^2) var tredje år under 25 års tid. En kolfattig jord kan lagra in mer kol än en redan kolrik jord. En ökning med 2,9 kg kol/m^2 (kol i både jord och biomassa) efter 25 års energiskogsodling har uppmätts[113]. Det flisade materialet kan

---

[105] Berikat biokol från skogsindustriella restprodukter för gödsling av plantor och skogsmark, NärSkog II (Vinnova, 2019- 2022), https://www.vinnova.se/p/berikat-biokol-fran-skogsindustriella-restprodukter-for-godsling-av-plantor-och-skogsmark-narskog-2/

[106] Eskandari, S., Mohammadi, A., Sandberg, M., Eckstein, RL, Hedberg, K., Granström, K. 2019. Hydrochar-modified substrates for production of containerized pine tree seedlings under different fertilization regimes. Agronomy 9: 350.

[107] Aszalós, R., Ceulemans, R. J., Glatzel, G., Hanewinkel, M., Kakaras, E., Kotiaho, J., ... & Norton, M. (2017). Multi-functionality and sustainability in the European Union's forests (No. 32).

[108] Så används marken (2015). Kommuner i siffror (scb.se)

[109] Skogssällskapet. https://www.skogssallskapet.se/kunskapsbank/artiklar/2018-03-07-gar-det-att-enas-om-skogens-klimatnytta.html

[110] https://www.pefc.org/

[111] https://se.fsc.org/se-se

[112] Jordbruksverket (2021) https://jordbruksverket.se/utveckla-foretagande-pa-landsbygden/fornybar-energi/odla-energigrodor

[113] Hammar, T. (2017). Climate impacts of woody biomass use for heat and power production in Sweden.

pyrolyseras i fjärrvärmeverk och därmed ge både värme och biokol[114]. I svenska försök, i bland annat Svalöv, har det uppmätts årlig kolinlagring på 0,49 kg kol/m² av sälg och poppel som skördades var tredje år planterad på åkermark. Siffran inkluderar kol i biomassa, jord och grenar[115]. Den årliga kolsänkan bryts naturligtvis när energiskogen plöjs upp efter ca 25 år och marken återgår till jordbruksmark eller träda. På ett 100 årsperspektiv är kolinlagringen större i jorden än om den endast legat i träda under hela perioden[116]. Odling av energiskog är lönsamt även ekonomiskt när etableringen görs på en näringsrik odlingsjord där ogräset hanteras på ett professionellt sätt och med kort transportavstånd till värmeverk eller annan uppköpare[117]. Odlingen av energiskog har minskat från 2011 och uppgår 2021 till 30 000 m² i Malmö stad[118]. Den troliga orsaken är att andra växter ger högre inkomst på de ofta bördiga markerna. För att uppnå en högre kolinlagring genom en ökad areal och tillsatts av biokol kan det behövas ekonomisk ersättning. Det skulle till exempel kunna vara aktuellt när kommunen planerar lähäckar som löper parallellt med cykelbanor i anslutning till åkermark. En viktig nytta med till exempel salix är att många tidiga pollinatörer gynnas av dess rika blomning. En viktig aspekt att beakta är att energigrödor har starkt växande rötter som måste hindras från att förstöra vägbanor och dräneringsrör[119].

Växtföljdens och jordbearbetningens påverkan på kolinlagring

Jordbruksmarken i Malmö kommun är föremål för ständig konkurrens från olika intressen som till exempel bebyggelse. Åkermarken hör till de bästa i Sverige för odlingsändamål vilket lett till att storskaligt och intensivt jordbruk bedrivs[120]. Det har lett till ett intensivt och ensidigt odlande av ettåriga grödor som inte lagrar in kol, men ger en hög avkastning för odlaren. Den typiska växtföljden i regionen är höstraps – spannmål – sockerbetor - spannmål eller vete - sockerbeta-raps. Konsekvensen har blivit att jordens kolinnehåll är hälften så stort som för 50 år sedan[121]. I genomsnitt ligger jordbruksmarkens kolinnehåll på 1,7% i dagsläget[122]. Det finns ett flertal åtgärder som kan vända trenden och bevara och till och med öka kolinlagringen:

- Att hålla marken bevuxen året runt genom att använda fång- och mellangrödor, kombinera höst- och vårsådd, så in en bottengröda i spannmål eller direktså i stubb.

---

[114] https://www.ostravatterbranterna.se/wp-content/uploads/2020/05/biokol-i-jonkoping-forstudie-rapport-20200504.pdf
[115] Rytter, R. M., & Rytter, L. (2020). Carbon sequestration at land use conversion–Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, *466*, 118129.
[116] Hammar, T. (2017). Climate impacts of woody biomass use for heat and power production in Sweden.
[117] Handbok för Salixodlare, Jordbruksverket.
https://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/ovr250v2.pdf
[118] Jordbruksverket (2021) Åkerarealens användning efter Kommun, År och Gröda. (sjv.se)
[119] Orvesten, A., Kristoffersson, A. and Stål, Ö., 2003. Trädrötter och ledningar: goda exempel på lösningar och samverkansformer. Svenskt vatten.
[120] Miljöbarometern. Jordbruksmark (2020) https://malmo.miljobarometern.se/natur-och-odling/arealer/jordbruksmark/
[121] Brady, M. V., Land, M., & Scharin, H. (2021). Växtföljders påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark: En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys.
[122] Brady, M. V., Hristov, J., Wilhelmsson, F., & Hedlund, K. (2019). Roadmap for valuing soil ecosystem services to inform multi-level decision-making in agriculture. Sustainability, 11(19), 5285.

- Att lägga in fleråriga grödor i växtföljden som till exempel lusern, klöver eller gräs.
- Planera in en större andel baljväxter.
- Reducerad markbearbetning genom till exempel direktsådd i stubb och insådd i växande gröda.

Om flera av dessa åtgärder används kan kolinlagringen öka med 1% av nuvarande 75 ton kol/ha (7,5 kg/m²) som är det genomsnittliga kolinnehållet i skånsk åkermark i dagsläget[123]. En stor del av det organiska kolet kan anses vara temporärt eftersom det oxiderar och respireras när det bryts ner av organismer i jorden. Det gör att kolhalten ökar långsamt men att ökningen kan pågå under en så lång tid som 100 år innan jorden når ett jämviktsläge.

En förändrad växtföljd till grödor som ger lägre intäkter kan behöva stödjas ekonomiskt, till exempel av Malmö stad, för att genomföras. Om styrmedel i form av ekonomiska ersättningar skulle bli aktuella för att öka intresset för växtföljder som främjar inlagring av organiskt kol i jordbruksmark kan omvänd auktionering vara ett fungerande alternativ. Nyttan och kostnaderna för ändrad växtföljd varierar mellan olika jordbrukare, vilket innebär att uniforma ersättningar inte kommer att vara kostnadseffektiva. För att uppnå kostnadseffektivitet krävs därför att ersättningarna är differentierade med hänsyn till effekten på kolinlagringen. Detta betyder att ersättningarna bör vara resultatbaserade till skillnad från åtgärdsbaserade. Införande och utformning av ett eventuellt styrmedel måste dock utredas djupare och förankras brett genom sedvanligt remissförfarande[124]. Eftersom det tar tid att öka jordens kollager så dröjer det tills en ökad skörd märks av. Men när mullhalten ökar blir jorden och de växande grödorna mer tåliga mot torka och kraftigt regn[125]. Hög mullhalt bidrar till att hålla kvar näringsämnen bättre, vilket kan leda till högre värderade markpriser. En målkonflikt som kan uppstå är en minskad produktion av vissa livsmedelsgrödor. Samtidigt kan en diversifiering av växtföljden innebära ett skifte mot gröna proteiner av ärtor, linser, bondbönor och även extraktion av rent protein från vall[126].

Biokol i jordbruksmark

Den främsta anledningen till att sprida biokol på odlingsmark har traditionellt sett varit att öka skörden. Den porösa strukturen kan öka jordens vattenhållande förmåga och minska utlakning av näringsämnen till omgivande vattendrag genom förbättrad jonbyteskapaciteten. Jonbyteskapaciteten innebär förmågan att hålla kvar näringsämnen så att de inte försvinner från fältet vid nederbörd eller vinderosion. Vid en granskning av 109 vetenskapliga försök med biokol har det visat sig att de största skördeökningarna (40%) har uppmätts på jordar med pH <5[127]. Det indikerar att det finns en pH-höjande effekt som kan förklaras av att biokol ofta har ett pH runt 7 till

[123] Brady, M. V., Land, M., & Scharin, H. (2021). Växtföljders påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark: En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys.
[124] Brady, M. V., Land, M., & Scharin, H. (2021). Växtföljders påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark: En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys.
[125] Droste, N., May, W., Clough, Y., Börjesson, G., Brady, M., & Hedlund, K. (2020). Soil carbon insures arable crop production against increasing adverse weather due to climate change. Environmental Research Letters, 15(12), 124034.
[126] Olsson, A. C., & Magnusson, M. (2021). Proteinkvalitet i grönjuice och grönprotein extraherad från vallbiomassa i pilotanläggningen inom projektet Växtproteinfabriken i Alnarp.
[127] Schmidt, H. P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., & Cayuela, M. L. (2021). Biochar in agriculture–A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, *13*(11), 1708–1730.

9. Jordar som gett högst skörderespons efter att biokol tillsatts hade egenskaper som hög andel sand med låg jonbyteskapacitet och högt kväveinnehåll. I genomsnitt har skördeökningar uppmätts även på andra på andra jordar, men variationen är stor[128]. På Malmö stads växtodlingsmarker är pH generellt neutralt till högt och sandjordar är inte allmänt förekommande[129], vilket gör att nyttan av att använda biokol framför allt består i att utgöra en kolsänka och en ökad vattenhållande förmåga. Kolinlagringspotentialen är direkt proportionerlig mot den tillgängliga spidningsarealen, mängden som tillförs och biokolets kolinnehåll. Ofta används en giva på 20 ton biokol/ha (2 kg/m^2)[130]. Inom Malmö stads territoriella gränser finns 45 300 000 m^2 åkermark (4530 ha) så om all mark används för att maximera kolsänkan genom biokol innebär det 90 600 ton biokol. Om materialet innehåller 80% kol så ger det ett kollager på 265 760 CO_2 ekv.

Det finns en möjlighet att mätta biokolet med växtnäring från till exempel flytande stallgödsel, flytande rötrest från biogasproduktion eller flytande syntetisk näringslösning[131]. Vissa råvaror ger också ett högt innehåll av makro- och mikronäringsämnen i biokol, till exempel slam från reningsverk eller stallgödsel[132]. Biokol är ett poröst material som fungerar som en buffert. Om det finns lösta näringsämnen i markvätskan så kan de fastläggas på eller i biokolet, men det beror på näringsinnehållet i biokolet. Ett biokol med rötslam som råvara har ett högt fosforinnehåll och ett biokol från frörens har ett högt kaliuminnehåll. Adsorberade näringsämnen på biokolets yta blir tillgängliga igen när jordens innehåll sjunker. Genom att mätta eller ladda kolet med näring sker ingen fastläggning av näringsämnen och givan kan ökas till 40 ton/hektar (4,0 kg/m^2) för att öka kollagret i jorden.

Återvätning av mullrika jordar

I olika typer av våtmarker där det råder syrefria förhållanden kan organiskt material inte brytas ned av mikroorganismer utan lagras i stället, ibland under tusentals år som i torvmossar, vilket innebär att marken blir en stor kolsänka. I samband med att sådana våtmarker dräneras, sjunker grundvattennivån och jordlagret syresätts, vilket medför att det organiska materialet, till exempel torv eller gyttja, börjar brytas ned och det inlagrade kolet ombildas till koldioxid som avgår till luften. Dessa jordar blir mullrika (eller organogena) och används ofta för odling eller som betesmark.

Under 1800- och 1900-talen har stora arealer våtmarker dikats ut och omvandlats till mullrik jordbruksmark som idag står för en tredjedel av det svenska jordbrukets utsläpp av växthusgaser[133]. Den effektiva dräneringen bidrar också till att vattnets

---

[128] Schmidt, H. P., Kammann, C., Hagemann, N., Leifeld, J., Bucheli, T. D., Sánchez Monedero, M. A., & Cayuela, M. L. (2021). Biochar in agriculture–A systematic review of 26 global meta-analyses. *GCB Bioenergy*, *13*(11), 1708–1730.

[129] Torgil Bronmark, egendomsförvaltare, Malmö stad. 2022-02-01.

[130] Ye, L., Camps-Arbestain, M., Shen, Q., Lehmann, J., Singh, B., & Sabir, M. (2020). Biochar effects on crop yields with and without fertilizer: A meta-analysis of field studies using separate controls. Soil Use and Management, 36(1), 2-18.

[131] Modin, O. (2021) Kolsänksrätter med biokol Laddning av biokol: adsorption av ammonium, kalium, och fosfat. Rapport från Vatten Miljö Teknik, Chalmers Tekniska Högskola https://hushallningssallskapet.se/wp-content/uploads/2020/08/kolsanksratter-laddning-av-biokol-adsorption-av-ammonium-kalium-och-fosfat.pdf

[132] Ippolito James A, I. James A, Cui Liqian, C. Liqian, Kammann Claudia, K. Claudia, Wrage-Monnig Nicole, W. Nicole, Estavillo Jose M, E. Jose M, Fuertes-Mendizabal Teresa, F. Teresa, Cayuela Maria Luz, C. Maria Luz, Sigua Gilbert, S. Gilbert, Novak Jeffrey, N. Jeffrey, Spokas Kurt, S. Kurt, & Borchard Nils, B. Nils. (0000). Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. Biochar, 2, 421–438. doi: 10.1007/s42773-020-00067-x

[133] Jorbruksverkets rapport 2018:30. Återvätning av organogen jordbruksmark som klimatåtgärd.

uppehållstid i markerna minimeras. Därför är även näringsläckaget från markerna idag större och som en följd av bland annat sjösänkningar och uträtning av vattendrag förs näringen ut i havet i stället för att bromsas upp och sedimentera[134]. I Skåne återstår endast omkring 10 % av den våtmarksareal som fanns innan man började dika i stor skala.

