

Klima- og miljødepartementet

Postboks 8013 Dep

0030 Oslo

Sendt per e-post til postmottak@kld.dep.no

Kopi til:

Håkon Grindheim, Klima- og miljødepartementet,

Seksjon for karbonlagring og bioressurser

Sendt per e-post til Hakon.Grindheim@kld.dep.no

Kopi til:

Miljødirektoratet

Postboks 5672 Torgarden

7485 Trondheim

Sendt per e-post til post@miljodir.no

Att: Kjersti Gram Andersen, avdelingsleder seksjon for grunnforurensning og deponi,

Anna von Streng Velken, avdelingsdirektør klimaavdelingen

Kopi til:

Statsforvalteren i Østfold, Buskerud, Oslo og Akershus

Postboks 325

1502 Moss

Sendt per e-post til sfospost@statsforvalter.no

Att: Karsten Butenschøn, avdelingsdirektør Klima- og miljøvern avdelingen

Svar rettes til:

Sylva AS,

Gaustadalléen 21, 0349 Oslo

e-post: post@sylva.no

Oslo, 23.05.2026

Sylva har vært i dialog og møter med Klima- og miljødepartementet, Miljødirektoratet og via telefon med Statsforvalteren vedrørende sin naturbaserte karbonfangst og -lagringsmetode, Woodstore.

Vi har blitt oppfordret til å redegjøre for metoden og sender nå denne redegjørelsen til Klima- og miljødepartementet med kopi til Miljødirektoratet og Statsforvalteren.

Orienteringsbrev om Woodstore — en klimaløsning fra skogen

Sammendrag

Woodstore er Sylvas naturbaserte metode for karbonfangst- og lagring. Vi estimerer at metoden har et årlig potensial på om lag 5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i Norge, mens forskning indikerer et globalt potensial på 10–12 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter for tilsvarende metodikk. Internasjonalt omtales denne metodikken som Terrestrial Storage of Biomass (TSB) eller Carbon Sequestration via Wood Burial (CSWB). Woodstore bruker restbiomasse fra skogbruket, kjent som hogstavfall, og omdanner dette til høyverdige karbonkreditter med sertifisert permanens på 100+ år. Under riktige betingelser (et anoksisk miljø), kan karbonet dokumenteres å forbli stabilt lagret i tusenvis av år i det vi omtaler som Woodstore-karbonkamre.

I henhold til forurensningsloven er det etablert rammer for skogbruket som innebærer at vanlig forurensning fra drift anses som lovlig. Dette omfatter blant annet praksisen med å la hogstavfall ligge igjen i skogen. Hogstavfall representerer imidlertid en betydelig og naturlig kilde til CO₂-utslipp, og vi mener at denne ressursen i større grad bør utnyttes til klimatiltak. Woodstore, som en integrert del av skogbruket, innebærer at hogstavfall samles inn og lagres stabilt under bakken på om lag to meters dybde. Gjennom denne prosessen gis hogstavfallet ny verdi i form av frivillige karbonkreditter. Metoden muliggjør lagring av nær 100 % av karbonet i biomassen. På overflaten av karbonkammeret etableres det raskt ny vegetasjon og skog.

Woodstore medfører etter vår vurdering ingen nevneverdige skader eller ulemper, og gir ingen eller kun ubetydelig forurensning utover det som følger av ordinær skogdrift. På denne bakgrunn av dette mener vi at metoden Woodstore kan gjennomføres uten særskilt tillatelse, jf. forurensningsloven §8. Uten bruk av Woodstore vil hogstavfallet slippe nær all karbonet tilbake til atmosfæren når det brytes ned. Mestparten av karbonet fra biomassen går direkte til atmosfæren, mens en mindre andel midlertidig bindes i jordsmonnet som jordkarbon før det senere slippes ut i naturlige prosesser.

Sylva mener at bruk av hogstavfall til produksjon av karbonkreditter bør likestilles med gjenvinning i avfallshierarkiet, av følgende grunner:

- Biproduktet (hogstavfall) fra tømmerproduksjon (primærprodukt), utnyttes direkte til å skape et nytt produkt (karbonkreditter) som det allerede eksisterer et marked for i dag i det frivillige karbonmarkedet.
- Woodstore representerer dermed en mer formålstjenlig og klimavennlig ressursutnyttelse enn dagens praksis, uten negative konsekvenser for natur, miljø eller mennesker, og er således helt i tråd formålet til forurensningsloven.

Videre anser vi at Woodstore ikke utgjør deponering av avfall, men en metode for karbonlagring. Ettersom tiltaket verken medfører nevneverdige ulemper eller økt

forurensning, samtidig som det bidrar til reduserte klimagassutslipp, foreligger det etter vår vurdering ikke krav om særskilt tillatelse

Formål med redegjørelsen

Karbonlagringsmetoden Woodstore faller i dag delvis utenfor rammene for ordinær forvaltningspraksis. Dette skyldes ikke at aktiviteten i seg selv er særpreget, men at eksisterende regelverk i begrenset grad tar høyde for det kunnskapsgrunnlaget metoden bygger på. Hvordan aktiviteten skal forstås og tolkes i gjeldende lovverk, er derfor av avgjørende betydning for vår virksomhet.

Denne orienteringen er utarbeidet på oppfordring fra Miljødirektoratet, etter videomøte tirsdag 13. januar 2026 (ved Kjersti Gram Andersen m.fl.), samt etterfølgende møte med Klimaavdelingen i Klima- og miljødepartementet fredag 13. februar 2026 (ved Håkon Grindheim m.fl.).

Redegjørelsen gir en beskrivelse av karbonlagringsmetoden som utvikles av Sylva, og danner grunnlaget for formålet med denne orienteringen, som er å:

- Redegjøre for hvorfor Woodstore bør klassifiseres på nivå med gjenvinning i avfallshierarkiet.
- Redegjøre for hvorfor Woodstore etter vårt syn ikke krever særskilt tillatelse.

Vi oppfordrer myndighetene til å ta stilling til vårt standpunkt, og ber om tilbakemelding dersom det er uenighet i vår forståelse.

Innhold

Sammendrag.....	2
Formål med redegjørelsen.....	3
Innhold.....	4
1 Innledning.....	5
2 Om Sylva.....	6
3 Ny skogforvaltning: Naturskog og Produksjonsskog.....	7
3.1 Hvorfor tror vi på dette?.....	7
4 Woodstore – naturbasert karbonfangst og -lagring.....	9
4.1 Hva er Woodstore?.....	9
4.2 Hvorfor det fungerer.....	10
4.3 Hva gjenstår å avklare?.....	18
4.4 Alternativ bruk av biomassen.....	20
4.5 Karbonmarkedet i dag.....	22
4.6 Konklusjon av Woodstore som klimametode.....	23
5 Hva vi har gjort til nå – Woodstore pilot 1.....	24
6 Lovverket.....	26
6.1 Plassering i avfallshierarkiet.....	26
6.2 Særlig tillatelse er ikke nødvendig.....	30
6.3 Sakens kjerne.....	30
7 Prosjektet: Naturbasert karbonfangst og -lagring på Sylvas eiendom.....	32
7.1 Rammer for prosjektet.....	32
7.2 Prosjektbeskrivelse.....	32
7.3 Gjennomføring.....	33
8 Oppsummering.....	37
9 Konklusjon.....	38
10 Tilbakemelding.....	39
Kilder.....	40

1 Innledning

Klimakrisen og naturkrisen er blant de største truslene menneskeheten står overfor og alvorligheten er, dessverre, økende. Det verste er at vi mennesker er skyldige i dette. I flere tiår har klimaforskere varslet konsekvensene, klart og tydelig. Nå omtaler FNs generalsekretær situasjonen som "Kode rød for menneskeheten". Kan det sies tydeligere?

I skrivende stund er det nylig publisert at klimaforskere vurderer det som sannsynlig at vi vil passere 1,5 graders målet før 2030 – om lag ti år tidligere enn antatt da målet ble fastsatt i Parisavtalen. Vi svikter fremtidige generasjoner og verdens økosystemer og arter. Flere av klodens naturlige buffermekanismer er i ferd med å nå sine metningsgrenser, og vi risikerer selvforsterkende og irreversible prosesser. Den underliggende drivkraften bak dette er for høy CO₂-konsentrasjon i atmosfæren.

Naturen har allerede løst utfordringen knyttet til karbonfangst gjennom fotosyntesen. Utfordringen som gjenstår for oss mennesker å løse, er å sikre varig lagring av karbonet. For å begrense den globale oppvarmingen mest mulig, må vi ta i bruk alle tilgjengelige midler – men prioritere løsninger som er klare, skalerbare og som har potensial for global effekt.

Naturen har vist at dette er mulig: For rundt 350 millioner år siden, i karbontiden, ble dagens kullforekomster dannet som følge av at trær og planterester ved livsløpsslutt ikke ble nedbrutt, men bevart under stabile forhold i anoksiske miljø. Dette reduserte CO₂-konsentrasjonen i atmosfæren fra 2 000 ppm til 200 ppm. Det er denne naturbaserte mekanismen Sylva videreutvikler gjennom Woodstore.

Vi vet at verden er avhengig av karbonfjerning fra atmosfæren i stor skala nå og i lang tid fremover. Det er lite realistisk at globale utslipp vil reduseres til null i overskuelig fremtid. Opprinnelig var målet netto null i 2050 for å nå 1,5 graders målet. Dette anslaget er nå i praksis forskjøvet til rundt 2090, med en anslått oppvarming på 2,2 grader innen 2100 [1]. Samtidig anslås det at vi må fjerne så mye som 10 milliarder tonn CO₂ fra atmosfæren årlig innen 2050.

Å fastsette klimamål basert på utslippsreduksjoner og klimakvoter, uten en konkret og skalerbar plan på *hvordan* vi skal fjerne karbon fra atmosfæren, fremstår derfor som utilstrekkelig – og i beste fall som ønsketenkning. Naturen har allerede gitt oss svaret. Gjennom fotosyntesen trekkes karbon ut av atmosfæren i en skala ingen teknologi er i nærheten av å matche. Fotosyntesen er og forblir vår største "støvsuger" for CO₂. Derfor er naturbaserte karbonfjerningsmetoder som Woodstore ikke bare et alternativ, men en nødvendig del av løsningen.

2 Om Sylva

Sylva forsker på, piloterer og drifter nye metoder for fremtidsrettet skogbruk som skal bidra til å løse klima- og naturkrisen. Vi utvikler skalerbare løsninger som kan tas i bruk i dag, samtidig som vi utvikler en alternativ forvaltning for skogdriften i fremtiden.

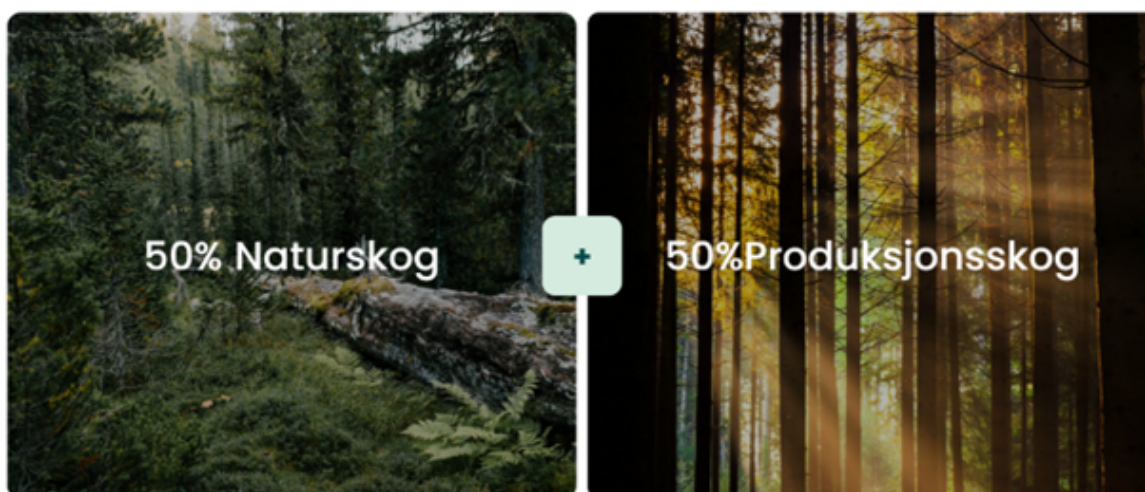
Vi utvikler en karbonlagringsmetode, *Woodstore*, og en ny modell for skogforvaltning *Naturskog og Produksjonsskog* - som samlet kan bidra til å løse både klima- og naturkrisen. For å vise at dette ikke bare er teori, men fungerer i praksis, må løsningene testes og dokumenteres. Derfor har vi anskaffet en gård (Hauger gård i Vestby) med tilhørende skog som skal fungere som hovedkvarter, forskningsområde og utstillingsvindu for arbeidet vårt.