Genom att återskapa de historiska våtmarkerna och återväta de mullrika jordarna kan avgången av koldioxid reduceras markant. Samtidigt skapas habitat för fåglar och insekter och trevliga rekreationsområden för människor.

I Malmö kommun finns 1,7 km^2 mullrika jordar som utdikats. Återvätning av mulljordarna skulle minska avgång av växthusgaser motsvarande 1 734 ton kol årligen. Återvätningen kan innebära en intressekonflikt med markägare då produktiv mark tas ur hävd vilket innebär ett inkomstbortfall för markägaren. Inkomstbortfallet skulle kunna kompenseras av kommunen om det är i deras intresse för att öka kolsänkan och bidra till skapandet av övriga naturvärden. Ett sätt att göra detta är genom att teckna så kallade naturvårdsavtal.

Havet

Koldioxid i atmosfären reagerar med havsvatten i vattenytan och bildar kolsyra. När mängden koldioxid som binds in i havsvattnet stiger, blir vattnet surare, vilket gör att vissa organismer kan få svårt att bilda kalkrika strukturer som skal, korall och exoskelett. Det har föreslagits att koldioxidinbindningen i havet skulle kunna accelereras, både på biologisk och kemisk väg. Genom att gödsla näringsbegränsade områden i havet skulle den biologiska aktiviteten, och därmed även koldioxidinbindningen, kunna öka. Samma sak skulle kunna ske genom att öka pH i havet med hjälp av alkaliska ämnen.

Alla havslevande organismer binder koldioxid i sina vävnader och mycket av kolet sjunker till botten där det förblir under en lång tid. Ett exempel på en typ av organism som inte påverkas så negativt av en långsam försurning av havsmiljön är sjögräs. Samtidigt beräknas de bidra med 10% av världshavens totala kolinlagring trots att de bara upptar en yta på 0,2%[135, 136]. Ett sjögräs som trivs mycket bra i Malmös grunda vatten är ålgräs.

Ålgräsängar

Ålgräs på havets botten tar upp koldioxid, skapar förutsättningar för biologisk mångfald och minskar erosion från vågor. Söder om Malmö finns grunda kustområden med ålgräsängar som utgör ett viktigt habitat för fisk. Mindre områden med ålgräs finns även vid Ribersborg och Sjollen[137]. Ängarna med ålgräs har minskat drastiskt i utbredning, utmed Västkusten med 60% sedan 1980-talet. Men nu har trenden vänt. Totalt sett har djuputbredningen ökat sedan år 2000, från 5,2 meter till 9

[134] Miljösituationen i Malmö. Ingen övergödning. https://docplayer.se/10132544-Miljosituationen-i-malmo.html
[135] Seagrass—secret weapon in the fight against global heating (2019) Nature action. https://www.unep.org/news-and-stories/story/seagrass-secret-weapon-fight-against-global-heating
[136] Fourqurean, J. W., Duarte, C. M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M. A., ... & Serrano, O. (2012). Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. Nature geoscience, 5(7), 505–509.
[137] Malmö kommun, allmän beskrivning. https://www.lansstyrelsen.se/skane/samhalle/planering-och-byggande/naturvardsplan/skane-sydvast.html

meter, med störst ökning utanför Klagshamn och Bjärred. Detta tyder på att ljusklimatet i vattnet idag är bättre än det var kring år 2000 och att ålgräset därmed kan växa på ett större djup. En minskning av närsaltshalterna medför en minskning i produktionen av plankton och näringsgynnade alger vilket i sin tur resulterar i bättre ljusförhållanden för bottenvegetationen och en möjlighet för ålgräsets djuputbredning att öka [138]. En stor utbredning av musslor vid bland annat Öresundsbron har bidragit till minskad grumlighet genom musslornas filtreringsförmåga[139]. Det pågår ett forskningsprojekt där man återplanterar ålgräs, projektet "LIFE Coast Adapt". Dykare återplanterar ålgräs med singelskottsmetoden[140], som går långsamt. I en studie har det fungerat väl med att sprida ut frön av ålgräs i jutesäckar som fästs i havsbotten. När jutesäckarna applicerades i en lämplig miljö resulterade det i att 94% av fröna utvecklade fullvuxna plantor[141]. I Malmö har naturlig fröspridning gett mycket goda resultat på etablering där botten har gynnsamma växtbetingelser[142].

Trots kustekosystemens betydelse för de globala kolbudgetarna är kunskapen om deras kollagringskapacitet och de faktorer som driver variationen i lagringskapacitet fortfarande låg. Tillsammans med Marint Kunskapscenter uppskattar vi att ytan som täcks av ålgräs idag uppgår till 45 kvm^2, dvs 25% av bottenytan i havet som finns innanför kommungränsen. Detta baseras på dykarmätningar och transekter med observationer. Det uppskattas att ytan skulle kunna ökas till 40% i många av hamnbassängerna som endast har småbåtstrafik, genom att flytta sediment från farleder så att grundare miljöer skapas.

[138] Miljöbarometern. https://malmo.miljobarometern.se/natur-och-odling/vaxter/algrasutbredning/
[139] Personlig kommentar (2021), Michael Palmgren, verksamhetschef på Marint kunskapscenter i Malmö stad.
[140] LIFE Coast Adapt. https://lifecoastadaptskane.se/method/skydd-genom-plantering-av-algras/
[141] Unsworth, R. K., Bertelli, C. M., Cullen-Unsworth, L. C., Esteban, N., Jones, B. L., Lilley, R., ... & Rees, S. C. (2019). Sowing the seeds of seagrass recovery using hessian bags. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *7*, 311.
[142] Personlig kommentar (2021), Michael Palmgren, verksamhetschef på Marint kunskapscenter i Malmö stad.

Övriga möjligheter

Det finns många områden som skulle kunna bidra till en ökad kolinlagring, men där kunskapen är begränsad än så länge. De här kategorierna saknar i många fall tillräckligt med data för att det i nuläget ska gå att beräkna deras bidrag, men det har gjorts beräkningar för karbonatisering av aska och byggrester i betong baserat på materialflöden från Malmö stad.

Vass

Vass hindrar effektivt erosionen och begränsar också näringsavrinningen. Den är livsviktig som skydds- och häckningsplats för många fåglar och andra djur[143]. En kraftig igenväxning av stränderna ökade i mitten av 1900-talet till följd av förändringarna i markanvändning och jordbruk. Betningen av strandängar minskade och vattendrag har blivit övergödda vilket har lett till en kraftig ökning av vassens utbredning. Övergödningen orsakas av kväve och fosfor från främst jordbruket samt olika typer av avloppsanläggningar. Öresund belastas av kväve- och fosforutsläpp från Malmö till största delen via Segeån som mynnar i norr, de mindre vattendragen som mynnar i söder samt avloppsreningsverken Sjölunda och Klagshamn. Mätningar i de små bäckarna i Malmö, Tygelsjöbäcken, Bunkeflodiket, Skumparpsdiket samt i Segeå och dess biflöden visar på genomgående höga totalkvävehalter och totalfosforhalter[144]. Skörd av vass från övergödda vattendrag skulle bidra till att reducera näringshalten i vattnet. Plantan har även ett högt kolinnehåll på ca 46%[145], vilket lämpar sig för produktionen av biokol. Klipps vassen över ytan leder det till att vassbeståndet kan fortsätta att växa och suga upp näring ur sediment och vatten. Den bästa tiden att skörda vassen för att få maximal effekt är då vassen blommar (juli-augusti) och mycket näring finns bunden i vassplantorna[146]. Vasspopulationerna inventeras inte så av den anledningen gör vi inga beräkningar på vad ett ökat användande av biomassa skulle kunna ge i kolsänkepotential som biokol.

Biokolsinblandning i byggnadselement

Finska Carbofex producerar byggskivor där sand ersätts med träkol vid betongtillverkning. Slutprodukten består av 80% kol och 20% cement vilket ger skivor med låg vikt vilka andas på samma sätt som trä, men till skillnad från trä kan de inte kan mögla. Skivorna kan också, om de används i byggnader, bidra till att minska

[143] Möjligheternas vass. https://www.slu.se/globalassets/nyhet-kalend/2018/jarki_isku_19_a3_sve_web-002.pdf
[144] Miljösituationen i Malmö.
[145] Obolewski, K., Strzelczak, A., & Kiepas-Kokot, A. (2007). Chemical composition of reed Phragmites australis [Cav.] Trin. ex Steud. versus density and structure of periphyton in various aquatic ecosystem. *Journal of Elementology*, *12*(1).
[146] Viva vatten – skörda vass. Naturskyddsföreningen https://old.naturskyddsforeningen.se/sites/default/files/dokument-media/vass.pdf

halten av skadliga ämnen i inomhusluft genom att de fastläggs i det porösa materialet. Skivorna kan även ta bort behovet av tätskikt[147].

Om biokol används i byggmaterial som sandersättning eller som tillsats i asfalt och plast kan det antas att biokolet består och förblir en kolsänka så länge själva materialet består. Först när det biokolinnehållande materialet kasseras, förstörs eller sönderdelas kan det inlagrade kolet släppas ut till atmosfären igen[148].

Biokolbetong

Det pågår försök och produktion med biokolbetong i Sverige, men än så länge är utvecklingen på ett tidigt stadium. En lättbetong med låg densitet finns till försäljning och det produceras anpassade produkter för en mängd olika ändamål[149]. I försök har 1 volym% av cement bytts mot biokol från pappersslam, risskal och hönsgödsel. Resultatet visar på förbättrade egenskaper med avseende på böj-, tryck- och draghållfasthet[150]. Biokol från fermenterat spannmål har tillsatts i cement med målet att förbättra cementens egenskaper. Densiteten minskade linjärt med ökat kolinnehåll till 1 454 kg/m^3 med 15 volym% biokol. En ökad ljudabsorption (200–2000 Hz) påvisades som en effekt av att biokolet skapade ett nätverk av porer i cementblandningen. En maximal minskning av värmeledningsförmåga (0,192 W/ (m · k) uppmättes vid 2 volym% biokol. Tryckhållfasthet påverkades negativt av en hög koncentration av biokol i blandning, vilket påverkar vilka produkter som lämpar sig för biokolsbetong[151]. En inblandning av 1–2 volym% biokol rekommenderas i murbruk för ökad styrka och minskad vattengenomsläpplighet[152].

Biobaserad isolering

Ett sätt att minska klimatpåverkan genom att öka kolsänkan är att byta till ett biobaserat isolermaterial. Det finns en uppsjö av isolermaterial som till stor del består av biobaserade material av exempelvis träfiber, cellulosa och hampa. De biobaserade materialen är många och har olika egenskaper, dock är en gemensam nämnare att de ofta är mer hygroskopiska än de vanligt använda fossilbaserade isolermaterialen. Den ökade fuktbuffringen kan vara till fördel då materialen placeras i klimatskärmen. Självklart bör man inte utan eftertanke bygga in stora volymer hygroskopiska material i klimatskärmen utan ha utrett eventuell fuktproblematik vidare. När det kommer till termisk ledningsförmåga har dagens tillgängliga biobaserade isolermaterial likvärdiga egenskaper, men som regel ligger de något högre än konventionella isolermaterial[153].

---

[147] https://www.ostravatterbranterna.se/wp-content/uploads/2020/05/biokol-i-jonkoping-forstudie-rapport-20200504.pdf
[148] EBC Biochar based carbon sinks (2021) https://www.european-biochar.org/en/ct/26-Introduction
[149] Biokolprodukter (2021) https://biokolprodukter.se/category/biokolbetong/
[150] Akhtar, A., & Sarmah, A. K. (2018). Novel biochar-concrete composites: Manufacturing, characterization and evaluation of the mechanical properties. Science of the total environment, 616, 408-416.
[151] Cuthbertson, D., Berardi, U., Briens, C., & Berruti, F. (2019). Biochar from residual biomass as a concrete filler for improved thermal and acoustic properties. *Biomass and bioenergy*, *120*, 77-83.
[152] Gupta, S., Kua, H. W., & Dai Pang, S. (2018). Biochar-mortar composite: Manufacturing, evaluation of physical properties and economic viability. Construction and Building Materials, 167, 874-889.
[153] https://byggteknikforlaget.se/fullskaleforsok-av-biobaserad-isolering-i-yttervaggar/

Karbonatisering av betongkross och aska

Karbonatisering sker vid en reaktion av CO_2 med kalcium (Ca) eller magnesium (Mg) som bildar karbonater i kontakt med CO_2. Eftersom det karbonatiserade materialet är termodynamiskt stabilt, erbjuder det ett medel för permanent eller åtminstone långtidslagring av CO_2[154].

Aska eller slaggrus från till exempel förbränning av hushållssopor genererar en produkt som lagras öppet under flera månader innan den är lämplig att användas. Under den tiden hinner stora delar av slaggruset karbonatisera. Slaggrus kan därmed sägas ha en positiv inverkan redan idag, i de fall då det förvaras i kontakt med luften. Processen kräver tillgång till stora lagerytor och öppen lagring under lång tid, något som redan är praxis inom den branschen. Samma villkor för omfattande karbonatisering av krossad betong gäller, dvs stora öppna lagerytor under lång tid, något som inte är praxis idag. Fullständig karbonatisering av betong kan ta flera hundra år på grund av att luften har låg koncentration av CO_2, omgivningstemperaturen är för låg och bromsas av för stor partikelstorlek på betongen.