3 Ny skogforvaltning: Naturskog og Produksjonsskog

Sylva har en helhetlig tilnærming til skogbruk og utfordrer både skognæringen og miljøorganisasjoner med en ny modell for hvordan skog kan forvaltes. Dette mener vi er nødvendig om vi skal kunne produsere mer tømmer, fange mer CO₂ og samtidig ivareta naturmangfoldet i langt større grad enn i dag. Sylvas forvaltningskonsept – *Naturskog* og *Produksjonsskog*, kombinert med *Woodstore* – utvikles for å møte dette tredelte behovet.

Kjernen i skogforvaltningsmodellen Naturskog og Produksjonsskog, er å dele skogen i to tilnærmet like store arealer:

- **Naturskog:** Store, sammenhengende områder som settes av for å verne om naturmangfoldet i all overskuelig fremtid. Inngrep begrenses til naturrestaurering og tiltak som kan fremskynde etableringen av økologisk balanse.
- **Produksjonsskog:** Arealer som forvaltes med mål om å optimalisere biomasseproduksjonen og karbonopptak. Her kombineres tømmerproduksjon med utnyttelse av restbiomasse til varig karbonlagring gjennom *Woodstore*.



Ved å dele skogen slik, kan vi etablere store, sammenhengende og robuste områder for naturmangfoldet. Samtidig kan produksjonsskogen forvaltes mer målrettet, hvor hensynet til biologisk mangfold begrenses til det som er nødvendig for å oppnå maksimale biomasseproduksjon.

3.1 Hvorfor tror vi på dette?

En aktivt skjøttet skog har et betydelig høyere CO₂-opptak enn passivt forvaltet skog [2], samtidig som den legger til rette for økt og mer forutsigbar tømmerproduksjon. Denne tilnærmingen er godt forankret i prinsippene fra triad forestry [3], hvor skoglandskapet deles inn i soner for bevaring, økologisk forvaltning og intensiv produksjon. Ved å konsentrere produksjonen til de mest egnede arealene – gjennom aktiv skjøtsel og utnyttelse av høy bonitet – kan man øke den totale biomasseproduksjonen betydelig. Dette frigjør samtidig areal til å etablere større, sammenhengende og mer robuste

områder for naturskog og biologisk mangfold. I dag produseres rundt en tredjedel av verdens kommersielle trevirke i intensivt drevne skogplantasjer, på kun 3-4% av verdens skogsareal. Om vi øker andelen aktivt skjøttede treplantasjer, kan vi samtidig legge til rette for at større arealer kan forvaltes med naturmangfold som hovedformål. Vi har ikke treplantasjer i Norge.

4 Woodstore – naturbasert karbonfangst og -lagring

4.1 Hva er Woodstore?

Woodstore er naturbasert karbonfangst og -lagring ved bruk av restbiomasse (hogstavfall) fra skogbruket. Ved konvensjonell skogdrift blir rundt 45% av biomassen liggende igjen i skogen i form av greiner, topper og røtter. Dette representerer en betydelig, men i dag i stor grad uutnyttet ressurs for karbonlagring. Det lagrede karbonet danner grunnlaget for utstedelse av frivillige karbonkreditter.

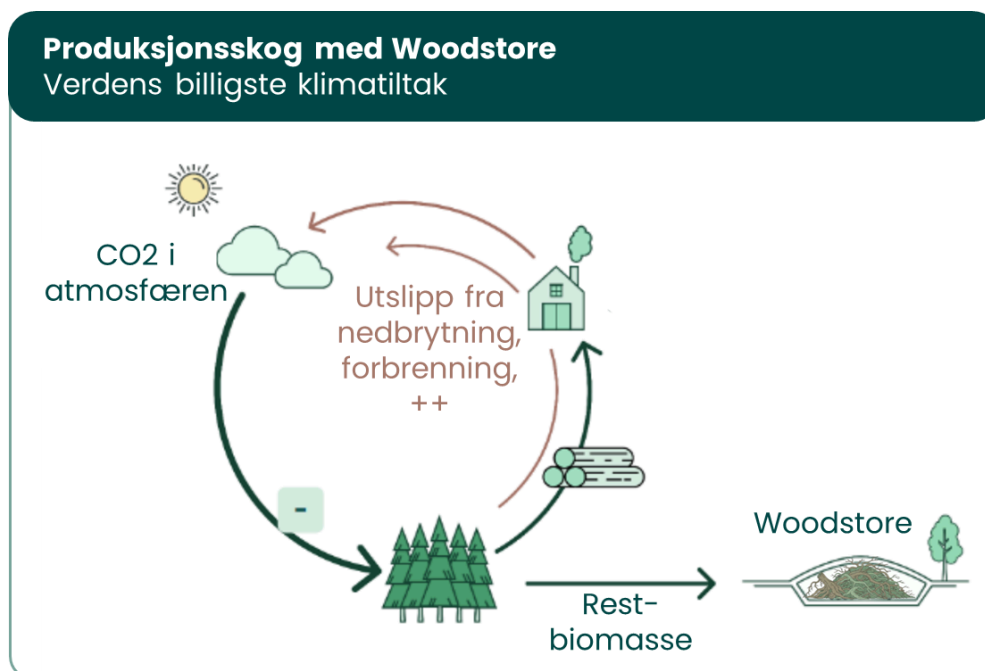
Woodstore er enkelt i prinsipp: restbiomassen samles inn etter hogst, og lagres i nedgravde karbonkamre på egnede, geologisk stabile lokasjoner på eller i nærheten av hogstfeltet. Deretter blir både hogstfeltet og overflaten av karbonkammeret plantet med ny skog og inngår i den nye rotasjonen.



Figur 1: Woodstore er enkelt, skalerbart, kostnadseffektivt, og skaper verdi av hogstavfall.

Woodstore vil på sikt tilbys som en tjeneste for skogeieren. Etter hogst kan Woodstore gjennomføres på hogstfeltet, hvor en del av tjenesten er forryngelse av hogstfeltet – en løsning som gir gevinster både for klima, produksjon og skogeieren. Forryngelse er, i følge Petersson et al. [2] det tiltaket med nest størst effekt for økt karbonopptak i norske skoger. Ved å kombinere uttak av røtter med markberedning forbedres vekstforholdene for ny skog, samtidig som biomasse tas ut og benyttes til varig karbonlagring. Feltstudier viser at karbonutslipp ved uttak av røtter er minimal, om det i det hele tatt forekommer [4]. For markberedning isolert sett viser totalregnestykket en klimagevinst fordi den økte tilveksten i ny skog mer enn oppveier eventuelle utslipp [5]. Metoden krever dog mer innsats enn hva som er vanlig i skogbruket i dag. Helheten i Woodstore representerer dermed en skogbruksaktivitet som ikke bare øker karbonlagringen, men også stimulerer til flere arbeidsplasser som gir økt verdiskaping i næringen.

For å sikre nødvendig drift og etterdrift av karbonkammeret må det tinglyses en servitut som gir tiltakshaver eller stedfortredende tilgang til overvåking, vedlikehold og verifikasjon av lageret, også ved opphør av tiltakshavende selskap.



Figur 2: Woodstore vil bli et tillegg i den normale flyten for materialer fra skogen

Oppsummert: Woodstore tar en unyttet ressurs i form av restbiomasse (et biprodukt) etter hogst, og gjør det om til høyverdige karbonkreditter.

4.2 Hvorfor det fungerer

Hva vi vet i dag

Flere funn dokumenterer at trevirke kan bevares i tusenvis av år under riktige forhold. Eksempler inkluderer skipsvrak på havbunnen, gravkamre og røtter bevart i myr. Felles for disse er at de befinner seg i anoksiske (oksygenfattige) miljøer.

Forskning viser at trevirke er stabilt under anaerobe forhold, men blir nedbrutt av oksygen-pustende sopp i aerobe miljøer. Professor Ning Zheng, en sentral forsker og pådriver for metoden, publiserte i 2024 en artikkel i tidsskriftet Science [6] om en trerot datert til 3 775 år gammel, funnet på to meters dyp i leirerike masser. Roten var intakt, og karbonet var fortsatt lagret. Tilsvarende observasjoner er gjort på Hauger gård, der vi selv har funnet trebiter i leire på 1,5 meters dybde, datert til å være 5 000 år gamle. Slike funn dokumenterer at karbon kan lagres stabilt over svært lang tid dersom de riktige betingelsene er til stede – og gir samtidig indikasjoner på hvordan slik lagring kan gjennomføres i praksis.

Den avgjørende faktoren er å hindre tilgang på oksygen. Ved om lag to meters dybde er oksygenmetningen mindre enn 0,1% [7] i porøse masser. Ved i tillegg å kapsle inn biomassen ved å legge et lag med leire direkte på biomassen før overdekning med jord, vil man sikre et stabilt anoksisk miljø.

Puro.earth sin metodikk på TSB er basert på oppdatert forskning og kunnskapsgrunnlaget som fremkommer i IPCC rapporter. IPCC representerer en bred vitenskapelig konsensus,

og dokumenterer at trevirke i liten grad brytes ned under anaerobe forhold. Dette underbygges av studier av trevirke fra søppeldeponier verden over. Opp til 99,9 prosent av karbonet i bartrær kan bevares ved lagring under riktige betingelser [8][9]. Som det fremgår av Encyclopaedia Britannica: "Most organics can undergo anaerobic digestion, the exception being woody wastes. Wood contains lignin, which most anaerobic microorganisms cannot degrade." [10].

Samlet sett gir dette et tydelig kunnskapsgrunnlag: Når trevirke lagres under anoksiske forhold, kan karbonet forbli stabilt over svært lange tidsperioder. Spørsmålet er derfor ikke om karbonlagringen fungerer – men hvilket potensial denne metoden har i praksis.

Potensialet i metoden

En klimabøtende metode bør ha et potensial på flere milliarder tonn årlig, på en bærekraftig måte, for å være relevant og ha reell effekt på mengden CO₂ i atmosfæren. Karbonlagring ved direkte lagring av restbiomasse av trevirke er estimert å ha et globalt potensial på 10-12 milliarder tonn CO₂-ekvivalenter per år i aktivt forvaltede skoger [11]. For Norges del estimerer vi et årlige potensial på om lag 5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter (se vedlagt regnestykke [✚ Beregning Potensial](#)).

Fordeler og ulemper

For å belyse metoden ytterligere og synliggjøre hvilke avveininger den innebærer, vil vi vurdere fordeler og ulemper ved Woodstore opp mot hverandre.

Woodstore – Fordeler	Woodstore – Potensielle ulemper
1. Effektiv og permanent: Tilnærmet 100% av karbonet blir lagret stabilt i hundrevis til tusenvis av år. 2. Stort potensial: 10-12 milliarder tonn årlig i verden. I Norge estimerer vi rundt 5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter årlig. 3. Skalerbar: kan gjøres distribuert og av mange. Behovet for maskiner begrenser seg til vanlig skogdrift i tillegg til en gravemaskin. Det er derfor lite på forhåndskostnader sammenlignet med å bygge fasiliteter og faste installasjoner, som for eksempel for biokull eller BECCS. 4. Samfunn: Woodstore skaper en tilleggsverdi i skognæringen og nye distribuerte arbeidsplasser. 5. Kostnadseffektiv: Lagring av biomassen skjer på eller ved hogstfeltet. Dette sikrer minimal transport. Siden biomassen ikke behandles, er det også få ledd i prosessen fra høsting til lagring. 6. Lite avtrykk: Selve Woodstore karbonkammeret vil ha et veldig lite overflateareal sammenlignet med arealet biomassen kommer fra. 7. Markberedning ved uttak av røtter legger grunnlag for god tilvekst ved foryngelse og god produksjon for framtiden.	1. Fjerner karbontilførsel til jordsmonnet. 2. Forstyrrer jordsmonnet ved å høste røtter og markberede. 3. Reduserer tilveksten til ny skog pga. næringsuttak. 4. Fjerner død ved som kan være habitat for insekter, sopp og andre. 5. Den ekstra maskinbruken for høsting og lagring fører med seg ekstra utslipp. 6. Høsting av biomasse fører til mer kjøreskader. 7. Insentiverer til mer hogst.

Figur 3: Fordeler og ulemper ved Woodstore

Under følger en utdypning av de potensielle ulempene med Woodstore.

1. Fjerner karbontilførsel til jordsmonnet

- a. Det er velkjent at strø og råtnende trevirke tilfører karbon til jordsmonnet. Spørsmålet er imidlertid hvor store mengder det gjelder, og i hvilket tidsperspektiv. Ecoforest-prosjektet [12] viser at den totale mengden med karbon i en naturskog og en tidligere flatehogd skog som nærmer seg hogstmoden alder, er like stor. Forskjellen ligger i fordelingen: Naturskogen har en større andel karbon lagret i jorda, mens den tidligere flatehogde skogen har mer karbon lagret over bakken, både i levende biomasse og i form av strø som ennå ikke er brutt ned. Dette indikerer også at karbon lagret i jordsmonnet er dynamisk og inngår i karbonkretsløpet. Over tid – fra noen tiår til én omløpsperiode – vil en betydelig andel av dette karbonet bli frigjort til atmosfæren som CO₂. Dersom tilførselen av nytt organisk materiale reduseres, vil også jordkarbonet gradvis avta. I nedbrytningsfasen av organisk materiale bindes bare en begrenset del av karbonet i jorda, mens hovedandelen frigjøres som utslipp. Ved å lagre biomassen under kontrollerte, anoksiske forhold, kan man derimot sikre at tilnærmet hele karboninnholdet bevares over lang tid.
- b. Modellering og beregninger [13] viser at tapet av jordkarbon i norske skoger som følge av uttak av GROT utgjør om lag 100 000 tonn CO₂ årlig over en 100 års periode, forutsatt at opptil 70% av tilgjengelig biomasse høstes. Dette innebærer at noe jordkarbon går tapt. I et helhetlig klimaperspektiv er dette imidlertid marginalt sammenlignet med mengden karbon som kan lagres gjennom en metode som Woodstore, hvor hovedandelen av karbonet bevares over lang tid.
- c. Forskning viser at ved å la hogstavfall ligge igjen i skogen, og spesielt om det samles i hauger, kan føre til økte karbonutslipp [14]. Dette kan fremstå som kontrainuitivt, men forklares ved at nedbrytingen av restbiomassen stimulerer det biologiske livet i jordsmonnet under GROT-haugen. Dette innebærer at mengden med totalt karbonutslipp er større enn selve nedbrytingen av hogstavfallet alene.
- d. Forskning viser videre at nedbrytning av GROT varierer med treslag og tid [15]. For gran er om lag halvparten av biomassen nedbrutt etter 18 år, og rundt 95% nedbrutt etter 76 år. For bjørk skjer nedbrytingen betydelig raskere, med rundt halvparten av denne tidsbruken. I løpet av nedbrytningsprosessen frigjøres hoveddelen av karbonet som CO₂ til atmosfæren.
- e. Oppbyggingen av jordkarbon er en kompleks prosess, men det er godt dokumentert at den største kilden til karbonutslipp fra et flatehogd felt er nedbrytingen av hogstavfallet [16]. Dersom denne utslippskilden reduseres eller elimineres ved å lagre restbiomassen, vil det samlede klimaavtrykket fra flatehogst kunne reduseres betydelig.
- f. En studie fra Sverige [17] undersøkte effektene på karbonlageret i skog 25 år etter hogst og høsting av biomasse. Det var tre situasjoner de undersøkte:
 - i. Uttak av røtter, grot og tømmer
 - ii. Uttak av røtter og tømmer
 - iii. Bare uttak av tømmer

Forskergruppen fant at totalmengden med karbon i de nye 25 år gamle trærne var større for furuskog for situasjonen i. og ii. enn iii., men resultatet var motsatt for gran. Forskerne fant ingen forskjell i jordkarbonet i mineraljorden for 0–20cm for de tre tilfellene. Forskjeller ble kun observert i det organiske laget på jordoverflaten, som bestod av ikke-nedbrutt materiale. Tidsaspektet er avgjørende for tolkningen av resultatene. Etter 25 år var det altså ingen målbare forskjeller i jordkarbonet. Det indikerer at i et lengre tidsperspektiv – 50–100 år – når strø og røtter i stor grad er nedbrutt, er det ikke forskjell på karbon i mineraljorden eller i det organiske laget. Dette samsvarer med funnene i Ecoforest-prosjektet.

2. Forstyrrelse av jordsmonn og risiko for erosjon ved rotuttak og markberedning

Uttak av røtter medfører en midlertidig forstyrrelse av jordsmonnet. Feltstudier viser imidlertid at utslipp knyttet til forstyrrelsen er begrenset. Sammenlignet med kontrollområder uten uttak, er utslippene fra jordsmonnet noe høyere i fuktige områder med uttak, men lavere i tørrere områder med uttak. Lavere utslipp i tørrere områder forklares med at det er mindre biomasse i bakken som brytes ned. I fuktige områder forklares de noe høyere utslippene med metan som frigjøres [18]. Når røttene blir lagret i et karbonkammer blir regnestykket, med god margin i alle tilfeller, netto karbonlagring fordi ingen biomasse brytes ned og mengden med lagret karbon er mye større enn hva forstyrrelsene fører til.

Videre viser forskning at markberedning gir økt tilvekst og dermed høyere samlet karbonopptak sammenlignet med planting i uforstyrret mark, som følge av bedre vekstbetingelser for ny skog [5]. Feltmålinger fra svenske skoger viser også at kombinasjonen av rotuttak og markberedning, noe kontraintuitivt, kan redusere jordrespirasjonen sammenlignet med å la arealet være urørt [4].

For å minimere risikoen for erosjon vil tiltakene tilpasses lokale forhold. Sylva vil ikke gjennomføre rotuttak i bratt terreng; en helningsgrad på rundt 20 grader fremstår som en generell grense, men dette må vurderes i sammenheng med jordsmonn og stabilitet [19]. Videre vil markberedning gjennomføres flekkvis, slik at deler av overflatevegetasjonen bevares og bidrar til å opprettholde jordas struktur og motstandsdyktighet mot erosjon.

3. Redusert tilvekst i ny skog som følge av næringsuttak

Fjerning av hogstavfall kan medføre redusert tilvekst i ny skog som følge av næringsuttak. Forskning viser imidlertid at denne effekten i hovedsak gjelder områder med middels til lav bonitet, hvor næringsgrunnlaget er mer begrenset. På arealer med høy bonitet er næringstilgangen normalt tilstrekkelig til at tilveksten i liten grad påvirkes [20]. Resultater fra Ecobrem-prosjektet viser at gran etter 25 år hadde om lag 11 % redusert tilvekst ved uttak av 100 % av GROT, mens tilsvarende effekt for furu ikke var statistisk signifikant [21]. Tiltak kan dessuten iverksettes for å redusere eventuelle negative effekter. Ved å la 30 % av restbiomassen bli liggende igjen på arealer med middels bonitet, samt sørge for at næringsrike komponenter som løv og nåler faller av før uttak av trevirke, kan påvirkningen på tilveksten begrenses ytterligere.

Samlet sett taler dette for en differensiert tilnærming, hvor uttak av restbiomasse primært prioriteres på arealer med høy bonitet. I denne sammenheng fremstår kombinasjonen av

Naturskog og Produksjonsskog, sammen med Woodstore, som en hensiktsmessig modell for å balansere hensynet til produksjon, karbonlagring og økologiske forhold .

4. Reduksjon av død ved som habitat for arter

Uttak av restbiomasse innebærer at noe død ved fjernes, noe som kan påvirke arter som er avhengige av dette som habitat, herunder enkelte insekter, sopper og mikroorganismer. Samtidig vil om lag 30 % av restbiomassen fortsatt bli liggende igjen, og dermed bidra til å opprettholde viktige økologiske funksjoner og leveområder.

Det finnes ingen perfekte løsninger uten avveininger. Spørsmålet er derfor hvordan man best balanserer hensynet til naturmangfold mot behovet for betydelige klimagassreduksjoner. Etter vår vurdering er klimagevinsten ved å utnytte inntil 70% av restbiomassen for karbonlagring så stor at den bør tillegges vesentlig vekt.

Videre må tiltaket sees i sammenheng med Sylvas helhetlige forvaltningsmodell. Gjennom inndelingen i Naturskog og Produksjonsskog sikres større sammenhengende arealer med høy økologisk kvalitet enn i dagens praksis. Dette gir samlet sett bedre levevilkår og økt areal for arter som er avhengige av død ved, til tross for redusert mengde i produksjonsskog.

5. Økte utslipp fra maskinbruk

Økt aktivitet og bruk av maskiner vil naturlig medføre økte utslipp fra forbrenning av drivstoff. Omfanget av disse utslippene avhenger i stor grad av transportavstander og operasjonell effektivitet [22]. Egne forsøk indikerer at utslippene fra maskinbruk utgjør om lag 1–2 % av mengden karbon som lagres, forutsatt at restbiomassen lagres på eller i umiddelbar nærhet av hogstfeltet.

For å etablere et fullstendig karbonregnskap er det nødvendig med prosjektspesifikke livsløpsanalyser. Samtidig tyder eksisterende analyser på at netto karbonlagring forblir betydelig positiv, og også økonomisk gunstig, ved transportavstander under 100 km – forutsatt tilstrekkelig skala på karbonlagringen [22].

6. Kjøreskader

Kjøreskader er et kjent og generelt problem i skogbruket, og erfaring viser at slike skader ikke alltid utbedres tilfredsstillende. Uttak av restbiomasse vil kunne medføre økt maskinbruk og dermed økt risiko for kjøreskader.

For å redusere denne risikoen planlegges tiltaket gjennomført slik at samme maskin som står for uttak av biomasse også håndterer utbedring av kjøreskader fortløpende. Dette innebærer at skader identifiseres og utbedres underveis i driften, samt ved avslutning av arbeidet på hogstfeltet.

7. Kan insentivere til økt hogst

En forutsetning for Woodstore som klimatiltak er at metoden er addisjonell – det vil si at den kommer i tillegg til allerede planlagt og nødvendig hogst, og ikke utløser økt avvirkning alene.

Et teoretisk scenario er at økt lønnsomhet fra karbonlagring kan stimulere til høyere hogstnivå for å maksimere lagringsvolumet i karbonkamre, på bekostning av skog som ellers ville stått og bundet karbon over tid.

Samtidig er denne problemstillingen ikke unik for Woodstore, men gjelder generelt i skogbruket. Skogeiere tilpasser normalt hogsttidspunkt basert på en avveining mellom nåverdi og fremtidig avkastning, og avvirker derfor ikke all skog samtidig.