Om långsam karbonatisering är önskvärd kan betongkross användas i byggande av t ex diken, stödmurar eller motsvarande eller skapande av revliknande strukturer under havsytan. Genom att kraftigt minska partikelstorleken, öka CO_2-koncentrationen och temperaturen, kan karbonatiseringen accelereras så att den slutförs på minuter till timmar. Detta kallas ofta för accelererad karbonatisering. Accelererad karbonatisering kan utföras i torr miljö eller i vattenhaltig miljö[155]. Minskar man partikelstorleken kraftigt hos krossad betong så försvinner emellertid en rad olika möjliga användningsområden.

Den teoretiska maximala kolinlagringspotentialen för dessa råvaror beror huvudsakligen på koncentrationerna av Ca och Mg i dem. I de flesta av dessa råvaror finns Ca huvudsakligen i silikat/aluminatform som inte är lättillgänglig för reaktioner med CO_2 under torra förhållanden[156]. Under vattenhaltiga förhållanden – speciellt med syra/saltlösningsmedel kan Ca extraheras från kemiska strukturer av silikat/aluminat som gör det lättillgängligt för reaktioner med CO_2. Karbonatiseringen är i allmänhet mer effektiv i vätska med syra och salt än i luft[157]. En annan användning av accelererad karbonatisering av betongkross och askor är möjlig genom att exponera det för rökgaser från förbränning som uppstår i andra industrier. Forskare inom fältet anser att karbonatisering av krossat betongavfall är en tekniskt möjlig, ekonomiskt och miljömässigt gångbar strategi för att skapa kolsänkor[158]. När betongen är fullt karbonatiserat kan det användas i ny betong eller vid produktion av vägar. I Malmö

---

[154] A. A. Olajire, "A review of mineral carbonation technology in sequestration of CO_2," Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 109, pp. 364-392, 2013/09/01/ 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.03.013.

[155] I. Galan, C. Andrade, and M. Castellote, "Natural and accelerated CO_2 binding kinetics in cement paste at different relative humidities," *Cement and Concrete Research,* vol. 49, pp. 21-28, 2013/07/01/ 2013, .

[156] A. A. Olajire, "A review of mineral carbonation technology in sequestration of CO_2," Journal of Petroleum Science and Engineering, vol. 109, pp. 364-392, 2013/09/01/ 2013, doi: https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.03.013.

[157] M. Tu *et al.*, "Aqueous Carbonation of Steel Slag: A Kinetics Study," *ISIJ International,* vol. 55, no. 11, pp. 2509-2514, 2015, doi: 10.2355/isijinternational.ISIJINT-2015-142.A. Azdarpour, M. Asadullah, R. Junin, M. Manan, H. Hamidi, and A. R. M. Daud, "Carbon Dioxide Mineral Carbonation Through pH-swing Process: A Review," *Energy Procedia,* vol. 61, pp. 2783-2786, 2014/01/01/ 2014, doi: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.311.

[158] Kaliyavaradhan, S. K., & Ling, T. C. (2017). Potential of CO_2 sequestration through construction and demolition (C&D) waste—An overview. *Journal of CO_2 Utilization*, *20*, 234–242.

stad genererades 1 188 ton betongavfall under 2020[159] och 14 214 ton flygaska[160] som i dagsläget har en oklar användning. Genom optimerad karbonatisering finns möjlighet att binda in 3 198 ton CO_2/år.

Biokolfilter för rening av dagvatten

En mängd faktorer och parametrar inverkar på adsorptionen av näringsämnen och andra ämnen från dagvattnet till biokolet, men ytaktiva (laddade) adsorptionsplatser och en välutvecklad porstruktur är några av nyckelfaktorerna för ett lyckat reningsresultat. I försök har det uppmätts adsorption av kväve och oljeföroreningar när biokol använts som dagvattenfilter[161].

Finska Carbofex har utvecklat och sökt patent för en metod för att rena övergödda sjöar genom att "ladda" biokol. Metoden bygger på att man pumpar näringsrikt bottenvatten (solcellsdriven anläggning) genom flytande kassar med kol. Det näringsrika vattnet passerar kolet som renar vattnet från kväve och fosfor (från 500 µg/l till 40 µg/l fosfor) samtidigt som det syresätts. Mättat kol kan sedan användas eller säljas som "laddat" biokol. Man söker en samarbetspartner i Sverige för att testa metoden i större skala[162].

I en studie vid SLU i Uppsala utvärderades och jämfördes biokol och aktivt kol med avseende på potentialen att reducera föroreningar i gråvatten[163]. Aktivt kol produceras under högt tryck eller värme och efterbehandlas med till exempel en stark syra eller vatten efter karboniseringen, för att uppnå maximal grad av porositet. Aktivt kol kan ha en yta av mer än 3 000 m^2/g[164]. Det uppmättes en effektivare reduktionsförmåga hos biokol än aktivt kol när följande ämnen mättes; totalfosfor (89%), fosfatfosfor (86%). I studien observerades en stark adsorption av 97% av totalkväve och 98% av ammoniumkväve i det aktiva kolet, men biokolen hade en svag och alltför varierande adsorption för att kunna kvantifieras[165]. I en annan studie på SLU har det uppmätts adsorption av ammonium på 90–99% och en minskning av totalkväve på mellan 62 och 88% med biokolsfilter. Även fosfor har adsorberats, men i ungefär samma utsträckning som ett sandfilter[166].

Biobaserad asfalt

Asfalt är baserad på fossil olja och en av dess ingredienser är bitumen som kräver stora mängder energi vid tillverkningen. Dessa faktorer har bidragit till att forskning

---

[159] Miljöredoovisning 2020 Serviceförvaltningen, Malmö stad

[160] Sysav, Mamö Raul Grönholm personlig kommunikation.

[161] Karlsson, S. (2019). Dagvattenhantering och rening med hjälp av biokol: En studie om biokol som reningsfilter i dagvatten. Examensarbete i Samhällsbyggnadsteknik. Mittuniversitetet

[162] https://www.ostravatterbranterna.se/wp-content/uploads/2020/05/biokol-i-jonkoping-forstudie-rapport-20200504.pdf

[163] Berger, C. (2012). Biochar and activated carbon filters for greywater treatment: comparison of organic matter and nutrient removal. *Swedish Univ. Agric. Sci*, 1-36.

[164] Otowa, T., Tanibata, R., & Itoh, M. (1993). Production and adsorption characteristics of MAXSORB: high-surface-area active carbon. Gas separation & purification, 7(4), 241-245.

[165] Berger, C. (2012). Biochar and activated carbon filters for greywater treatment: comparison of organic matter and nutrient removal. *Swedish Univ. Agric. Sci*, 1-36.

[166] Dalahmeh, S. (2016). Capacity of biochar filters for wastewater treatment in onsite systems–Technical Report. *Havs och vattenmyndighet and Swedish University of Agricultural Sciences Report*, *90*.

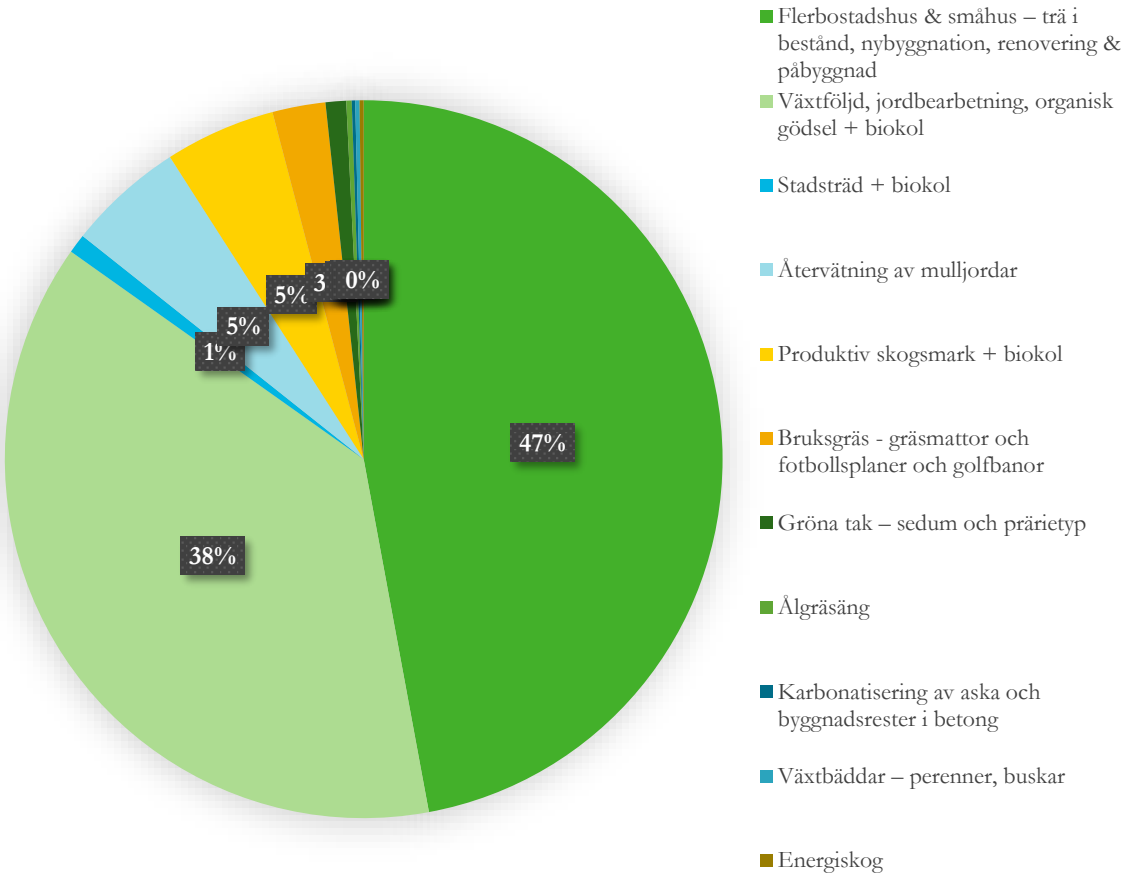
på nya alternativa bindemedel ökat de senaste åren[167]. Under 2021 inleddes ett samarbetsprojekt mellan NCC och RISE för att testa om sulfatlignin kan ersätta fossila råvaror i asfalt. Testet går ut på att ersätta en del av det oljebaserade bitumen som används i asfalt med olika mängder sulfatlignin. Fem blandningar med olika andel sulfatlignin har sedan anlagts av NCC på publika vägsträckor. Då vägbeläggningar ska hålla för slitage under lång tid är projektet planerat att pågå under sex år. På så vis kan man utvärdera asfaltens funktion och hållbarhet över tid och samtidigt se till asfaltens hela livscykel, från anläggning och underhållsbehov till återvinning. Möjligheten att ersätta ett fossilt material med en inhemsk och helt biobaserad produkt från skogen är intressant[168]. Resultatet visar att de olika biobindemedlen har liknande egenskaper som bitumen, men med varierande tekniska fördelar och nackdelar. För att storskalig produktion ska kunna ske behövs mer forskning som även inkluderar lönsamhet[169]. Fördelar som kolbindning och lägre rullmotstånd motiverar en större satsning på området. Forskningen har kommit längst i Holland där man framgångsrikt bytt ut 50% av bitumen mot lignin[170], men eftersom temperaturvariationen är kraftigare i Sverige krävs platsspecifik forskning.

[167] Wittboldt, E., & Lerjefors, S. (2021). Kartläggning av biobitumen i världen-Ett steg närmare en hållbar infrastruktur. Trafik och Väg, Institutionen för Teknik och Samhälle, Lunds Tekniska Högskola
[168] https://www.ri.se/sv/berattelser/lignocity-en-oppen-testbadd-med-stora-mojligheter
[169] Wittboldt, E., & Lerjefors, S. (2021). Kartläggning av biobitumen i världen-Ett steg närmare en hållbar infrastruktur. Trafik och Väg, Institutionen för Teknik och Samhälle, Lunds Tekniska Högskola
[170] Hashmi, S., & Jabary, A. (2020). Introduction of a Sustainable Alternative for Bitumen: Case study of lignin-based asphalt for the Swedish market.

Utförlig utvärdering och diskussion

Den här analysen ger en bild av möjligheter baserade på de förutsättningar och det dataunderlag som fanns tillgängligt när den skrevs. Politik, mål och kostnader kan snabbt ändras och då kan även beräkningarna behöva uppdateras.

Det finns flera möjligheter att öka kollager och årlig kolinlagring och uppnå flera andra nyttor samtidig. Huvudresultatet från analysen är att den största potentialen för ökad kolinlagring finns inom byggsektorn och växtodlingen till 2030. Dessa två kategorier står för 85% av hela ökningspotentialen från 2022 till 2030, Figur 3.



Figur 3. De olika kategoriernas andel av den totala potentialen för ökad kolinlagring till 2030. Möjligheterna är störst inom bostadsbyggande och inom växtodling med Malmö stads förutsättningar.