Dersom Woodstore bidrar til økt lønnsomhet per hogst, kan det også gi skogeier større økonomisk handlingsrom. Dette kan i praksis legge til rette for at mer skog får stå lenger, og dermed binde karbon over lengre tid. En slik utvikling kan potensielt stimulere til et mer klimavennlig skogbruk, blant annet gjennom lengre omløpstider.

Samtidig er dette et komplekst spørsmål, hvor flere økonomiske, biologiske og regulatoriske faktorer spiller inn. Vi går derfor ikke nærmere inn på denne problemstillingen her.

Beregningsmetodikk for karbonlagring

Karbonkreditter, CORCs i Puros metodikk, må ta hensyn til alle utslippskilder i produksjonsprosessen og LCA-analyse for alle prosesser og materialer må utarbeides. LCA-analysen gir et fullstendig bilde av de relevante utslippene og hvor mye karbon som blir netto lagret i det spesifikke prosjektet.

Overordnet regnemetode

Mengden med netto karbonlagring er lik brutto mengde karbon lagret fratrasket utslipp fra karbonkammer og utslipp fra hele forsyningskjeden. Matematisk kan dette skrives som:

$$\text{Netto CORCs} = E_{\text{stored}} - E_{\text{re-emission}} - E_{\text{supply chain}}$$

Under følger beregningsmetodikk for de tre hoveddelene med variablene oppsummert først.

Variabler:

- **CORCs:** Sertifikat for netto fjerning av CO₂; en CORC tilsvarer 1 tonn CO₂ netto fjernet
- **E_{stored}:** Bruttomengde CO₂ som er lagret i biomassen
- **E_{supply chain}:** Utslipp fra hele verdikjeden til prosjektet og omfatter transport, materialbruk, drivstoff, bruk av maskiner og lignende
- **E_{re-emission}:** Utslipp fra den lagrede biomassen dersom noe av karbonet brytes ned og går tilbake til atmosfæren som CO₂ eller CH₄
- **M:** Total mengde biomasse lagret i karbonkammeret, målt som våtvekt i tonn
- **DM:** Tørrestoffinnhold i biomassen, andelen med vann i M er trukket fra
- **C_{org}:** Organisk karboninnhold i tørr biomasse. Blir hentet fra laboratorieanalyse eller tabell på trevirke som er brukt
- **44/12:** Omregningsfaktor fra karbon til CO₂
 - Atomvekt karbon: 12
 - Atomvekt oksygen: 16

- $1 \text{ C (12)} \rightarrow 1 \text{ C (12)} + 2 \text{ O (16*2)} = \text{CO}_2(44)$. Forholdet mellom CO_2 fra karbon er dermed: $44/12$
- **16/12:** Omregningsfaktor fra karbon til CH_4
 - Atomvekt karbon: 12
 - Atomvekt hydrogen: 1
 - $1 \text{ C (12)} \rightarrow 1 \text{ C (12)} + 4 \text{ H (4*1)} = \text{CH}_4 (16)$. Forholdet mellom CH_4 og karbon er dermed: $16/12$
- **DOCf:** Faktor for hvor stor del av det lagrede karbonet som kan bli sluppet ut over 100 år; standardverdien er 8,8%, for å sikre en konservativ beregning
- **FCO₂** og **FCH₄**: Andelen av karbonmengden som går som henholdsvis CO_2 og CH_4
- **Ox:** Oksidasjonsfaktor, mengde av metanet som blir oksidert i jord eller overdekning før det når atmosfæren; standardverdi er 0 % om ikke annet blir dokumentert gjennom målinger over minimum et år
- **GWP100_CH4:** Globalt oppvarmingspotensial for metan over 100 år; puro-metodikken bruker 27.9

LCA-analysen består av tre hovedbolker:

1. E_{stored}: Brutto karbonlagring

- **M (mass):** Biomassen blir veid før lagring, råvekt
- **DM (dry mass):** Vanninnhold måles og tørrstoffinnhold DM beregnes, basert på et representativt utvalg fra biomassen
- **C_{org}:** Organisk karbonmengde blir beregnet basert på DM. Andel karbon varierer med treslag. Standardverdi for organisk karbon er 48% av tørrvekten, men laboratoriemål kan brukes, eller tabellverdi dersom man kan dokumentere treslag
- **44/12:** Fra karbon til CO_2

$$E_{\text{stored}} = M \times DM \times C_{\text{org}} \times 44/12$$

2. Utslipp fra verdikjeden

- **Livsløpsanalyse av alle medgåtte prosesser, materialer og maskiner**
 E_{supply chain} skal utarbeides fra hele lagringsaktiviteten, innenfor de fastsatte systemgrensene. Systemgrensene vil være prosjektspesifikke.
 - Eksempel 1: En gravemaskin blir leid inn. Produsenten av gravemaskinen har oppgitt et klimaavtrykk per time medgått bruk av gravemaskinen som blir en del av LCA-analysen og er innenfor systemgrensen. Denne baserer seg på alle materialer og energiforbruk medgått til produksjon av maskinen og forventet levetid.
 - Eksempel 2: Gravemaskinen bruker et visst antall liter drivstoff i prosjektet. Utslipet fra selve forbrenningen blir en del av LCA-analysen og er innenfor systemgrensen. Produksjon og transport av diesel har også et klimaavtrykk, men er utenfor systemgrensen og blir ikke tatt med LCA-analysen.
- **Arealendringer**
 LCA-analysen skal også inkludere direkte arealendringer og utslipp medgått til arealendringer

- Eksempel 1: Dersom biomassen blir høstet for karbonlagringsformål og fører til arealendringer eller utslipp knyttet til forstyrrelser av jord, blir dette utslippet inkludert innenfor systemgrensene
- Eksempel 2: Biomasse blir ryddet og samlet i forbindelse med nydyrking eller ryddet som et preventivt tiltak grunnet insektangrep i skogen. Rotårsaken til biomassehøstingen er ikke til karbonlagringsformål og arealendringer, forstyrrelser og utslipp knyttet til samleprosessen er utenfor systemgrensene.
- **Materialer** som blir brukt som en del av prosjektet har klimaavtrykk ved seg, ofte oppgitt som kg CO₂ per enhet materiale brukt, og er innenfor systemgrensene.

E_{supply chain} er summen av reelle utslipp i forsyningskjeden med rotårsak i at karbonlagringsprosjektet skal gjennomføres.

3. Utslipp fra kammeret i en 100-årsperiode

- **DOCf:** 8,8 % av biomassen antas å brytes ned i løpet av 100 år og slippes ut til atmosfæren som CO₂ og CH₄. Metodikken bruker en konservativ standard re-emisjonsfaktor.
- **FCO₂ og FCH₄:** Re-emisjons faktor for CO₂ og CH₄. Standard er at 50% av DOCf går som CO₂ og 50% av DOCf som CH₄. Det vil si at 4,4% prosent av biomassen blir gjort om til CO₂ utslipp og 4,4% til CH₄ utslipp.
- **Ox - metanoksidasjonsfaktor:** Metan som passerer gjennom jord eller overdekning kan bli oksidert av metanotrofebakterier. Gjennom målinger blir denne Ox-faktoren bestemt etter trinnvise verdier basert på kriterier knyttet til egenskapene til kammeret (mengden overdekning, fuktighet, data fra målinger). Dersom dette ikke er dokumentert, er standard verdi **Ox = 0% oksidasjon**.
- **Mengde CO₂:** CO₂ blir regnet med 44/12 faktor fra karbon av den antatt nedbrutte biomassen (4,4%)
- **Mengde CH₄:** CH₄ blir regnet med 16/12 faktor fra karbon til GWP100_CH₄ på 27,9

$$\mathbf{E_{re-emission} = ECO_2 + ECH_4.}$$

Estimert mengde med karbon som blir sluppet fra kammeret ut til atmosfæren i løpet av en 100 års periode, hvor:

$$ECO_2 = M \times DM \times C_{org} \times 44/12 \times (FCO_2 \times DOCf + FCH_4 \times DOCf \times Ox)$$

$$ECH_4 = M \times DM \times C_{org} \times 16/12 \times FCH_4 \times DOCf \times GWPCH_4, 100 \times (1 - Ox)$$

Mer detaljert beskrivelse om beregningsmetodikken finnes i Puro.earth Methodology Terrestrial Storage of Biomass [23].

4.3 Hva gjenstår å avklare?

Samlet sett fremstår Woodstore som en metode med få vesentlige ulemper. Den primære utfordringen knytter seg til mulig uttak av næringsstoffer som kan påvirke tilveksten i ny

skog, men dette kan i stor grad håndteres gjennom tilpassede driftsmetoder. Forskning indikerer også at kombinasjonen av biomasseuttak, markberedning og Woodstore kan bidra til økt tilvekst, og dermed gi en dobbelt klimanytte: både gjennom direkte karbonlagring i biomasse og økt karbonopptak i ny skog.

Det er imidlertid noen sentrale spørsmål som gjenstår å avklare:

1. Potensiell dannelse av klimagasser:

I hvilken grad kan det dannes og frigjøres klimagasser fra nedgravd biomasse når denne lagres i større, konsentrerte enheter – såkalte karbonkamre – under kontrollerte forhold? Dette vil være et sentralt tema i videre forskning og utvikling, samt i oppskalering av metoden.

2. Regulatorisk klassifisering:

Hvordan skal denne formen for nedgraving av restbiomasse forstås i lys av gjeldende regelverk – som deponering av avfall eller som karbonlagring? En avklaring av dette er avgjørende for muligheten til å utvikle og implementere metoden i praksis

Risiko

For å kunne besvare de gjenstående spørsmålene er det nødvendig å vurdere hvilken risiko Woodstore innebærer, og hvordan denne kan håndteres.

I Puro.earths metodikk stilles det krav om at livsløpsanalysen over et 100-årsperspektiv inkluderer en konservativ antagelse om at 8,8 % av den lagrede biomassen brytes ned og omdannes til like deler CO₂ og metan. Dette anslaget er basert på IPCCs rapport fra 2019, som sammenfatter gjennomsnittlig nedbrytning av trevirke i deponier globalt. Metan har en betydelig sterkere klimateffekt enn CO₂, med en GWP100-verdi som er 27,9 ganger høyere, og dette inngår som en sentral faktor i vurderingen av om karbonlageret gir netto klimanytte.

Det er viktig å understreke at dette er en konservativ forutsetning. Under optimale, anoksiske forhold vil den faktiske nedbrytningen av trevirke forventes å være betydelig lavere, nesten neglisjerbar.

For å oppnå sertifisering av karbonkreditter må karbonkammeret i tillegg bestå en såkalt «stresstest». Denne innebærer at man over en 20-årsperiode legger til grunn samme nedbrytningsmengde (8,8 %), med utslipp som fordeles likt mellom CO₂ og metan. Likevel skal karbonkammeret, inkludert alle tilhørende utslipp i en livsløpsanalyse over 20 år, være netto negativt. Dette er en særlig streng test, ettersom metan har en GWP20-verdi på 81,2. Stresstesten er en teoretisk beregning, men den understreker betydningen av å minimere og kontrollere eventuell metandannelse.

Den primære risikoen ved Woodstore er derfor knyttet til mulig dannelse og utslipp av metan, samt i mindre grad CO₂. Dette krever tett overvåkning og dokumentasjon.