Trots att de andra kategorierna bidrar mindre till kolinlagringen när de skalas upp till 2030, så kan de ge andra nyttor som gynnar Malmös geografiska område, flera av dessa nyttor beskrivs i

Tabell 2. Genom att återväta mulljordar kan rika ekosystem återskapas och kväve bromsas från att rinna ut i havet. Genom att förse produktionsskog med biokol kan resiliensen mot klimatförändringar stärkas och gödslingseffekten kan ge en starkare tillväxt. Det i sin tur ökar den årliga kolinlagringen som sedan binds in i långlivade skogsvaruprodukter eller ersätter fossilbaserade produkter som plastförpackningar. Ett annat exempel är en ökad satsning på att gynna utbredningen av ålgräsängar, vilket bidrar till förbättrad överlevnad av småfisk och minskad erosion av havsbotten. Fler gröna tak med vegetation ger upphov till habitat för fåglar och insekter och kan bromsa flödet av regnvatten. En minskad klippning av gräsytor ger lägre utsläpp och insådd av specifika fröblandningar kan ha en gynnsam effekt på pollinatörer och människors psykiska välmående.

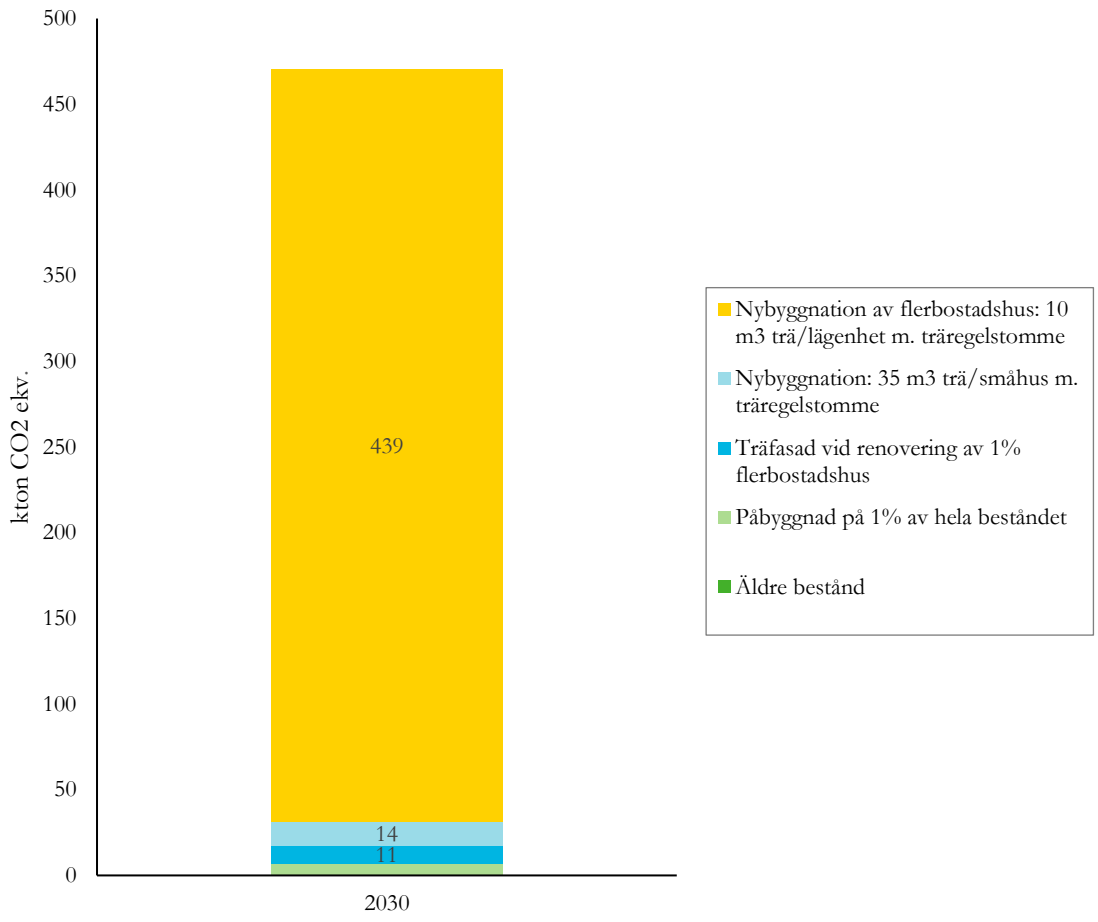
Tabell 2. De analyserade kategoriernas ökningspotentialen av CO_2 ekv. Från 2022 till 2030, uppskattad kostnad för att implementera åtgärden per CO_2 ekv. och om det finns övriga för-och nackdelar för åtgärden.

Åtgärdsområde	Ökningspotential (ton CO_2ekv till 2030)	Kostnadseffektivitet (kr/ton CO_2ekv)	Övriga för- och nackdelar
Flerbostadshus & småhus – andel trä i bestånd, nybyggnation och påbyggnad	456 749	Okänt	Skogsbruket bör vara hållbart och transporter korta. Skogsmaskinerna behöver byta till förnyelsebara bränslen.
Optimerad växtföljd & jordbearbetning + biokol	365 952	0,2–0,7 [a)] + 0,9–2,8 [a)]	Mer markkol ger bättre motståndskraft mot regn, torka och ger på sikt högre skördar. Lantbruksmaskinerna behöver gå över till förnyelsebara bränslen. Krävs en förädling av vall i regioner utan häst och ko. Vallproduktion och fånggrödor minskar arealen som producerar livsmedel. Finns bidrag i landsbygdsprogrammet i dag pga. åtgärdens positiva effekter på minskad övergödning. Biokol kan bidra med förbättrad jordstruktur och ökad infiltration. Kan innebära konkurrens om biomassa.
Återvätning av mulljordar	50 864	0,4–0,9–2,8 [a)]	Återvätning återskapar rika ekosystem. Återvätning minskar arealen tillgänglig för livsmedelsproduktion. Kan minska kväveutlakning.
Produktionsskog + biokol	48 323	Intäkt-2,8 [a)]	Biokol ger bättre motståndskraft mot regn och torka. Biokol bidrar med vissa näringsämnen och kan höja pH.
Bruksgräs - gräsmattor och fotbollsplaner och golfbanor + biokol	23 205	7,0[c)]	Biokol ger samma påverkan som i ovan nämnda användningsområde
Gröna tak – sedum och prärietyp + biokol	8 967	38–122 + 0,9–2,8 [a)]	Biodiversitet, retention av regnvatten
Ökad stadsträdplantering + biokol	8 383	17[b)] + 0,9–2,8 [a)]	Stadsträd kan förbättra luftkvalitet och ge mer trivsel. Skugga och evapotranspiration sänker temperatur i deras närhet.
Större yta med ålgräsängar	2 376	Okänt	Ålgräsängarna minskar erosion och skapar ett viktigt habitat för många vattenorganismer. När vattnet är renare kan ålgräs breda ut sig på ett större djup.
Växtbäddar – perenner, häckar & buskar + biokol	1 911	0,9–2,8 [a)]	Att tillsätta biokol till befintliga växtbäddar ger bättre motståndskraft mot regn och torka. Biokol bidrar med vissa näringsämnen och kan höja pH. Att öka mängden växtbäddar kan ge en större trivsel och bidrar till att suga upp regnvatten.
Karbonatisering av aska och byggnadsrester i betong	1 475	Okänt	Karbonatiserat material kan användas som balast eller revstrukturer under vattenytan.
Mer energiskog + biokol	1 480	Intäkt-0,5[a)]	Energiskog ger ökad mullhalt i jorden och kan etableras på mark som har en tendens att svämmas över. Det har en förmåga att rena mark och kan bli ett växande inslag för att få mer material till en kombination av biokol och fjärrvärme.
Biokolbetong	35	Okänt	Biokolbetong är i nuläget på forskningsstadiet och börjar användas i mindre omfattning. Dess hållfasthet och lämpliga områden håller på att utvärderas.

a) sid 739. Karlsson, Å. B., Daoson, M., Boström, B., Jernbäcker, E., Lundblad, M., & Mjureke, D. (2020). Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen. *Sou 2020, 4*.
b) Baserat på uppgifter från iTree.

Störst potential till att öka kollagret till 2030 finns inom byggsektorn. I den här analysen har beräkningarna baserats på fyra olika delar: befintligt bestånd, nybyggnation, renovering och tillbyggnad. Den största delen av kollagret finns redan inom det befintliga beståndet, som bör tas om hand på bästa möjliga sätt för att förlänga kolsänkan och att efter demolering sträva efter återanvändning av delar eller bevara kolet i form av biokol efter pyrolys när det är möjligt. När inlagringspotentialen från 2022 till 2030 analyserades så fanns de största möjligheter att öka kolinlagringen inom nybyggnation med förnyelsebara material, framför allt eftersom det finns ett stort behov av att bygga flerbostadshus i Malmö stad, Figur 4. För att öka andelen

träkomponenter vid nybyggnation och renovering behöver råvaran komma från ett hållbart skogsbruk med krav på återplantering, utsläpp från skogsmaskiner och transporter minskas genom att fasa in förnyelsebara bränslen i allt högre grad och strävan efter korta transporter. I den här rapporten har vi inte hittat data för hur stor kostnaden är per koldioxidekvivalent. Byggbranschen är under snabb utveckling, både med avseende på material med olika kolhalt och hur utsläpp och kolinlagring ska beräknas genom LCA. Prisbilden på byggmaterial har ändrats snabbt under rapportens skrivande.



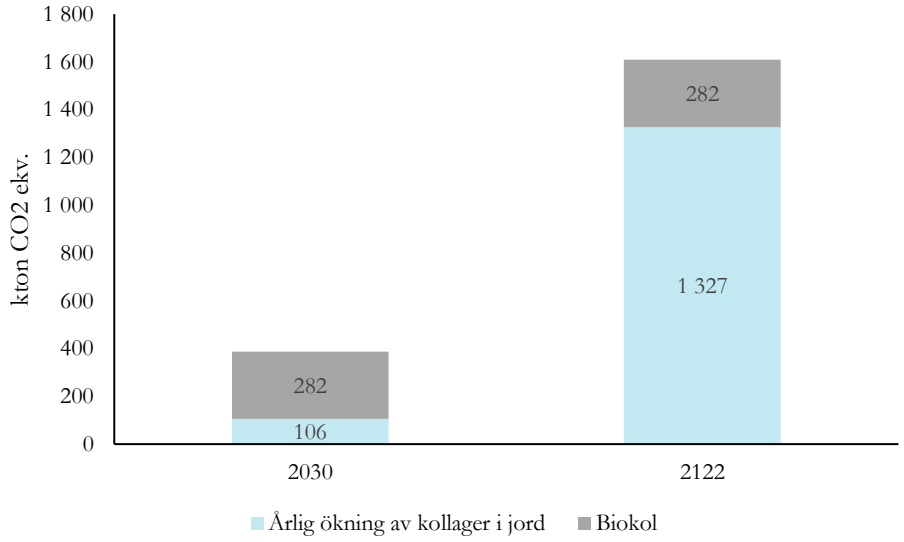
Figur 4. Träbyggandets kolinlagringspotential från 2022 till 2030 i Malmö stad baserat på Boverkets uppskattningar av byggnadsbehov[171], SCB:s data över befintliga bostäder i Malmö kommun[172] och kolinnehåll i materialet.

Den andra kategorin, som berör ändrat lantbruk, kräver att stora mängder biokol används som jordförbättring om den potentiella kolinlagringen ska uppnås. En så här stor satsning kostar pengar för att köpa in biokolet, men det ger en långsiktigt stabil kolsänka som bevaras även om markanvändningen skulle förändras. Produktion av biokol sänker energiproduktion eftersom pyrolys inte ger en fullständig förbränning, som ger upphov till att ungefär hälften av kolatomerna sparas i materialet. Det kan

[171] Boverket https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsmarknaden/behov-av-bostadsbyggande/byggbehovsberakningar/
[172] SCB. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__BO__BO0104__BO0104D/BO0104T04/#

vara en fördel ur kolinlagringssynpunkt så länge den energibärare som ersätter energin inte släpper ut mer kol, som tex olja eller fossilt kol.

Mullhalten i Skåne har sjunkit de senaste 50 åren på grund av ensidiga växtföljder utan vall eller tillförsel av organisk gödsel och det tar tid att vända trenden. Endast en mindre mängd kol kan lagras in genom naturliga processer till 2030, men mullhalten har potential att öka avsevärt till 2122, Figur 5. För att uppnå en höjd mullhalt krävs ekonomiska styrmedel som täcker odlarnas inkomstbortfall när de planerar för att öka mullhalten och kan behöva avstå från en lönsammare livsmedelsgröda under ett eller två år för att odla vall i en tex 5-årig växtföljd. Eftersom det i nuläget inte finns tillräckligt med kor eller hästar för att det ska vara lönsamt att producera vall, krävs innovativa användningsområden som ger en ekonomisk avsättning som bär sig själv eller en bidragsmodell enligt CAP:s regelverk för jordbruksstöd. Om Malmö stad går in med motsvarande finansiering för att öka de lokala kolsänkorna kan det vara motiverande för lantbrukare att producera vall för att framställa biogas och biogödsel. Det är även möjligt att etablera energiskog på marken under en 30 årsperiod. Enligt uppgifter i Statens offentliga utredning från 2020 ”*Vägen till en klimatpositiv framtid*”[173] innebär en övergång till ett kolinlagrande lantbruk en kostnad på mellan 0,2–0,7 kr/ CO_2 ekv. Om lantbruket dessutom börjar med en storskalig biokolsanvändning tillkommer 0,9–2,8 kr/CO_2 ekv. [174].