Basert på tilgjengelig forskning og naturlige analoger vurderes sannsynligheten for vesentlige metanutslipp som veldig lav, forutsatt at metoden gjennomføres korrekt. Likevel er det viktig å ha beredskap for avbøtende tiltak dersom uønskede utslipp skulle oppstå:

Situasjon	Avbøtende tiltak
Ved små mengder metan	• Tilføre organisk materiale (f.eks. kompost) for å stimulere biologisk aktivitet i jordsmonnet • Etablere vegetasjon (grøngjødsling) for å styrke jordens mikrobiologiske prosesser
Ved lokale metan-“hotspots”	• Øke overdekningen med egnede jordmasser, kombinert med tiltakene nevnt over
Ved indikasjoner på utilstrekkelig lagring (teoretisk worst-case)	• Fjerne og erstatte overdekningsmasser med mer egnet materiale • Alternativt grave opp biomassen og benytte den til andre formål, som bioenergi eller jordforbedring

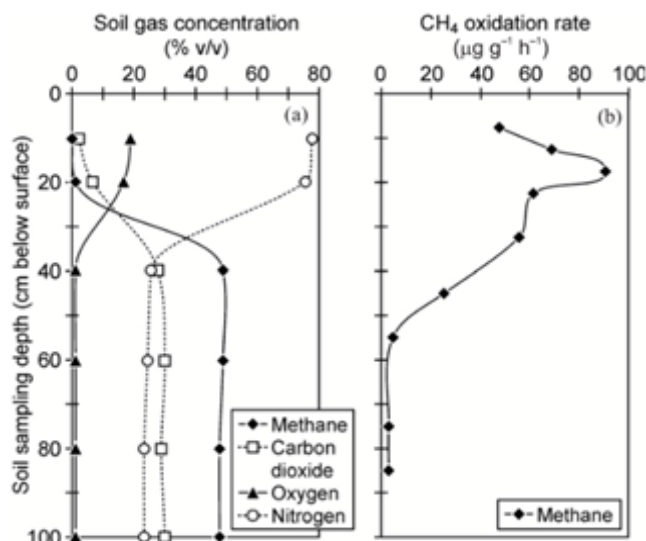
Figur 4: Avbøtende tiltak ved uønskede metanutslipp

Det er også relevant å sette risikoen i perspektiv. Metanproduksjonen fra et Woodstore-karbonkammer forventes å være flere størrelsesordener lavere enn fra tradisjonelle deponier med lett nedbrytbare masser. Trolig vil mye av eventuell metan oksideres til CO₂ av metanotrofiske bakterier i et aktivt jordsmonn. Dette observerer vi på vårt første prosjekt: Woodstore 1 pilot, mer om denne piloten lenger ned.

I studier av deponier (Scheutz et al. 2009 [24]), ble det foretatt målinger av deponigass vs dybde opp til 1 meter under overflaten. Undersøkelsen ble utført i et deponi med lett nedbrytbare masser, designet for aktivt metanuttak.

Resultatene viser at i et aktivt jordsmonn på toppen av deponiet blir metan i stor grad oksidert til CO₂ i de øverste 20 cm av jordlaget (se figur under).

Selv i slike avfallsdeponier, hvor metanproduksjonen er flere størrelsesordener høyere enn det som forventes i et Woodstore-karbonkammer, er oksidasjonsraten tilstrekkelig til å oppnå nær fullstendig konvertering av metan til CO₂.



Scheutz et. al. 2009

Figur 5: Med et aktivt jordsmonn, vil metanotrofe bakterier naturlig oksidere CH₄ om til CO₂, som vist i Scheutz et al. 2009. Mengden gass fra et Woodstore-kammer vil være flere størrelsesordener mindre enn fra vanlige deponier.

Avrenning fra et karbonkammer er også et forhold som må belyses nærmere. Ettersom trevirke består av rene, ubehandlede biomaterialer, uten tilførsel av forurensende stoffer, forventes eventuell avrenning ikke å inneholde miljøgifter.

Det kan forekomme sigevann med oppløste gasser som CO₂, CH₄ og H₂S. Dette vil imidlertid i stor grad være sammenlignbart med naturlig avrenning fra andre anoksiske miljøer med høyt innhold av organisk materiale, som for eksempel myr.

Myrsystemer representerer naturlige lagre av organisk materiale under oksygenfattige forhold, og bidrar til lignende biogeokjemiske prosesser som de som kan oppstå i et karbonkammer.

Samlet sett vurderer vi risikoen som svært lav. Dette skyldes både at prosessene er langsomme, og at det finnes effektive avbøtende tiltak dersom uønskede effekter skulle oppstå. Eventuelle justeringer kan gjennomføres over tid, og karbonkamrene kan om nødvendig reverseres.

Biomasse er et stabilt, ufarlig og håndterbart materiale, særlig sammenlignet med lagring av flyktige gasser. Dette bidrar til å redusere både operasjonell risiko og potensialet for uforutsette utslipp.

4.4 Alternativ bruk av biomassen

For å belyse hvilke alternativer som finnes for utnyttelse av biomassen, presenteres to scenarier. Fremstillingen er ikke ment å være uttømmende, men har som formål å synliggjøre hovedelementene.

Biokull

Biokull produseres gjennom høy-temperaturpyrolyse av biomasse under begrenset oksygentilgang. Prosessen innebærer en ufullstendig forbrenning, hvor det gjenværende produktet er et karbonrikt materiale med høy stabilitet. Biokull kan lagre karbon over svært lange tidsperioder, potensielt i flere tusen år.

Det globale karbonlagringspotensialet for biokull er estimert til om lag 1 milliard tonn CO₂-ekvivalenter årlig innen 2050, men realisering av dette potensialet forutsetter betydelige investeringer i infrastruktur og teknologi [25]. I Norge er potensialet anslått til i underkant av 800 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år, basert på uttak av 70 % av GROT fra hele skogbruket [26].

Andelen karbon som faktisk bevares i biokullet varierer betydelig, og ligger normalt i intervallet 20–50 %. Dette avhenger blant annet av råstofftype, temperatur, fuktighet og oksygentilgang i prosessen. Resten av karbonet frigjøres under pyrolysen, enten som gasser (CO₂, CO og CH₄), typisk i størrelsesorden 10–40 %, eller i form av bioolje (om lag 20–40 %).

Disse biproduktene må håndteres for å unngå ytterligere utslipp. Gassene slippes ofte til atmosfæren, med mindre anlegget er utstyrt med teknologi for fangst og lagring, noe som innebærer økte kostnader. Bioolje brukes til forbrenning og kan dessuten være korrosiv. Lagring og transport stiller derfor krav til materialvalg og infrastruktur.

Produksjonskapasiteten ved et biokullanlegg vil også kunne utgjøre en begrensning for hvor store biomassevolumer som kan håndteres. Samtidig kan produksjonskostnadene være høye, ofte i størrelsesorden flere tusen kroner per tonn CO₂-ekvivalenter. Til tross for dette er biokull i dag en økonomisk bærekraftig aktivitet, blant annet som følge av en høy markedsverdi på sluttproduktet.

Oppsummert innebærer biokull at 20–50 % av karbonet i biomassen lagres, mens resten i stor grad frigjøres under prosessen. Metoden er energikrevende, kostbar og genererer biprodukter som må håndteres for å unngå ytterligere utslipp.

Bioenergi

Et alternativ er å benytte biomassen direkte til bioenergi. Hovedargumentene for dette er at klimagevinsten oppstår gjennom substitusjon av fossilt brensel, og at biomasse regnes som en fornybar energikilde. Disse argumentene er imidlertid betinget av en rekke forutsetninger, og det finnes ikke én entydig konklusjon.

Flere studier problematiserer effekten av skogsbasert bioenergi i et klimaperspektiv. Holtmark [27] viser for eksempel at uttak av restbiomasse fra saktevoksende boreal skog kan gi høyere GWPI100 enn bruk av fossilt brensel. Norton et al. [28] adresserer videre det betydelige gapet mellom gjeldende politiske føringer og den faktiske miljøvitenskapen på området. Forfatterne påpeker at klassifiseringen av biomasse som fornybar energi i stor grad bygger på en antakelse om umiddelbar klimanøytralitet. I praksis kan det imidlertid ta flere tiår før ny skog har bundet opp karbonet som frigjøres ved forbrenning. Studien løfter også frem hvordan økonomiske insentiver og subsidier kan bidra til økt bruk av trevirke som erstatning for kull, noe som i verste fall kan føre til økte utslipp og

temperaturøkning på kort sikt. På bakgrunn av dette argumenterer forfatterne for strengere reguleringer, der kun biomasseressurser med kort karbon-tilbakebetalingstid prioriteres. De peker også på svakheter i internasjonale utslippsregnskaper, og etterlyser en mer realistisk og vitenskapelig fundert tilnærming til bioenergiens klimabidrag.

Klimagevinsten ved biokull og bioenergi må vurderes opp mot alternative anvendelser av biomassen. I et rent klimaperspektiv vil Woodstore – særlig ved kort transportavstand – fremstå som en mer effektiv løsning, med tilnærmet null direkte utslipp, få ulemper og høy grad av karbonbevaring.

Valg av anvendelse bør derfor baseres på en konkret og grundig avveining i hvert enkelt tilfelle, hvor både klimanytte, ressursutnyttelse og langsiktige effekter inngår.

Dette reiser et mer grunnleggende spørsmål: Hvordan ville vi forvaltet skogressursene dersom restbiomasse ble behandlet som en knapp og verdifull ressurs? En slik tilnærming kan bidra til å endre både prioriteringer og praksis i retning av løsninger med størst mulig samlet nytte.

4.5 Karbonmarkedet i dag

Den største risikoen knyttet til Woodstore er ikke teknologisk, men markedsmessig, og deles med en rekke andre aktører som satser på det frivillige karbonmarkedet og omsetning av karbonkreditter. Den forventede veksten i markedet har så langt uteblitt, og utviklingen har i perioder vært preget av stagnasjon. Vi vurderer dette som en midlertidig situasjon, blant annet påvirket av dagens geopolitiske forhold og et generelt høyt konfliktnivå globalt. På lengre sikt er det imidlertid bred enighet om at verden vil være avhengig av karbonfjerning og -lagring i stor skala for å nå klimamålene. Når etterspørselen øker og de politiske rammene tydeliggjøres, vil det være avgjørende at metodene allerede er utviklet, testet og klare for oppskalering.

I dag sertifiseres og omsettes frivillige karbonkreditter fra blant annet biokull og tilsvarende tiltak gjennom etablerte plattformer som Puro.earth. Sylva har inngått avtale med Puro.earth, og Woodstore vil bli sertifisert under metodikken Terrestrial Storage of Biomass (TSB).

Project ↓	Supplier	Methodology
Carbonsate Project Namibia	Carbonsate GmbH	Terrestrial Storage of Biomass
CSI-Hardin	Carbon Sequestration, Inc.	Terrestrial Storage of Biomass
Dragonfly	Tivano AG	Terrestrial Storage of Biomass
Fasera TSB Facility 1	Fasera Holdings Pty Ltd	Terrestrial Storage of Biomass
InterEarth Bowgada	Inter Earth Pty Ltd	Terrestrial Storage of Biomass
La Veta	Wood Cache PBC	Terrestrial Storage of Biomass
Mast Wood Preserve MT1	Mast Reforestation	Terrestrial Storage of Biomass
Walsenburg Facility	Wood Cache PBC	Terrestrial Storage of Biomass

Figur 6: Bildet viser flere av de aktive aktører i det frivillige karbonmarkedet i dag for biomasse lagring lik den Sylva utvikler. Se Puro.earth sine nettsider [29] og sorter på Terrestrial Storage of Biomass. Det er foreløpig ingen prosjekter i Europa.

Vi velger å satse på dette fordi vi er overbevist om at karbonkreditter representerer en viktig investering i fremtiden.

4.6 Konklusjon av Woodstore som klimametode

Bruken av biomasse til karbonfangst og -lagring er i rask utvikling globalt, og oppskaleringen av slike løsninger må akselereres betydelig i årene som kommer. Woodstore representerer en av de mest lovende og skalerbare metodene innen dette feltet.

Det foreligger et solid kunnskapsgrunnlag som viser at trebasert biomasse kan lagres stabilt i svært lange tidsperioder – i mange tilfeller over flere tusen år – når riktige, anoksiske forhold er til stede. Slike forhold har forekommet naturlig gjennom historien, og kan i dag etableres og kontrolleres gjennom målrettede tiltak. Dette gir en unik mulighet til å realisere storskala karbonlagring på en effektiv og forutsigbar måte.

Woodstore er en naturbasert metode med lav operasjonell risiko, bygget på velkjente biologiske og geokjemiske prinsipper. Samtidig er det en løsning som kan utvikles, testes og implementeres i Norge, med potensial for betydelig klimabidrag både nasjonalt og internasjonalt.

På denne bakgrunn oppfordrer vi myndighetene til å legge til rette for videre utvikling og anvendelse av metoden. Dette innebærer å skape regulatoriske rammer som muliggjør, snarere enn begrenser, bruk av Woodstore som en del av en helhetlig klimastrategi.

5 Hva vi har gjort til nå – Woodstore pilot 1

I 2023 gjennomførte Sylva sitt første pilotprosjekt for Woodstore, hvor det ble høstet 502 tonn biomasse i forbindelse med et nydyrkingsprosjekt på egen skogeiendom. Området var et tidligere flatehogd felt med mangelfull foryngelse før eiendommen ble overtatt av Sylva i 2021. Vi valgte å etablere vårt første karbonkammer for å komme i gang med forskning og utvikling på metoden. Det er gjort målinger, som vi mener nå er tilstrekkelige til å dokumentere en stabil karbonlagring. Vi er nå i prosess med å sertifisere de første karbonkredittene gjennom Puro.earth.

Basert på livsløpsanalyse med konservative forutsetninger, er det beregnet at karbonkammeret gir en netto lagring på over 370 tonn CO₂-ekvivalenter. Kammeret er etablert innenfor nydyrkingsfeltet, med et arealavtrykk på kun om lag 0,5 dekar, noe som illustrerer metodens begrensede fysiske påvirkning. Samtidig sikret kort transport av biomassen, oppad begrenset til 300 meter, minimalt med utslipp og kostnader. Biomassen i pilotprosjektet bestod utelukkende av røtter, ettersom øvrig restbiomasse (GROT) i stor grad allerede var nedbrutt.

Pilotprosjektet har mottatt støtte fra Norges forskningsråd gjennom SkatteFUNN-ordningen.

- 502 tonn biomasse
- 610 tonn CO₂ekv lagret
- LCA (livsløpsanalyse)
→ 373 tonn CO₂ekv for karbonkreditter



Figur 7: Woodstore Pilot 1. Bildet til venstre viser biomassen etter at kammeret er fylt opp. Bildet til høyre: Kammeret er ferdig etablert, med 1 meter leire direkte på biomassen, 0.5 meter overdekning med jord og frukttrær plantet på toppen.



Figur 8: To år etter etableringen av Woodstore Pilot 1. Det blå innrammede området viser innhøstingsfeltet, mens den grønne innrammingen markerer overflaten av karbonkammeret og synliggjør hvor lite areal metoden beslaglegger.

6 Lovverket

Med utgangspunkt i forurensningsloven mener vi at Woodstore skal klassifiseres på nivå med *gjenvinning* i avfallshierarkiet når det gjelder håndtering av restbiomasse.

Vi vil videre argumentere for at Woodstore kan gjennomføres uten særskilt tillatelse, da metoden fjerner utslipp som ellers ville oppstått gjennom naturlig nedbrytning av hogstavfall. Samlet sett representerer Woodstore en miljømessig forbedring sammenliknet med dagens praksis.

6.1 Plassering i avfallshierarkiet

§ 1 Forurensningslovens formål

Denne lov har til formål å verne det ytre miljø mot forurensning og å redusere eksisterende forurensning, redusere mengden av avfall og å fremme en bedre behandling av avfall.

Loven skal sikre en forsvarlig miljøkvalitet, slik at forurensninger og avfall ikke fører til helseskade, går ut over trivselen eller skader naturens evne til produksjon og selvfornyelse.

Figur 9: Paragraf 1: Forurensningslovens formål

Sylva – Woodstore: Woodstore representerer etter vår vurdering en bedre håndtering av hogstavfall, ved at metoden reduserer mengden biomasse som ellers ville ført til klimagassutslipp gjennom nedbrytning. Samtidig omdannes denne ressursen til et verdifullt produkt i form av karbonkreditter, som allerede omsettes i markedet.

Metoden legger også til rette for ny skogvekst ved at området gjenplanteres etter innhøsting. Fjerning av GROT bidrar til å forbedre etableringsforholdene for ny skog, ettersom tett lag av organisk materiale ofte kan hemme spiring og vekst. Videre kan tiltaket bidra til en bedre balanse i jordsmonnet mellom nedbrytersopper og mykorrhizasopp, en ubalanse som ofte oppstår etter flatehogst.

Om lag 70 % av det døde trevirket tas ut, mens resten blir liggende igjen og ivaretar viktige økologiske funksjoner. Dette er i tråd med anbefalinger i Klimakur 2030 fra Miljødirektoratet, knyttet til utnyttelse av GROT.

§ 2 (Retningslinjer)

3. For å unngå og begrense forurensning og avfallsproblemer skal det tas utgangspunkt i den teknologi som ut fra en samlet vurdering av nåværende og fremtidig bruk av miljøet og av økonomiske forhold, gir de beste resultater.

4. Avfall skal tas hånd om slik at det blir minst mulig til skade og ulempe. Det skal gjenvinnes, fortrinnsvis ved at det forberedes til ombruk eller materialgjenvinnes, med mindre gjenvinning ikke er berettiget ut fra en avveining av miljøhensyn, ressurs hensyn og økonomiske forhold.

Figur 10: Paragraf 2: (Retningslinjer)

Sylva – Woodstore: Woodstore fremstår etter vår vurdering som en av de beste og mest kostnadseffektive måtene å utnytte restbiomasse fra skogbruket på. Andre etablerte alternativer inkluderer bioenergi og produksjon av biokull.

I henhold til avfallsforskriften defineres biologisk nedbrytbart materiale som avfall som kan gjennomgå anaerob eller aerob nedbrytning, herunder blant annet mat- og hageavfall, papir, kartong og trevirke. Samtidig er det i dag bred faglig enighet om at trevirke i liten grad brytes ned under anaerobe forhold.

Å benytte biomasse til karbonlagring gjennom Woodstore kan begrunnes både økonomisk og miljømessig. Metoden skaper økonomisk verdi gjennom karbonkreditter, samtidig som den legger til rette for nåværende og fremtidig bruk av arealet, blant annet gjennom foryngelse og forbedrede vekstbetingelser for ny skog.

§ 27.1 (Definisjon av avfall)

Med avfall menes løseregjenstander eller stoffer som noen har kassert, har til hensikt å kassere eller er forpliktet til å kassere. Som avfall regnes ikke avløpsvann og avgasser.

Som biprodukt og ikke avfall regnes løseregjenstander og stoffer som

1. er fremstilt som integrert del av en produksjonsprosess som primært tar sikte på å fremstille noe annet
2. kan brukes direkte uten annen bearbeidelse enn det som er normalt i industriell praksis,
3. kan brukes på en måte som er lovlig,
4. ikke medfører nevneverdig høyere risiko for helseskade eller miljøforstyrrelse enn tilsvarende gjenstander og stoffer som ellers kunne blitt brukt, og
5. med sikkerhet vil bli utnyttet.

Løseregjenstander og stoffer som har blitt avfall, skal regnes for å ha opphørt å være avfall når de

1. har gjennomgått gjenvinning
2. skal brukes til bestemte formål
3. kan omsettes i et marked eller er gjenstand for etterspørsel
4. innfrir de tekniske kravene som følger av de aktuelle bruksområdene og eventuelle produktkrav og -standarder, og
5. ikke medfører nevneverdig høyere risiko for helseskade eller miljøforstyrrelse enn tilsvarende gjenstander og stoffer som ellers kunne blitt brukt.

Figur 11: Paragraf 27.1: Definisjon av avfall

Sylva – Woodstore: Vi viser til definisjonene illustrert i figuren over, hvor restbiomassen som benyttes i et Woodstore-karbonkammer oppfyller kriteriene for et biprodukt: Den oppstår som følge av en primær produksjonsprosess, kan brukes direkte uten videre bearbeiding, har et klart definert formål og inngår i produksjonen av et omsettelig produkt – karbonkreditter.

På dette grunnlaget mener vi at restbiomassen i et karbonkammer ikke bør klassifiseres som avfall. Tilsvarende kan heller ikke karbonkammeret anses å medføre en nevneverdig miljøforstyrrelse.

§ 27a.1 (Andre definisjoner, kun relevant utdrag)

[...]Med gjenvinning menes ethvert tiltak der hovedresultatet er at avfall kommer til nytte ved å erstatte materialer som ellers ville blitt brukt, eller at avfall har blitt forberedt til dette.

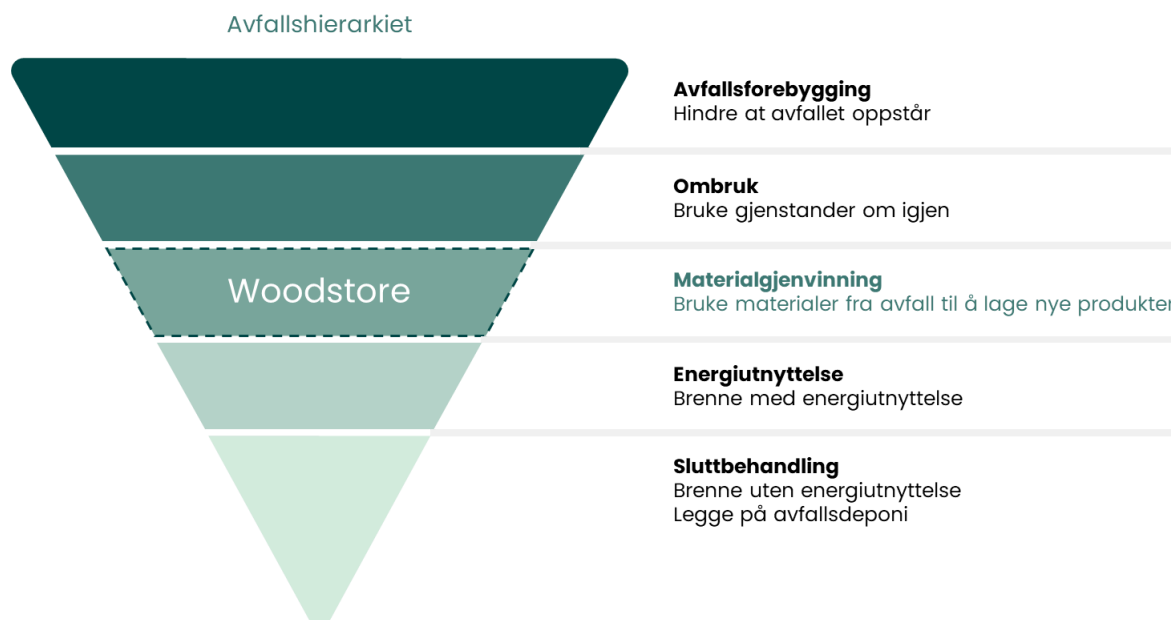
§ 32 Håndtering av næringsavfall

Den som produserer næringsavfall, skal sørge for at avfallet blir brakt til lovlig avfallsanlegg eller gjennomgår gjenvinning, slik at det enten opphører å være avfall eller på annen måte kommer til nytte ved å erstatte materialer som ellers ville blitt brukt. Annen disponering av avfall fra fiske, jordbruk og skogbruk mv. er likevel tillatt, såfremt forurensningen dette kan medføre omfattes av § 8 første ledd nr. 1.

Forurensningsmyndigheten kan i særlige tilfeller gjøre unntak ved enkeltvedtak eller forskrift fra første ledd første punktum på nærmere fastsatte vilkår. [...]