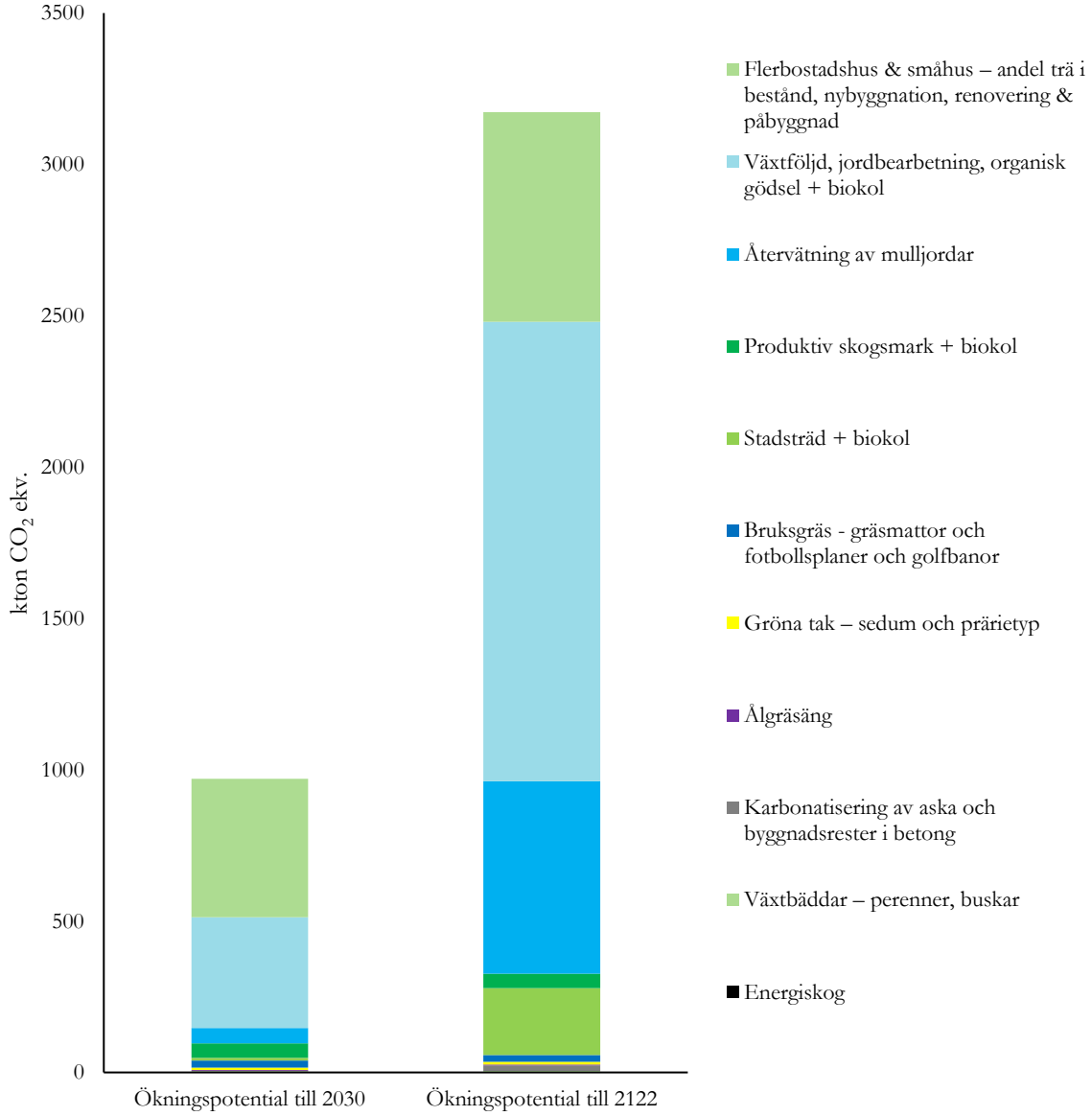


Figur 5. Kolinlagringspotential i växtodling från 2022 till 2030 i Malmö stad och fram till 2122

När vi analyserar möjligheten att öka kolsänkan inom de valda kategorierna fram till 2122 blir osäkerheteten stor och det är viktigt att använda rimliga data, Figur 6. Vad som händer politiskt och klimatmässigt är kvalificerade gissningar, men analysen pekar på möjligheten att öka kolsänkan med 3172 kton CO_2 ekv. Då har vi antagit att nybyggnationsbehovet fortsätter att vara lika stort som fram till 2030, vilket kan vara en överdrift, men har samtidigt räknat in att antalet bostäder i befintligt bestånd

[173] Karlsson, Å. B., Daoson, M., Boström, B., Jernbäcker, E., Lundblad, M., & Mjureke, D. (2020). Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen. *Sou 2020, 4*.
[174] Karlsson, Å. B., Daoson, M., Boström, B., Jernbäcker, E., Lundblad, M., & Mjureke, D. (2020). Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen. Sou 2020, 4.Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen Stockholm 2020

minskar med hälften på grund av ålder och kolet har återgått till atmosfären. Vi räknar med att renovera 1% av bostadsbeståndet med påbyggnader och träfasader. I växtodlingen räknar vi inte med att mer biokol läggs på efter 2030 och då beror den ökande kolinlagringen på att förändringen i odlingsteknik lagrar in 1 % mer kol varje år i form av mull. Mulljordar fortsätter lagra in mer kol varje år. Stadsträden har fortsatt planteras samtidigt som kolet i det befintliga beståndet har återgått till atmosfären i våra beräkningar.



Figur 6. Potential att öka kollagret och kolinlagringen fram till 2030 och fram till 2122 från 2022 års nivå.

Det finns möjligheter att öka ett flertal kolsänkor, men det krävs att hela sektorer är med och ställer om till förnybara bränslen och att materialanvändning genomsyras av ett cirkulärt tänkande. För att skapa den här typen av stora förändring krävs rådgivning, ekonomiska styrmedel och utvärdering. Genom att transparent visa beräkningsunderlag hoppas vi ge stöd för framtida analyser som ger stöd till beslut som bidrar till en hållbar transformation vilket i sin tur gynnar hela samhället.

Om Malmö stad kommer fram till att de lokala kolinlagringsmöjligheterna inte är tillräckliga så finns det även kompletterande möjligheter till frivilliga certifierade kolsänkor. Det är viktigt att granska företagen noggrant när extern kolinlagring finansieras eftersom långsiktigheten i satsningarna inte alltid definieras. Det finns företag som Gold standard som är en global ideell stiftelse och startades 2003 av ett flertal miljöorganisationer, däribland WWF International och Fairtrade. Den är betrodd av mer än 80 internationella miljöorganisationer[175]. Företaget Ecoera erbjuder certifierade kolsänkor med biokol i Sverige[176], vilket gör att åtgärderna är enkla att verifiera. Det finns även andra internationella handelsplattformar som EBC C-sink, Carbon future[177], Puro[178], Patch[179] och VERRA[180].

[175] https://www.goldstandard.org/
[176] https://ecoera.se/
[177] https://www.carbonfuture.earth/
[178] https://puro.earth/
[179] https://www.patch.io/
[180] https://verra.org/

Appendix 1.

Nyckeltal för beräkning av kolförråd och årlig kolinlagring

1.1. Biokol

Kolinlagring genom biokol

I våra beräkningar utgår vi ifrån ett genomsnittligt biokol med kolhalt på 80% och densiteten 300 kg/m³. Mängden som tillsätts beror på jordvolymen som det ska blandas in i vid växtodling, se Tabell 3. I de flest fall kan mängden ökas utan att det ger negativa konsekvenser, men det kan vara fördelaktigt att ladda biokolet med till exempel kväve eftersom det annars riskerar att adsorbera ammoniumkväve. Mängden tillsatt biokol har ofta begränsats av priset, men det är ett rimligt antagande att det kommer sjunka när fler producenter finns på marknaden.

Tabell 3. Mängd tillsatt biokol i olika kategorier

Vegetationstyp	Tillsatt mängd (kg/m²)
Gröna tak	1,8
Odlingsbädd för häckar	2
Växtodling lantbruk	2
Växtbädd (regn- eller odlingsbädd)	2
Produktionsskog	4
Trädgrop	500 kg/träd

1.2. Bruksgräs - gräsmattor, golfbanor och fotbollsplaner

Kolförråd

Gräsmattor i städer lagrar 1,33–2,69 kg kol/m² i de ovanjordiska delarna enligt mätningar[181]. Vi använder oss av det lägre värdet för kolinnehållet i vegetationen på 1,33 kg/m². Jorden under bruksgräs innehöll 6,78 kg kol/m² i medel från tre mätningar i Malmö[182], vilket gör att vi väljer att använda det i beräkningarna.

[181] Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. Landscape and Urban Planning, 123, 41–48.
[182] Poeplau, C., Marstorp, H., Thored, K., & Kätterer, T. (2016). Effect of grassland cutting frequency on soil carbon storage–a case study on public lawns in three Swedish cities. Soil, 2(2), 175-184.

Årlig inlagring

Det årliga upptaget genom biomassan för anlagda gräsmattor varierar mellan 0,025–0,2 kg C per m² per år enligt de nyckeltal som används av LFM30[183]. I Malmö har det uppmätts en kolinlagring i klippta gräsmattor på 0,25 kg kol/m² och år [184]. I beräkningarna utgås från detta nyckeltal. Olika studier föreslår olika längd på perioden då gräsmattor nått ett jämnviktsläge och inte längre lagrar in mer kol. Vi har definierat det som 25 år, vilket kan ses som ett medel av olika forskares indikationer[185].

Beräkningsunderlag

Ytan med bruksgräs anges vara 1 257 435 m² [186] och ytorna med golfbanor inom Malmö som geografiskt område uppges vara 2 698 000 m² [187]. I beräkningarna utgås ifrån att 2 kg biokol/m² tillsätts vid nyetablering eller genom nermyllning på hela arealen som klassas som bruksgräs, sportytor och golfbanor.

1.3. Växtbäddar

Kolförråd

Whittinghill m fl (2014) har uppmätt en kolinnehåll på i 0,04 kg C/m² i medeltal (0,03–0,05 kg C/m²) för de ovanjordiska växtdelarna. Uppgifter på kolinnehållet i odlingsjordar beror på bland annat på klimat, nederbörd och skötsel. En undersökning av park och gräsmark i nordamerikansk stadsmiljö såg en variation mellan 4,2–16,3 kg kol/m² [188]. 10,8–12,6 kg kol/m² har uppmätts i urbana jordar med vegetation som delvis bestod av vedartade växtdelar[189]. Urbana jordar med trädgårdshävd har även uppmätts innehålla 9,07 kg kol/m² [190]. Vi gör antagandet att 9,5 kg kol/m² är kolinnehållet när koldioxidavgång och inlagring är i jämviktsläge för växtbäddar.

Årlig inlagring

Den här typen av vegetation bidrar med en tillfällig kolinlagring under sommaren för annueller medan perenner har en kontinuerlig inlagring som är ganska låg i jämförelse med större buskar och träd. När jordens årliga kolinlagring också beaktas antas att den totala årliga kolinlagringen är 50% högre än för gröna tak, dvs 0,13 kg kol /m² baserat på Whittinghill et al. (2014)[191].

---

[183] PM-Nyckeltal LFM30

[184] Poeplau, C., Marstorp, H., Thored, K., & Kätterer, T. (2016). Effect of grassland cutting frequency on soil carbon storage–a case study on public lawns in three Swedish cities. Soil, 2(2), 175-184.

[185] Monteiro, J. A. (2017). Ecosystem services from turfgrass landscapes. *Urban Forestry & Urban Greening*, *26*, 151-157.

[186] Personlig mailkommunikation med Anders Elmqvist, Projektledare för förnybar energi på serviceförvaltningen, Malmö stad.

[187] Personlig kommunikation med Linus Rispling, SCB om Malmö kommuns golfbaneytor 2020.

[188] Pouyat, R. V., Yesilonis, I. D., & Nowak, D. J. (2006). Carbon storage by urban soils in the United States.

[189] Contosta, A. R., Lerman, S. B., Xiao, J., & Varner, R. K. (2020). Biogeochemical and socioeconomic drivers of above-and below-ground carbon stocks in urban residential yards of a small city. *Landscape and Urban Planning*, *196*, 103724.

[190] Peach, M. E., Ogden, L. A., Mora, E. A., & Friedland, A. J. (2019). Building houses and managing lawns could limit yard soil carbon for centuries. *Carbon balance and management*, *14*(1), 1-14.

[191] Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. Landscape and Urban Planning, 123, 41–48.

Beräkningsunderlag

I kategorin växtbäddar inkluderas regnbäddar, odlingsbäddar för perenner, utplanteringsväxter, lökväxter, prydnadsgräs, kvartersodling och kolonilotter. Privata trädgårdar ingår inte i beräkningarna. Arealen baseras på skriftliga uppgifter från Anders Elmqvist på serviceförvaltningen på Malmö stad och summeras till 25 600 m². I beräkningarna har det antagits att ytan för växtbäddarna ökas från att uppgå till 8,4% av Malmö stads grönytor till 10%, d.v.s. 30 770 m². Mängden biokol som rekommenderas för inblandning i den här typen av växtbädd är 2 kg/m².

1.4. Häckar och buskar

Kolförråd

I en metaanalys av 83 jordar var kolhalten i jorden mellan 1,2 kg kol/m² till 1,7 kg/m² [192]. I engelskt klimat har höga häckar (3,5 m) skapat ett kolförråd i marken på 3,82 kg kol/m² i medeltal[193]. I våra beräkningar använder vi ett medelvärde för jordens kolinlagring på 2,2 kg/m².

Kolinnehållet i häckars biomassa har uppmätts till 4,0 – 8,7 kg kol/m² i en metastudie av 83 olika publikationer[194]. Whittinghill mfl (2014) har uppmätt ett kolinnehåll på 56 kg/m² i medel (40,4–65,3 kg C/m²) för de ovanjordiska delarna av olika typer av stadsbuskar[195]. I England har kolinlagring ovan jord i 3,5 m höga häckar uppmätts till ca 4,2 kg/m² [196]. Vi använder oss av 4,2 kg/m² i beräkningarna.