Figur 12: Paragraf 27a.1: (Andre definisjoner) og Paragraf 32: Håndtering av næringsavfall

Sylva – Woodstore: Hogstavfallet fra skogbruket kommer til annen nytte ved å bruke det til karbonlagring, og derfor opphører å være avfall. Woodstore erstatter ikke materialer som ellers ville blitt brukt, og er derfor ikke gjenvinning direkte.



Figur 13: I henhold til avfallshierarkiet vil Woodstore naturlig finne sin plass i "Materialgjenvinning" fordi avfallet blir til et nytt produkt.

Gitt at regelverket er teknologinøytralt og baserer seg på funksjonelle kriterier, fremgår det ikke at gjenvinning forutsetter fremstilling av et fysisk produkt. Woodstore omdanner biproduktet hogstavfall til et ikke-fysisk, men økonomisk og funksjonelt produkt – karbonkreditter – med et klart definert formål og dokumentert nytte.

På bakgrunn av denne argumentasjonen mener Sylva at Woodstores utnyttelse av restbiomasse bør klassifiseres på samme nivå som gjenvinning i avfallshierarkiet.

6.2 Særlig tillatelse er ikke nødvendig

§ 8 (Begrensninger i plikten å unngå forurensninger)

Vanlig forurensning fra

1. fiske, jordbruk og skogbruk m.v.,

[...]

er tillatt etter denne lov i den utstrekning det ikke er gitt særlige forskrifter etter §9.

Forurensninger som ikke medfører nevneverdige skader eller ulemper kan finne sted uten tillatelse etter § 11.

Figur 14: Paragraf 8: (Begrensninger i plikten å unngå forurensninger)

Sylva – Woodstore: Woodstore bør etter vår vurdering kunne gjennomføres uten særskilt tillatelse. I henhold til forurensningsloven er vanlig forurensning fra skogbruksdrift tillatt, herunder at hogstavfall blir liggende igjen og naturlig brytes ned til klimagasser.

Woodstore innebærer i praksis en mer kontrollert og miljømessig forbedret håndtering av denne biomassen. I stedet for at hogstavfallet brytes ned og gir utslipp til atmosfæren, samles og lagres det under stabile forhold i karbonkamre, noe som i stor grad eliminerer disse utslippene.

Videre medfører ikke karbonkamrene, etter vår vurdering, nevneverdige skader eller ulemper sammenlignet med ordinær skogbruksaktivitet. Uttak av GROT og røtter er allerede en tillatt praksis i dag. Woodstore representerer således ikke en ny type inngrep, men en alternativ anvendelse av biomassen etter innhøsting.

På denne bakgrunn mener vi at tiltaket faller innenfor rammen av tillatt virksomhet, og ikke bør være gjenstand for krav om særskilt tillatelse.

6.3 Sakens kjerne

Hvordan bruken av restbiomassen klassifiseres, er avgjørende for den rettslige vurderingen. Etter vårt syn må regelverket tolkes i lys av oppdatert vitenskapelig kunnskap. Når ny innsikt gir et bedre grunnlag for å forstå miljøeffekter og tiltak, bør denne legges til grunn – særlig når det gjelder løsninger som kan bidra til å redusere klimagassutslipp. Uten en slik utviklingsorientert tilnærming risikerer man at nødvendige klimatiltak hemmes av regelverk som bygger på utdatert kunnskap.

Som tidligere påpekt, er trevirke i regelverket definert som biologisk nedbrytbart, også under anaerobe forhold. Nyere forskning tilsier imidlertid at trevirke i liten grad brytes ned uten tilgang på oksygen. Dette har direkte betydning for hvordan lagring av biomasse bør vurderes.

Woodstore medfører heller ikke forurensning utover det som følger av ordinær skogbruksdrift, hvor eventuelle merutslipp vil være knyttet til begrenset maskinbruk. Tiltaket innebærer derfor ikke en ny eller vesentlig økt forurensningskilde.

I henhold til avfallsforskriften § 9-3 defineres et deponi som "anlegg for sluttbehandling av avfall ved permanent deponering på eller under bakken". Som redegjort for ovenfor, mener vi at restbiomassen som benyttes i Woodstore ikke bør klassifiseres som avfall, men som et biprodukt med definert formål og økonomisk verdi i form av karbonkreditter.

På denne bakgrunn mener vi at Woodstore ikke utgjør deponering av avfall, men en form for karbonlagring. Metoden bør derfor klassifiseres på linje med gjenvinning, og ikke som sluttbehandling.

Konklusjon: Woodstore er ikke deponering, men karbonlagring.

7 Prosjektet: Naturbasert karbonfangst og -lagring på Sylvas eiendom

I det foregående har vi gitt en overordnet beskrivelse av Woodstore og redegjort for hvordan metoden etter vår vurdering bør forstås i lys av gjeldende regelverk. I denne seksjonen presenterer vi et konkret prosjekt som planlegges gjennomført på Sylvas eiendommer over de neste fem årene.

Formålet med denne redegjørelsen er å informere relevante myndigheter om det pågående og planlagte forsknings- og utviklingsarbeidet. Vi ønsker å bidra til økt kunnskap om metoden, synliggjøre dens potensial og belyse hvilke ringvirkninger den kan ha, både klimamessig og samfunnsøkonomisk.

7.1 Rammer for prosjektet

For perioden 2026–2030 planlegger Sylva å teste og videreutvikle Woodstore-metoden i større skala på egne eiendommer (gnr./bnr.: 60/1, 60/3, 62/2, 63/2, 63/52 og 64/9) i Vestby kommune. Det er planlagt å lagre betydelige mengder restbiomasse fra skogbruket, tilsvarende flere tusen tonn CO₂-ekvivalenter.

Prosjektet avgrenses til et totalt volum på inntil 35 000 tonn biomasse. Dette anses som tilstrekkelig for å generere data fra storskala drift, samtidig som omfanget er begrenset nok til å kvalifisere som et pilot- og oppskaleringssprosjekt i forskningsøyemed.

Sylva har søkt om og fått innvilget FoU-midler fra Innovasjon Norge til et treårig prosjekt som startet i 2025, og som inngår som en del av det samlede prosjektet. Formålet er å etablere et solid datagrunnlag for videre skalering, dokumentere metodens effekt under praktiske forhold, samt fungere som en demonstrasjonsarena for næringsaktører, myndigheter og beslutningstakere.

Det er på nåværende tidspunkt ikke hensiktsmessig å kartfeste eksakte lokasjoner for de planlagte karbonkamrene, da dette vil avhenge av løpende vurderinger knyttet til drift, geologi og logistikk.

7.2 Prosjektbeskrivelse

Eiendommene til Sylva består i dag av et variert skogbilde, med innslag av naturskog, områder som er nær hogstmoden alder eller har behov for tynning, samt tidligere hogstfelt med mangelfull foryngelse. Hver av disse kategoriene utgjør om lag en tredjedel av det totale arealet, som samlet sett omfatter ca. 3 300 dekar produktiv skog.

Hogstfelt: På flere av de forsømte hogstfeltene vil vi reetablere produksjonsskog ved hjelp av metodene beskrevet tidligere. Restbiomasse fra markberedning og rothøsting vil bli lagret i Woodstore-karbonkamre på geologisk egnede lokasjoner. Enkelte av disse områdene kan også vurderes omdisponert til naturskog, der dette anses som mest hensiktsmessig.

Produksjonsskog: Deler av den stående skogen på eiendommene har redusert verdi som følge av manglende skjøtsel fra tidligere eiere. Denne skogen vil bli gjenstand for aktiv forvaltning og skjøtsel. Tynningshogst vil generere restbiomasse, og i enkelte tilfeller vil det være aktuelt med flatehogst på egnede arealer, etterfulgt av foryngelse. I begge tilfeller oppstår restbiomasse uten salgsverdi, som planlegges lagret i Woodstore-karbonkamre.

Naturskog: Gjennom kartlegging vil vi identifisere hvilke deler av eiendommen som egner seg for etablering og utvikling av naturskog. Disse områdene vil samlet utgjøre om lag halvparten av skogarealet. Her vil hovedfokus være å ivareta og styrke naturmangfoldet, samtidig som det gjennomføres begrensede tiltak for å fremme økologisk balanse der det er nødvendig.

Samtlige arealtyper vil generere restbiomasse egnet for lagring i Woodstore-karbonkamre. Ettersom etablering av karbonkamre vil avhenge av både driftsmessige forhold, tilgjengelige ressurser og lokale geologiske vurderinger, anses det ikke hensiktsmessig å fastsette eksakte lokasjoner på forhånd.

7.3 Gjennomføring

Reglement

Sylva forholder seg til gjeldende regelverk fra Puro.earth [30]. Spesifikt for Woodstore gjelder Methodology for Terrestrial Storage of Biomass [23]. For å kunne sertifisere karbonkreditter stiller Puro.earth krav om prosjektspesifikk godkjenning fra norske myndigheter. Dette innebærer at det må foreligge en avklaring fra norske myndigheter for det enkelte prosjekt før sertifisering kan gjennomføres.

Målinger, rapportering og verifikasjon

Vi legger til grunn at dersom forholdene i karbonkammeret er stabile, og eventuelle utslipp uteblir eller er minimale i løpet av de første fem årene, kan karbonkammerets integritet anses som dokumentert. Deretter vil det i hovedsak være tilstrekkelig med periodisk visuell inspeksjon.

Basert på erfaringer fra tidligere prosjekt gjennomfører vi jevnlig gassmålinger ved hjelp av fire komplementære metoder:

Gassfluksmålinger:

På overflaten av karbonkammeret etableres det ti målepunkter som flyttes systematisk mellom målingene. Hvert punkt benyttes over to målesykluser. Dette gir både temporal og romlig dekning, og sikrer god kontroll på variasjoner over tid og sted. Metoden gir presise målinger av eventuell gassmigrasjon gjennom jordsmonnett.

Screening målinger:

Håndholdte gassdetektorer benyttes til å screene overflaten for å identifisere eventuelle lokale utslipp ("hotspots"). Målingene utføres i et systematisk sikksakkmønster med omtrent tre meters avstand, slik at hele overflaten dekkes.

Konsentrasjonsmålinger:

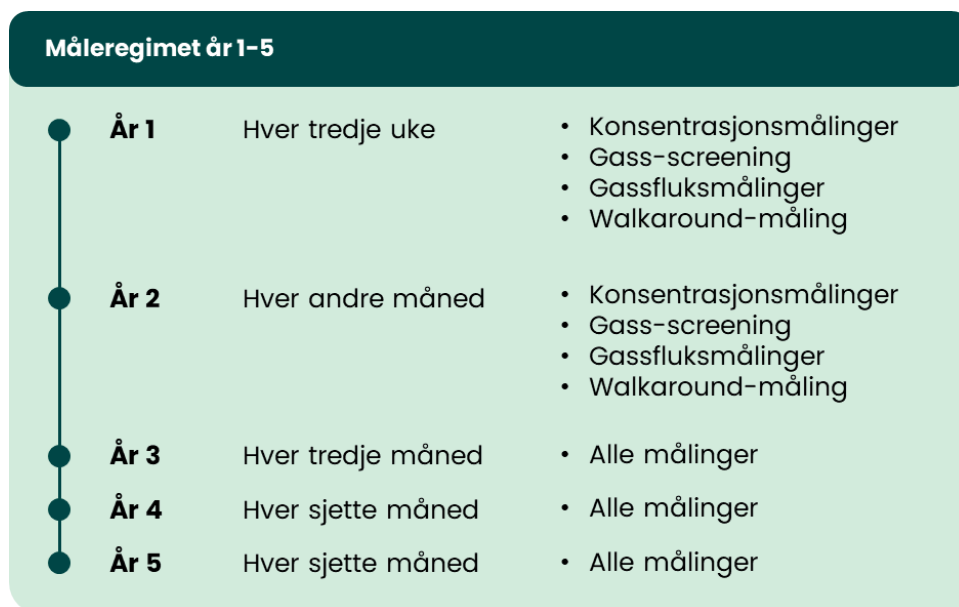
Perforerte rør med ventiler installeres fra biomassen og opp til overflaten. Gjennom disse kan gass trekkes direkte ut av karbonkammeret. Konsentrasjoner av blant annet CO₂, CH₄ og O₂ måles i en sensorert målekaske ved overflaten.