Årlig inlagring

Buskar kan bidra med en årlig kolinlagring, men eftersom deras tillväxt begränsas genom beskärning så är den ganska låg. Enligt italienska mätningar kan buskar bidra med en årlig CO_2 inlagring på 12,3–14,0 kg/m². I våra beräkningar används ett ganska lågt värde på 12,0 kg CO_2 /år, för att minska risken att överdriva kolinlagringen. Detta beaktar den kortare tillväxtsäsong i Malmö stad jämfört med Italiens förutsättningar[197].

Beräkningsunderlag

I kategorin buskar ingår endast de som serviceförvaltningen inkluderar i sin skötselplan inom kategorierna lekbuskage, prydnadsbuskage, bruksbuskage och klippt häck. Arealen baseras på skriftliga uppgifter från Anders Elmqvist på serviceförvaltningen på Malmö stad och summeras till 244 772 m². Det är lämpligt att tillsätta näringsberikad biokol för ökad kolinlagring till existerande planteringar i en omfattning av 2 kg/ m².

---

[192] Drexler, S., Gensior, A., & Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. Regional Environmental Change, 21(3), 1-14.

[193] Axe, M. S., Grange, I. D., & Conway, J. S. (2017). Carbon storage in hedge biomass—A case study of actively managed hedges in England. Agriculture, ecosystems & environment, 250, 81–88

[194] Drexler, S., Gensior, A., & Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Regional Environmental Change*, *21*(3), 1-14.

[195] Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. Landscape and Urban Planning, 123, 41-48.

[196] Axe, M. S., Grange, I. D., & Conway, J. S. (2017). Carbon storage in hedge biomass—A case study of actively managed hedges in England. Agriculture, ecosystems & environment, 250, 81–88.

[197] Gratani, L., Varone, L., & Bonito, A. (2016). Carbon sequestration of four urban parks in Rome. Urban Forestry & Urban Greening, 19, 184-193.

1.5. Energiskog

Kolförråd

Kolförrådet i biomassa av sälg och poppel som skördades var tredje år uppgår till 0,474 kg kol/m² enligt mätningar [198, 199]. Kolförrådet i mark antas vara samma som för buskar och häckar i urban miljö, d.v.s. 2,2 kg/m².

Årlig inlagring

I svenska försök, i bland annat Svalöv, har det uppmätts årlig kolinlagring på 0,49 kg kol/m² av sälg och poppel som skördades var tredje år planterad på åkermark. Siffran inkluderar kol i biomassa, jord och grenar[200].

Beräkningsunderlag

I nuläget finns 35 000 m² energiskog i Malmö stad[201]. En dubblering av odlad yta från odlingsmark anses rimlig. Vi utgår ifrån 70 000 m², men intresset för att producera biokol och samtidigt fjärrvärme kan få arealen att öka betydligt mer än så framöver.

1.6. Stadsträd

Kolförråd

Ett medelvärde som tagits fram av mätningar i Finland på kolförråd i mark i stadsmiljö. Det uppmättes till cirka 10,4 kg/m² [202], motsvarande förhållande mellan kol i mark och kol i biomassa på mellan 3,7–7,5. I iTree har kolinlagringen i biomassa beräknats till 586 kg C/ genomsnittsträd under en 50 års period. I våra beräkningar antas att förhållandet är 5 för att beräkna kolinnehållet i mark per träd, baserat på den finska studien. Det ger ett nyckeltal på 586/5= 117 kg C/träd lagrat i marken. Ett nytt stadsträd är i genomsnitt 15 år och innehåller ca 10 kg C/träd.

Årlig inlagring

Trädens årliga kolinlagring beror på mängden biomassa och tillväxthastigheten. Vi har utgått ifrån de beräkningar som har gjorts genom iTree, baserat på ett representativt urval av träd i träddatabasen. Den årliga kolinlagringen i befintliga stadsträd är 11,7 kg C/träd och 2,3 kg C/träd för de nyplanterade enligt beräkningar i iTree[203].

---

[198] Niemi Hjulfors, L. & Hjerpe, K. (2014) Mer än bara energi miljö- och samhällsnyttor med energigrödor. Jordbruksverket. https://docplayer.se/22097013-Mer-an-bara-energi-miljo-och-samhallsnyttor-med-energigrodor-lena-niemi-hjulfors-karin-hjerpe.html

[199] Rytter, R. M., & Rytter, L. (2020). Carbon sequestration at land use conversion–Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, *466*, 118129.

[200] Rytter, R. M., & Rytter, L. (2020). Carbon sequestration at land use conversion–Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest Ecology and Management*, *466*, 118129.

[201] Åkerarealens användning efter gröda, kommun och år (2021) Jordbruksverket Åkerarealens användning efter Gröda, Kommun och År. SiteTitle (sjv.se)

[202] Lindén et al 2020. Quantifying carbon stocks in urban parks under cold climate conditions. Urban Forestry & Urban Greening 49 (2020) 126633

[203] iTree Eco user's manual ver 6. 2021-09.22

Beräkningsunderlag

Beräkningarna av kolinlagring i stadsträd har utgått från dels befintliga träd och årligt bortfall av dessa, dels nyplantering, se Tabell 4.

1.1.1.1.1 Befintliga stadsträd

- Enligt Malmös stads träddatabas finns det ungefär 80 000 stadsträd i Malmö stad och varje år tas det bort/dör 1200 av dessa på grund av ålder, skador, sjukdomar, nybyggnationer osv. Det sista av dessa befintliga stadsträd tas då bort år 2089.
- Vi antar att de befintliga träden har ett kollager om 586 kg per träd i biomassa och 117 kg per träd i jord, vilket är värdena för ett 50-årigt träd enligt iTree.
- Vi antar att kolinlagringen är konstant 12 kg per träd och år till dess att trädet dör.

1.1.1.1.2 Nyplantering

- Varje år planteras 2000 nya träd, vilket dels ersätter befintliga träd som tas bort/dör enligt ovan, dels ger ett nettotillskott. Vi antar att de planteras i biokolbäddar/-gropar så att kollagret i jord uppgår till 517 kg per träd.
- Vi antar att de nyplanterade träden är ungefär 15 år vid etablering, att de då har ett kollager på 10 kg per träd i biomassa, att de ökar konstant från 2,3 kg per år vid nyplantering till 586 kg per år vid 50 års ålder.
- Vi antar att trädet dör vid 100 års ålder.

Nära 80 000 stadsträd har identifierats i de urbana delarna av Malmö stad. Vi räknar med en potential att öka mängden urbana träd med 2000 st träd/år fram till 2030.

Tabell 4. Nyckeltal för stadsträdens kollager och årlig kolinlagring baserat på iTree.

	Kollager i struktur	Årlig kolinlagring	
	[Kg C/träd]	[Kg C/träd/år]	år
Nyplanterad	10	2,3	15
Genomsnittsträd	586	12	50

Vi använder en kostnad per träd från den lokala Stångby plantskola på 10 000 kr per nyplanterat träd med stamomkrets ca 20–25 cm. I beräkningarna antas att 500 kg biokol används till varje träds substratblandning i skelettjorden enligt Stockholmsmodellen[204].

1.7. Jordbruk

Kolförråd

Givet förutsättningarna i den skånska slättbygden innehåller matjorden cirka 75 ton kol per ha (7,5 kg/m^2)[205].

[204] Liukas C. (2020) How to use biochar for structured soil plant beds in urban areas, hämtad februari 2022 https://medium.com/carboculture/how-to-use-biochar-for-structured-soil-plant-beds-in-urban-areas-8a45108e799

[205] Brady, M. V., Land, M., & Scharin, H. (2021). Växtföljders påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark: En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys.

Årlig inlagring

Den årliga kolinlagringen kan öka med 1% med förbättrad växtföljd och minskad jordbearbetning[206].

Beräkningsunderlag

Enligt SCB har Malmö stad 4801 ha (48 010 000 m²) som klassificeras som jordbruksmark[207], vilket vi använder som beräkningsunderlag för att visa på den potentiella möjligheten att öka kolinlagringen oavsett hur markägarförhållandet ser ut. I realiteten äger kommunen mark i flera andra kommuner där den bedriver jordbruk genom sina arrendatorer. I brist på dataunderlag för de arealerna utgår vi ifrån SCB:s siffror och antar att all mark är tillgänglig för växtodling. Det utgås i från att biokolsmängden som tillsätts är 2 kg/m² (20 ton/ha) i beräkningarna.

1.8. Återvätning av mullrika jordar

Kolförråd

Exakt hur mullrik jorden faktiskt är går inte att uttala sig om eftersom detta kräver fältmätningar. Det är även en variation mellan områden baserat på hur mycket mull som redan oxiderat efter torrläggning.

Beräkningsunderlag

Mark som har potential för hydrologisk restaurering har identifierats genom att utgå från länsstyrelsens karta över markavvattningsföretag. I kartan har båtnadsavgränsningen (dvs de områden som bedömts få ekonomisk nytta av företaget) använts för att indikera mark som historiskt varit ”vattensjuk” och därmed haft begränsad nedbrytning av organiskt material. Båtnadsområdena har sedan filtrerats så att endast områden på jordbruksmark räknats in (åkermark och betesmark enligt klassning i marktäckedatat Corine Land Cover). Baserat på SGU:s jordartskarta 1:25 000 innehåller uppskattningsvis en fjärdedel av båtnadsområdena på jordbruksmark i Malmö kommun jordar med hög mullhalt. Hit har vi räknat gyttja, bleke, gyttjelera samt svämsediment (sediment som avsätts när vattendrag tidvis svämmar över sina bräddar). Kärrtorv och mosstorv finns inte i området. Detta ger en översiktlig uppskattning. För en mer ingående beräkningsmetodik se t.ex. Berglund et al. (2009)[208].

Med ovanstående som underlag kan arealen mullrik mark med stor potential för minskad koldioxidavgång vid hydrologisk restaurering inom Malmö kommun uppskattas till ca 170 ha. (1,7 miljoner m²). Avgången av växthusgaser beror på faktorer som till exempel näringsstatus, vattenstatus, temperatur och jordbruksmetoder vilket medför platsspecifika skillnader. För att beräkna potentiell minskning av avgång av växthusgaser har vi därför använt samma emissionsfaktor som den som Sverige använder i klimatrapporteringen till FN[209], se Tabell 5. Detta innebär att en återställning från åker till våtmark ger en minskning med 21 ton CO_2ekv

[206] Brady, M. V., Land, M., & Scharin, H. (2021). Växtföljders påverkan på inlagring av organiskt kol i jordbruksmark: En systematisk översikt och samhällsekonomisk analys.
[207] SCB (2022) Kommunen i siffror. https://kommunsiffror.scb.se/?id1=1280&id2=null
[208] Berglund, Ö., Berglund, K. & Sohlenius, G., (2009). Organogen jordbruksmark i Sverige 1999-2008
[209] Jordbruksverket. 2018. Återvätning av organogen jordbruksmark som klimatåtgärd. Rapport 2018:30.

per hektar, motsvarande 2,1 kg CO_2/m^2 (Jordbruksverket, 2018). En undersökning av CO_2-utsläpp från brukad torvmark av Norberg (2017) tyder på att denna siffra skulle kunna vara betydligt högre[210]. Huruvida olika typer av mullrika jordar släpper ut olika mycket CO_2 har inte varit möjligt att fastställa inom ramen för detta arbete. För att ge en rättvisande bild måste den *ökning* av växthusgaser som sker när de icke-mullrika (minerogena) jordarna i båtnadsområdet övergår till våtmark räknas bort från totalsumman. Ökningen kommer sig av att andelen organiskt material förväntas öka vid vätningen och därmed ökar även nedbrytningen av detta material till CO_2. Vi använder oss av totalsiffran på 6,8 km^2 i våra beräkningar.

Tabell 5. Emissioner efter återvätning av areal.

	Mullrika jordar (25%)	Icke-mullrika jordar (75%)	Totalt
Potentiell areal för återvätning	1,7 km^2 (170 ha)	5,1 km^2 (510 ha)	6,8 km^2 (680 ha)
Förändring i CO_2 ekv-avgång/ha efter återvätning (Emissionsfaktor)	-2,1 kg CO_2/m^2	+0,36 kg CO_2/m^2	
Förändring i CO_2 ekv-avgång efter återvätning	-3 570 ton	+1 836 ton	-1 734 ton

1.9. Produktiv skogsmark

Kolförråd

Markkolet under tall och gran ligger mellan 5,7 och 9,2 kg kol/m^2 [211]. Vi använder ett medelvärde på 7,5 kg kol/m^2.

Årlig inlagring

Årligt upptag av koldioxid och inbindning av kol i levande trädbiomassa i svensk produktionsskog har uppmätts till 4,6 ton kol/hektar (0,46 kg/m^2) och år för gran[212]. Enligt SLU:s data är det 0,18 kg/m^2 [213]. Vi använder oss av 0,18 kg/m^2 i beräkningarna.

Beräkningsunderlag

Enligt SCB (2022) har Malmö stad 4 118 400 m^2 produktiv skogsmark, varav en stor del består av lövträd[214]. Det finns betydligt mer produktiv skogsmark som Malmö stad äger i andra kommuner men det tas inte med i beräkningen eftersom det saknas en referens.

[210] Norberg, L. 2017. Greenhouse Gas Emissions from Cultivated Organic Soils – Effect of Cropping System, Soil Type and Drainage. Acta Universitatis agriculturae Sueciae. 2017:30.
[211] Skogforsk (2019). Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan. https://www.skogforsk.se/cd_20190523090341/contentassets/4b4b423402784d658204a7784723637b/det-svenska-skogsbrukets-klimatpaverkan.pdf
[212] Vesterdal, L., Rosenqvist, L., Van Der Salm, C., Hansen, K., Groenenberg, B. J., & Johansson, M. B. (2007). Carbon sequestration in soil and biomass following afforestation: experiences from oak and Norway spruce chronosequences in Denmark, Sweden and the Netherlands. In Environmental effects of afforestation in north-western Europe (pp. 19-51). Springer, Dordrecht.
[213] Berg, B., Johansson, M. B., & Nilsson, Å. (2005). Kolfastläggning i Svensk skogsmarkshumus-direkt mätta värden. Fakta Skog, (8), 1-4.
[214] SCB (2022) Kommunsiffror, Malmö stad. https://kommunsiffror.scb.se/?id1=1280&id2=null

1.10. Ålgräs

Kolförråd

Mätningar visar på en stor variation i kolinlagring för ålgräsängar från 27 till 318 g kol/m² [215]. Andra mätningar visar på 9–11 g kol/m² [216]. Den höga variationen pekar på att en försiktig inställning till kolinlagringskapacitet bör antas mellan geografiska områden såväl som inom och mellan sjögräsarter[217]. I våra beräkningar antas 9 g kol/m².

Årlig inlagring

De delar av ålgräset som växer ovanför havsbotten vissnar ner under vintern och i brist på underlag gör vi ingen uppskattning av hur stor den årliga kolinlagringen till rotsystem och mullbildande ämnen som tillkommer årligen.

Beräkningsunderlag

Det finns 180 km² yta havsbotten i kommunen enligt Wikipedia. Efter samtal med verksamhetschef Michael Palmgren på Marint kunskapscenter och bedömningar av inventerade transekter på havsbotten (opublicerat material) uppskattas att 20% är bevuxet av ålgräs i nuläget, dvs 36 km². Åtgärder som minskar flöden av partiklar, skräp och näringsämnen från land, samt en höjning av havsbotten i inre hamnområden har en potential att öka ytan för ålgräs till 72 km² [218].

1.11. Träbyggande

Kolförråd

Uppskattningen för ökad andel trä som material vid nybyggnation baseras på nationell utveckling inom byggvärlden[219] och även den Klimatpolitiska vägvalsutredning (2020)[220]. Här vill vi flagga för att uppskattad träandel i befintligt bestånd är en osäker uppgift där det inte finns helt tillförlitliga data och det kan variera mellan olika typer av träbyggsystem. IVL har tagit fram en modell för beräkning av svenska byggnaders klimatpåverkan, där materialval resultera i allt från 9–100 kg C/m² per byggsystem[221].

Den största mängden trä som används i konstruktion i Sverige är gran, följd av furu. När vi räknar kubik i stället för kvadratmeter trä och med en torrsubstans på ungefär 422 kg/m³, har dessa två träslag ett kolinnehåll på 211 kg C/m³ trä (baserat på beräkningsreglerna från standarden EN 16449: Kolinnehåll = 0.5 * Md, där 0,5 är

[215] Röhr, M. E., Holmer, M., Baum, J. K., Björk, M., Boyer, K., Chin, D., ... & Boström, C. (2018). Blue carbon storage capacity of temperate eelgrass (Zostera marina) meadows. Global Biogeochemical Cycles, 32(10), 1457–1475.
[216] Poppe, K. L., & Rybczyk, J. M. (2018). Carbon sequestration in a Pacific northwest eelgrass (Zostera marina) meadow. Northwest Science, 92(2), 80-91.
[217] Röhr, M. E., Holmer, M., Baum, J. K., Björk, M., Boyer, K., Chin, D., ... & Boström, C. (2018). Blue carbon storage capacity of temperate eelgrass (Zostera marina) meadows. Global Biogeochemical Cycles, 32(10), 1457–1475.
[218] Personlig kommunikation med Michael Palmgren (2022) www.smkc.se
[219] https://www.byggvarlden.se/tror-pa-snabbare-byggtakt-med-industriell-trabyggnation/
[220] S.243. Karlsson, Å. B., Daoson, M., Boström, B., Jernbäcker, E., Lundblad, M., & Mjureke, D. (2020). Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen. Sou 2020, 4.
[221] Erlandsson, M. (2019). Modell för bedömning av svenska byggnaders klimatpåverkan. IVL rapport C 433

standard andel av kol i trä; och Md är träets torrmassa)[222]. Det är detta underlag vi valt att använda i beräkningarna av kollagret i trä vid byggnation i den här rapporten.

Beräkningsunderlag

1.1.1.1.3 Befintligt bestånd

Småhus beräknas enligt schabloner vara 140 m² till ytan och bestå av ca 35 m³ trä[223], se tabell 6. Flerbostadshus definieras som bostadsbyggnader innehållande tre eller flera lägenheter inklusive loftgångshus. Flerbostadshus har en lägre andel trä per yta jämfört med småhus framför allt eftersom det finns ett enda tak med takstolar och träkomponenter och dessutom används gips till innerväggar i större utsträckning[224]. De senaste åren har andelen trästommar i flerbostadshus ökat från 9% (2015) till 19% (2020)[225]. I våra beräkningar räknar vi med ett genomsnitt på 75 m² yta med 10 m³ trä i konstruktionen av lägenheter i flerbostadshus[226]. I det befintliga bostadsbeståndet har vi valt att exkludera övriga hus och specialbostäder eftersom den kategorin varierar kraftigt i andel trä. Det kan antas att den typen av byggnader består av en ansenlig mängd virke eftersom det gäller 10 670 bostäder, vilket gör att våra siffror på den totala kolsänkan i kategorin är lägre än verkligheten[227].

Tabell 6. Beräkning av kolinlagring i befintlig bebyggelse i Malmö stad år 2020.

	Lägenheter i Malmö stad efter bostadstyp (2020)	Yta	Uppskattad träandel	Uppskattad träandel	Kol i materialet	Totalt kol i materialet	Totalt kol i materialet	Totalt kol i materialet
	[Antal]	[m²]	[m³]	[kg /lägenhet]	[kg trä*0,5 andel kol]	[kg]	[ton]	[CO_2 ekv]
Småhus	27 442	140	35	14 770	7385	202 659 170	202 659	743 084
Flerbostadshus	133 237	75	10	4220	2110	281 130 070	281 130	1 030 810
Summa	171 349					483 789 240	483 789	1 773 894

[222] Svenskt Trä (2021) EPD Svenskt virke. https://portal.environdec.com/api/api/v1/EPDLibrary/Files/8ef05152-0174-4b7f-4141-08d92a4c0fd0/Data

[223] Berg, S., Jarnehammar, A., & Johansson, R. (2003). *Kollagring i den skogsindustriella sektorn i Sverige. Beräkningar för sektorn som helhet och i byggnader.*

[224] Carlsson A, Teknik & FoU chef, Derome Hus, Intervju

[225] TMF, statisktik https://www.tmf.se/statistik/branschstatistik/trahus/flerbostadshus/

[226] Adolfsson I.,Lindbäck E,(2021) Klimatpåverkan från industriellt producerade flerbostadhus i trä. Rapport Tyréns.

[227] Antal lägenheter efter region, hustyp och upplåtelseform (inklusive specialbostäder). År 1990 – 2020. SCB. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__BO__BO0104__BO0104D/BO0104T04/#

1.1.1.1.4 Nybyggnation

Under 2020 färdigställdes 2952 flerbostadshus och 269 småhus i Malmö kommun[228]. Flerbostadshusen uppgick till 92% av nybyggnationen. Enligt Boverket behöver det årligen byggas i genomsnitt 8 437 bostäder i Malmö-Lund 2021–2030[229]. För att dela upp behovet av bostäder mellan Malmö och Lund räknar vi på att Malmös befolkning för närvarande utgör 73% av Lunds befolkning[230] och vi allokerar därför 73% av hela nybyggnadsbehovet till Malmö kommun och antar att 92% av bostäderna utgörs av flerbostadshus enligt nybyggnationen 2020. Vi baserar träandelen på samma uppgifter som andel trä som i befintligt bestånd, Tabell 7.

Tabell 7. Beräkningar för den potentiella kolsänkan om nybyggnationsbehovet möts med en stor andel trä i byggnadsmaterialet.

	Nybyggnations-behov Malmö + Lund 2021–2030	Antal lägenheter	Uppskattad torrsubstans träandel	Kol i materialet per lägenhet	Totalt kol i materialet	Totalt kol i materialet	Totalt kol i materialet 2021–2030	Totalt kolförråd uppdelat/år
	[antal]		[kg/ lägenhet]	[kg C/m^3]	[kg C]	[ton C]	[ton CO_2 ekv]	[ton CO_2 ekv]
Totalt	8 437							
Malmös andel (73% av befolkningen i Malmö + Lund)	6195							
Andel flerbostadshus (92% 2020)	5 678							
Antagande: Antal lägenheter /flerbostadshus	10	56 776	4220	2110	119 797 144	119 797	439 256	48 806
Andel småhus (8% 2020)	517	517	14 770	7385	3 819 472	3819	14 005	1556

1.1.1.1.5 Renovering och påbyggnad

Med renovering avses till exempel balkong, yttervägg, innervägg, bjälklag, förstärkning, solida dörrar, innertak, lister och trägolv. I beräkningarna har vi endast valt att inkludera beräkningar från kollager baserat på renovering med träfasad[231]. Medelvärdet för åtgärden är 277 kg C/lägenhet baserat på Tyréns underlag (2021) där läkt, panel, foder och smygbräda ingår. Det har gjorts ett antagande att 1% av flerbostadshus får träfasad varje år vid renovering.

[228] Färdigställda lägenheter i nybyggda hus efter region, hustyp och lägenhetstyp. År 1991 – 2020. SCB. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__BO__BO0101__BO0101A/LghReHtypLtAr/

[229] Regionala byggbehovsberäkningar 2021–2030. https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/bostadsmarknad/bostadsmarknaden/behov-av-bostadsbyggande/byggbehovsberakningar/

[230] Regionfakta. Areal och befolkningstäthet 2021-12-31. https://www.regionfakta.com/skane-lan/geografi/areal-och-befolkningstathet/

[231] Klimatpåverkan från industriellt producerade flerbostadshus i trä (2021) Tyréns. https://www.ltu.se/cms_fs/1.208536!/file/TCN%20-%20Klimatp%C3%A5verkan%20fr%C3%A5n%20industriellt%20producerade%20flerbostadshus%20i%20tr%C3%A4_%20inkl%20bilagor.pdf

I beräkningarna har det gjorts ett antagande att 1% av hela det befintliga bostadsbeståndet får påbyggnader, vilket fördelas över en 50 års period. Påbyggnader kan bestå i ytterväggar, innerväggar, bjälklag, balkong och förstärkningar med limträbalk. Kolinlagringspotentialen beror på träbyggsystem och på andel trä som används. I litteraturen finns det exempel på träinnehåll i olika byggsystem, såsom volymelement (också kallad regelstomme) och massivträ (som omfattar timmerhus, KL-trä och limträ som material).

Beräkningarna av kolinlagringspotentialen baseras på byggandet av 8 lägenheter i massivbyggsystem i projektet Glitne i Umeå[232]. Delar av det ingående materialet är syntetiskt lim som används för att skapa ett kompakt och kolrikt trämaterial som står i mot yttre påfrestning. Det fossila kolet subtraherar för att beräkna mängden biogent kol som lagras. I våra beräkningar utgår vi från medelvärdet 6,9 ton C/lägenhet, baserat på underlaget i rapporten från Norén & Cristescu (2022).

1.1. Gröna tak

Kolförråd

Vi har utgått från studier som uppmätt det totala kolinnehållet hos två olika typer av gröna tak efter etablering. Det totala kolinnehållet uppgår till 1,188[233] respektive 8,01 kg/m^2 [234], Tabell 8.

Beräkningsunderlag

I våra beräkningar har vi antagit att de gröna taken efter etablering når ett jämviktsläge efter 5 år så att lika mycket kol tas upp som avges. Anledningen är att substratlagret, även för de mer krävande taktyperna, är relativt tunt och att humus förs bort med regnvattnet. De studier som mäter nettoupptaget av koldioxid från gröna tak har dels ett begränsat tidsperspektiv, och räknar dessutom endast med det utbyte som sker via luften [235]. Vi har i detta exempel valt att utgå från två taktyper där kolinnehållet i det gröna taket analyserats efter etablering. Dels en studie av obevattnade sedumtak med ett substratdjup om 6 cm[236], vilket bäst motsvarar ett svenskt grönt tak av standardtyp. Dels en studie av ett tak med vegetation av ”prärietyp” på ett 10,5 cm tjockt substrat där taken erhöll bevattning[237]. Prärievegetation växer på sandiga, näringsfattiga jordar i soligt läge och har därmed likheter med svensk ängsvegetation.

---

[232] Norén, J. & Cristescu, C. (2022) Miljöbedömning av en påbyggnation med trästomme. RISE rapport 2022:60.

[233] Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. Environmental Science and Technology, 43(19), 7564–7570.

[234] Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., Schutzki, R., & Cregg, B. M. (2014). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. Landscape and Urban Planning, 123, 41-48.

[235] Konopka, J., Heusinger, J., & Weber, S. (2021). Extensive Urban Green Roof Shows Consistent Annual Net Uptake of Carbon as Documented by 5 Years of Eddy-Covariance Flux Measurements. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *126*(2), e2020JG005879.

[236] Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. Environmental Science and Technology, 43(19), 7564–7570. http://dx.doi.org/10.1021/es901539x

[237] Whittinghill, L.J., Rowe, D.B., Schutzki, R., Cregg, B.M. (2013). Quantifying carbon sequestration of various green roof and ornamental landscape systems. Landscape and Urban Planning 123 (2014) 41–48 C. http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.015

Tabell 8. Kol i biomassa och substrat med olika typer av gröna tak

	Kol i biomassa ovan jord	Kol i biomassa under jord	Summa kolinnehåll i organisk struktur	Organiskt kol i substratet
	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]	[kg/m²]
Obevattnat tak av sedumtyp, 6 cm substrat	0,168	0,107	0,275	0,913
Bevattnat tak av prärietyp (äng), 10,5 cm substrat	4,16	0,72	4,88	3,13

För att bedöma potentialen i att skapa ytterligare kolsänkor genom att etablera gröna tak har vi valt att fokusera på verksamhetsområden i kommunen. I denna typ av bebyggelse finns hög andel stora byggnader med platta tak vilket skapar särskilt stor potential. I Malmö kommun finns 20,6 km² verksamhetsområde. En grov beräkning med hjälp av manuell GIS-analys av ortofoto visar att cirka 30% av denna yta utgörs av mer eller mindre platta tak. För beräkningen har vi valt att anta att cirka 50% av dessa tak skulle vara lämpliga för anläggning av ett grönt tak.

Genom att addera biokol till substratet kan en större kolsänka skapas. En lämplig andel biokol att blanda in i substratet är ca 10 volymprocent[238]. Biokol med en densitet om ca 300 kg/m³ vid ett substratdjup om 6 cm ger då ca 1,8 kg kolinlagring/m². Motsvarande värde för ett substratdjup om 10 cm ger då 3,15 kg kolinlagring/m².

1.1. Karbonatisering av aska och betongrester

Beräkningsunderlag

Malmö stad hanterade 1 188 ton betongavfall under 2020[239]. Materialet kommer till största delen från kommunen, men kan i vissa fall även ha genererats utanför de territoriella gränserna. För att beräkna medelvärdet på potentiell karbonatisering gjordes beräkningar baserade på flera olika referenser där parametrarna som tryck, tid och i vätskefas skilde sig åt[240], Tabell 9.

[238] Syrén, Bengt. Produktspecialist substrat vid Bara mineraler, muntlig uppgift 12 november 2021

[239] Miljöredoovisning 2020 Serviceförvaltningen, Malmö stad

[240] Zajac, M., Skocek, J., Skibsted, J., & Haha, M. B. (2021). CO_2 mineralization of demolished concrete wastes into a supplementary cementitious material–a new CCU approach for the cement industry. *RILEM Technical Letters*, *6*, 53-60; Ghacham, A. B., Pasquier, L. C., Cecchi, E., Blais, J. F., & Mercier, G. (2017). Valorization of waste concrete through CO_2 mineral carbonation: Optimizing parameters and improving reactivity using concrete separation. *Journal of Cleaner Production*, *166*, 869-878; Kaliyavaradhan, S. K., Ling, T. C., & Mo, K. H. (2020). CO_2 sequestration of fresh concrete slurry waste: Optimization of CO_2 uptake and feasible use as a potential cement binder. *Journal of CO2 Utilization*, *42*, 101330; Carbon dioxide sequestration of concrete slurry waste and its valorisation in construction products.

Tabell 9. Beräkningar för karbonatiseringspotentialen med betongavfall med Malmö stads material mängd (2021).

Material	Mängd material	CO_2 sänkepotential med olika metoder	Referens	CO_2 sänkepotential	Total CO_2 sänkepotential
	[ton 2021]	[kg CO_2/ton material]		[ton CO_2/ton material]	t/yr
Betongavfall	1187	250	[241]	0,25	297
		57	[242]	0,06	68
		204	[243]	0,20	243
		110	[244]	0,11	131
Medel					184
STDAV					104

Malmö stad hanterade 14 214 ton flygaska under 2020[245]. Även denna fraktion av avfall har sitt ursprung från förbränning inom kommunen, men kan i vissa fall levererats från aktiviteter utanför kommungränsen. För att beräkna medelvärdet på potentiell karbonatisering gjordes beräkningar baserade på flera olika referenser där uppehållstid, tryck och temperatur skilde sig åt[246], tabell 10. Beräkningarna baseras på karbonisering i vatten. I beräkningarna utgår vi från att samma mängd aska och byggrester genereras varje år och att karbonatiseringen sker på ett år. Det utgicks från att ingen karbonatisering av den här typen av avfall sker idag för att visa på potentialen i att systematiskt använda sig av den som en resurs.

Tabell 10. Karbonatisering baserad på askproduktion i Malmö stad.

Material	Mängd material	CO_2 sänkepotential med olika metoder	Referens	CO_2 sänkepotential	Total CO_2 sänkepotential
	[ton 2021]	[kg CO_2/ton material]		[ton CO_2/ton material]	t/yr
Aska	14 214	270		0,27	3838
		240		0,24	3411
		140		0,14	1990
		250		0,25	3554
Medel					3198
STDAV					825

[241] Zajac, M., Skocek, J., Skibsted, J., & Haha, M. B. (2021). CO_2 mineralization of demolished concrete wastes into a supplementary cementitious material–a new CCU approach for the cement industry. RILEM Technical Letters, 6, 53-60.

[242] Ghacham, A. B., Pasquier, L. C., Cecchi, E., Blais, J. F., & Mercier, G. (2017). Valorization of waste concrete through CO_2 mineral carbonation: Optimizing parameters and improving reactivity using concrete separation. Journal of Cleaner Production, 166, 869-878.

[243] Kaliyavaradhan, S. K., Ling, T. C., & Mo, K. H. (2020). CO_2 sequestration of fresh concrete slurry waste: Optimization of CO_2 uptake and feasible use as a potential cement binder. *Journal of CO_2 Utilization*, *42*, 101330.

[244] Xuan, D., Zhan, B., Poon, C. S., & Zheng, W. (2016). Carbon dioxide sequestration of concrete slurry waste and its valorisation in construction products. Construction and building materials, 113, 664-672.

[245] Sysav, Mamö Raul Grönholm personlig kommunikation.

[246] Ren, P., Ling, T. C., & Mo, K. H. (2022). CO_2 pretreatment of municipal solid waste incineration fly ash and its feasible use as supplementary cementitious material. Journal of Hazardous Materials, 424, 127457; project https://www.chalmers.se/en/projects/Pages/Towards-post-combustion-carbon-capture-with-alkaline-residues.aspx .

Appendix 2.

Samlat underlag för beräkningarna

Tabell 10. Utförliga beräkningar för de olika kolinlagrade kategorierna baserade på nyckeltal i appendix 1.

Delkategori	Andel	Området för kolinlagring omräknat till yta inom kommunen		Kolinnehåll i organisk struktur		Kolinnehåll i mark ansluten till delkategorin		Årlig kolinlagring - nyckeltal		Delkategorins kollager	Delkategorins årliga kolinlagring	Motsvarande CO_2-inlagring	Tidsskala
Användningsområde för kategorin	Andel av kategorin som delkategorin utgör potentiellt (%)	Värde	Enhet	Värde	Enhet	Värde	Enhet	Värde	Enhet			Baserat på molförhållandet i CO_2 [44/12]	Maxtid för årlig kolinlagring
										ton C	**[ton C/år]**	**[ton CO_2/år)**	**[år]**
Bruksgräs (gräsmattor och fotbollsplaner)	4,1%	1 257 435	m2	1,33	kg/m2	6,8	kg/m2	0,25	kg/m2, år	10 198	314	1 153	25
Bruksgräs (gräsmattor och fotbollsplaner) + biokol	4,1%	1 257 435	m2	1,33	kg/m2	8,4	kg/m2	0,25	kg/m2, år	12 210	314	1 153	100
Golfbanor	---	2 698 000	m2	1,33	kg/m2	6,8	kg/m2	0,25	kg/m2, år	21 881	675	2 473	25
Golfbanor+biokol 2 kg/m2	---	2 698 000	m2	1,33	kg/m2	8,4	kg/m2	0,25	kg/m2, år	26 198	675	2 473	>25
Växtbäddar	0,084%	25 641	m2	0,04	kg/m2	9,5	kg/m2	0,13	kg/m2, år	245	3	12	30
Fler växtbäddar	0,100%	30 769	m2	0,04	kg/m2	9,5	kg/m2	0,13	kg/m2, år	294	4	14	30
Fler växtbäddar + biokol 2 kg/m2	0,100%	30 769	m2	0,04	kg/m2	11,1	kg/m2	0,13	kg/m2, år	343	4	14	30
Buskar	0,80%	244 772	m2	4,20	kg/m2	2,2	kg/m2	12,00	kg/m2, år	1 576	2 937	10 770	30

Buskar+ biokol 2 kg/m2	0,80%	244 772	m2	4,20	kg/m2	3,8	kg/m2	12,00	kg/m2, år	1 968	2 937	10 770	30
Stadsträd	---	80 000	st stadsträd	586	kg/träd	117	kg/träd	11,7	kg/träd, år	56 291	938	3 440	50
Ökad trädplantering med 20% "netto-nya" (dvs utöver ersättningsplantering för döda träd) till 2030 dvs 2000 st /år	---	82 200	st stadsträd	10	kg/träd	117	kg/träd	11,7	kg/träd, år	10 462	964	3 535	50
Ökad trädplantering m . 2000st år + 500 kg biokol per träd	---	82 200	st stadsträd	10	kg/träd	517	kg/träd	2,3	kg/träd, år	43 342	189	693	50
Produktiv skogsmark	---	4 118 400	m2	0,46	kg/m2	7,5	kg/m2	0,18	kg/m2, år	32 577	741	2 718	100
Produktiv skogsmark+biokol (4 kg/m2)	---	4 118 400	m2	0,46	kg/m2	10,7	kg/m2	0,18	kg/m2, år	45 755	741	2 718	100
Energiskog	---	35 000	m2	0,474	kg/m2	2,2	kg/m2	0,49	kg/m2, år	95	17	63	25
Ökad areal energiskog	---	70 000	m2	0,474	kg/m2	2,2	kg/m2	0,49	kg/m2, år	190	34	126	25
Ökad areal energiskog + biokol 2 kg/m2	---	70 000	m2	0,474	kg/m2	3,8	kg/m2	0,49	kg/m2, år	302	34	126	25
Klassisk ensidig växtföljd	---	45 300 000	m2	0	kg/m2	7,5	kg/m2	0	kg/m2, år	341 562	0	0	100
Växtföljd och jordbearbetning optimerad	---	45 300 000	m2	0	kg/m2	7,5	kg/m2	0,0754	kg/m2, år	341 562	3 416	12 524	100
Växtföljd, jordbearb +biokol 2 kg/m2	---	45 300 000	m2	0	kg/m2	9,1	kg/m2	0,0754	kg/m2, år	414 042	3 416	12 524	>100
Återvätning av dikade mulljordar	---	6 800 000	m2	okänt	---	okänt		0,255	kg/m2, år	0	1 734	6 358	1000
Ålgräsäng	20%	36 000 000	m2	0,009	kg/m2	0,0	kg/m2		kg/m2, år	648	0	0	40
Ökad plantering av ålgräsäng	40%	72 000 000	m2	0,009	kg/m2	0,0	kg/m2		kg/m2, år	1 296	0	0	40
Befintliga gröna tak - sedumtyp 6 cm tjock	0,55%	380 000	m2	0,275	kg/m2	0,9	kg/m2	0,085	kg/m2, år	451	32	118	5
Fler gröna tak - sedumtyp 6 cm tjockt	1,10%	760 000	m2	0,275	kg/m2	0,9	kg/m2	0,085	kg/m2, år	903	65	237	5
Fler gröna tak - sedumtyp 6 cm tjockt + 10% biokol	1,10%	760 000	m2	0,275	kg/m2	2,7	kg/m2	0,085	kg/m2, år	2 271	65	237	5

Befintliga gröna tak - prärietyp (äng) 10,5 cm tjock	0,03%	20 000	m2	4,88	kg/m2	3,1	kg/m2	0,085	kg/m2, år	160	2	6	5
Fler gröna tak - prärietyp (äng) 10,5 cm tjock	0,06%	40 000	m2	4,88	kg/m2	3,1	kg/m2	0,085	kg/m2, år	320	3	12	5
Fler gröna tak - prärietyp (äng) 10,5 cm tjock + biokol 10%	0,06%	40 000	m2	4,88	kg/m2	6,3	kg/m8	0,085	kg/m2, år	446	3	12	5
Befintlig mängd trä i småhus (ca 140 m2, 35m3 trä)	16%	27 442	st boenden	211	kg/m3	0	---	---	---	202 659	0	0	50
Nybyggnation av småhus (ca 140 m2, 35 m3 trä)		517	st boenden	211	kg/m3	0	---	---	---	3 819	1 042	3 819	100
Befintlig mängd trä i flerbostadshus (ca 70 m2, 10 m3 trä)	78%	133 237	st boenden	211	kg/m3	0	---	---	---	281 130	0	0	50
Nybyggnation av flerbostadshus (70 m2, 10 m3 trä)	---	5 678	st boenden	211	kg/m3	0	---	---	---	11 980	32 672	119 797	100
Träbyggnader- påbyggnad på 1% av hela beståndet fördelat på 50 år	1%	1 607	st boenden	2083	kg/lägenhet	0	---	---	---	---	67	245	50
Träbyggnader - 1% per år av befintliga flerbostadshus får träfasad vid renovering	1%	1 332	st boenden	277	kg/lägenhet	0	---	---	---	---	369	1 353	50
Karbonatisering av betongkross	---	1 187	ton betongkross 2020	0	---	0	---	50 294	kg/år	0	50	184	1000
Karbonatisering av aska	---	14 214	ton aska 2020	0	---	0	---	872 223	kg/år	0	872	3 198	1000