“Walkaround-målinger”:

Ved bruk av et presisjonsinstrument måles konsentrasjonen av CO₂ og CH₄ i lufta omtrent én meter over bakken. Målingene utføres både over karbonkammeret og i omkringliggende områder, med en utstrekning på opptil flere hundre meter fra kammeret. Dette gir grunnlag for å identifisere eventuelle konsentrasjonsforskjeller mellom påvirkede og upåvirkede områder.

Målemetodikken vil videreutvikles over tid, blant annet gjennom etablering av faste sensorer og automatiserte systemer som loggfører data kontinuerlig til skybaserte løsninger.

Det detaljerte måleregimet er som følger::



Figur 15: Måleregime år 1-5

Etter fem år med dokumentert stabile målinger vurderer vi karbonkammeret som ferdig aktivt driftet. Kammeret går deretter over i en etterdriftsfase, hvor oppfølgingen begrenses til periodiske visuelle inspeksjoner for å sikre at kammerets struktur og overdekning forblir uendret.

Finansiell garanti

Puro.earth stiller krav om finansiell garanti for etterdriftsfasen av karbonkammeret. Løsningen vi har kommet frem til er etablering av en to-parts depositumskonto. Dette reflekterer at risikoen for feil vurderes som lav, samtidig som kostnadene knyttet til eventuelle korrigerende tiltak er begrensede. Den finansielle garantien er planlagt strukturert som følger:

- Sylva innbetaler et forhåndsberegnet beløp, basert på verdien av de utstedte karbonkredittene
- Bank fungerer som uavhengig kontomotpart
- Vi anbefaler at Statsforvalter fungerer som en utløsende instans for bruk av midlene, dersom det blir nødvendig i etterdriftsfasen. Tiltakshaver dokumenterer behovet for utløsning av midlene til etterdriftstiltak overfor Puro.

Det presiseres at den innskutte garantien kun skal benyttes i etterdriftsfasen, det vil si etter de første fem årene med aktiv drift, målinger og verifisering. Den operative driftsfasen omfatter perioden fra lagring av biomasse, via forsegling av karbonkammeret, til ferdigstilt verifikasjon etter fem år.

Størrelsen på garantibeløpet skal fastsettes i henhold til Puro.earths regelverk, og beregnes som en prosentandel av de utstedte karbonkredittene. Beløpet skal være tilstrekkelig til å dekke kostnadene dersom en uavhengig tredjepart må engasjeres for å gjennomføre nødvendige tiltak.

Den mest sannsynlige typen tiltak vil være å tilføre ytterligere overdekningsmasser, eksempelvis for å håndtere erosjon eller sikre fortsatt stabile lagringsforhold.

Omfang og varighet

Prosjektet har et avgrenset omfang på inntil 35 000 tonn biomasse og en varighet på fem år. Innenfor denne perioden vil Sylva ta i bruk hele eiendommen i Vestby (gnr./bnr.: 60/1, 60/3, 62/2, 63/2, 63/52 og 64/9) til å utvikle og etablere både Produksjonsskog og Naturskog, samt karbonkamre på egnede lokasjoner.

Antallet karbonkamre er ikke endelig fastsatt, men vil tilpasses driftsmessige og geologiske forhold. For å sikre effektiv drift forutsettes det at hvert kammer har et tilstrekkelig volum. På denne bakgrunn anslås et øvre antall på inntil 10 karbonkamre innenfor prosjektets rammer.

Datatilgang

Vi logger og strukturerer data på en måte som gir transparens og etterprøvbarehet for eksterne interessenter. Informasjonen gjøres tilgjengelig i et åpent format, slik at utenforstående enkelt kan få innsyn og et helhetlig overblikk over prosjektet. Alle relevante data fra vår første pilot er samlet og tilgjengelig (Se lenke [Woodstore 1 pilot](#)). Datagrunnlaget er strukturert i henhold til kravene fra Puro.earth.

Tilsvarende vil det etableres et eget dataområde for oppskaleringsprosjektet [Woodstore 2](#), som gjøres tilgjengelig for alle med lenken. Dette sikrer åpenhet, transparens og kontinuerlig innsyn i prosjektets utvikling og resultater.

Risikoen i prosjektet og avbøtende tiltak

Et sentralt spørsmål er hvordan vi håndterer situasjoner der karbonkamrene skulle produsere mer gass enn forventet i driftsfasen.

Vår tilnærming er trinnvis og basert på etablerte avbøtende tiltak

- Tiltak 1 – Overflatetiltak:
Første steg er å tilføre ekstra jordmasser på områder med forhøyede utslipp ("hotspots") for å redusere permeabiliteten. Samtidig kan det tilføres kompost og/eller etableres grønn gjødsling for å øke den mikrobielle aktiviteten i jordsmonnet, særlig med mål om å redusere eventuell metanproduksjon.
- Dersom slike tiltak gjennomføres etter at arealet er plantet, vil det være behov for nyplanting lokalt. Siden de berørte områdene vil være små, vurderes kostnadene som begrensede.
- Tiltak 2 – Forbedret forsegling:
Dersom tiltak 1 ikke gir tilstrekkelig effekt, kan overdekningsmassene fjernes midlertidig. Det legges da et tettere lag av egnede masser, for eksempel leire, direkte over biomassen før jorden legges tilbake på toppen. Dette vil bidra til å etablere mer stabile, anoksiske forhold.
- Tiltak 3 – Avvikling av karbonkammeret (worst case)
Dersom tiltak 1 og 2 ikke gir tilfredsstillende resultater, vil karbonkammeret avvikles. Biomassen graves da opp og kan enten lagres på nytt i et bedre egnet kammer, eller bearbeides til flis. Overskuddsmateriale kan benyttes til bioenergi eller tilbakeføres til produksjonsskogen som næring, hvor det brytes ned naturlig. Dette avviker i prinsippet lite fra dagens praksis, hvor restbiomasse blir liggende igjen etter hogst – med unntak av at oppflising vil kunne fremskynde nedbrytningen.

Vi vurderer sannsynligheten for at slike tiltak blir nødvendige som lav, forutsatt korrekt gjennomføring av metoden. En sentral del av FoU-prosjektet er nettopp å validere og optimalisere metodikken, slik at stabile lagringsforhold oppnås. Denne kunnskapen vil innhentes i løpet av den aktive driftsfasen, det vil si de første fem årene.

8 Oppsummering

- Woodstore kan anses å være en av de mest effektive metodene for å benytte restbiomasse fra skogbruket i et klimaperspektiv. Med et anslått nasjonalt potensial på opptil 5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter årlig, basert på dagens avvirkningsnivå, representerer metoden et betydelig bidrag til utslippsreduksjoner og karbonlagring.
- Behovet for karbonfjerning i stor skala er økende, og metoder som Woodstore vil være nødvendige for å møte dette behovet. Vi står nå overfor et strategisk valg der Norge kan være i front av denne utviklingen og ta en ledende rolle. Sylvas FoU- og oppskaleringsprosjekt vil kunne bidra til å etablere kunnskapsgrunnlaget for hvordan biomassebasert karbonlagring bør integreres i fremtidig politikk og forvaltning.
- Det viktigste klimatiltaket er fortsatt å redusere og unngå utslipp. Samtidig er det bred erkjennelse av at dette ikke er tilstrekkelig alene. Betydelige restutslipp vil bestå, anslått til flere milliarder tonn CO₂-ekvivalenter globalt, som må håndteres gjennom karbonfjerning. I Norge er det i tillegg et betydelig gap mellom mål og faktisk leveranse innen LULUCF-sektoren. Woodstore representerer en konkret og skalerbar løsning som kan bidra til å redusere dette gapet.
- Prosjektet som er presentert i denne redegjørelsen er avgrenset i omfang og varighet, og må forstås som et forsknings- og utviklingsprosjekt. Samtidig fungerer det som et fundament for videre oppskalering, med potensial til å løfte både skognæringen og måten vi forvalter skogressurser på. Prosjektet vil også fungere som et nasjonalt pilot- og demonstrasjonsanlegg for fremtidsrettet skogbruk og effektiv ressursutnyttelse.



Figur 16: Eiendommen til Sylva i Vestby kommune. Rundt 3300 daa med skog og 280 daa fulldyrket mark.

9 Konklusjon

Woodstore er en naturbasert metode for karbonfangst og -lagring som i dag faller delvis utenfor rammene av eksisterende regelverk. Samtidig er det tydelig at klimatiltak basert på biomasse som lagringsmedium vil få økende betydning, og det bør legges til rette for at slike løsninger kan utvikles og skaleres i Norge. Norge har gode forutsetninger for dette, både gjennom naturgitte forhold og et behov for økt verdiskaping og utvikling i skognæringen.

- På bakgrunn av redegjørelsen mener vi at Woodstore bør klassifiseres på nivå med gjenvinning i avfallshierarkiet
- Videre er det vår vurdering at Woodstore bør kunne gjennomføres uten krav om særskilt tillatelse, som en integrert og utvidet del av ordinær skogbruksdrift.

10 Tilbakemelding

Vår forståelse er at Woodstore er innenfor gjeldende regelverk. På bakgrunn av denne redegjørelsen ber vi derfor om tilbakemelding dersom myndighetene skulle ha en annen vurdering.

Sylva planlegger å gjennomføre prosjektet "Naturbasert karbonfangst og lagring på Sylvas eiendom" som et avgrenset forsknings- og pilotprosjekt, med et omfang på inntil 35 000 tonn biomasse over en periode på fem år, fordelt på inntil ti lokasjoner på våre eiendommer.

Vi er positive til videre dialog og stiller oss tilgjengelige for møter og oppfølging. Vår ambisjon er å bidra til at Norge kan ta en ledende rolle i utviklingen av denne typen naturbaserte karbonlagringsmetoder.

Vi anser det som hensiktsmessig med et nytt møte med Klima- og miljødepartementet for videre drøftelse av saken.

Med vennlig hilsen,

Josef Flatlandsmo

Daglig leder

Sylva AS

Kilder

- [1] DNV, "Global Energy Transition Outlook 2025." Available: <https://www.dnv.com/energy-transition-outlook/2025/>
- [2] H. et al Petersson, "Improved forest management for increased carbon sequestration: An assessment of the most prominent approaches in Norway," *Journal of Environmental Management*, vol. 375, 2025, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479725003093>
- [3] A. Himes, M. Betts, C. Messier, and R. Seymour, "Perspectives: Thirty years of triad forestry, a critical clarification of theory and recommendations for implementation and testing," *For. Ecol. Manage.*, vol. 510, Apr. 2022, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112722000974>
- [4] M. Strömgren, K. Mjöfors, and B. A. Olsson, "Soil-surface CO₂ flux during the first 2 years after stump harvesting and site preparation in 14 Swedish forests," *Scandinavian Journal of Forest Research*, Sep. 2016, Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02827581.2016.1221993>
- [5] K. Mjöfors, M. Strömgren, H.-Ö. Nohrstedt, M.-B. Johansson, and A. I. Gärdenäs, "Indications that site preparation increases forest ecosystem carbon stocks in the long term," *Scandinavian Journal of Forest Research*, Mar. 2017, Available: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02827581.2017.1293152>
- [6] N. Zeng et al., "3775-year-old wood burial supports 'wood vaulting' as a durable carbon removal method," *Science*, Sep. 2024, Available: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.adm8133>
- [7] F. J. Cook, J. H. Knight, F. M. Kelliher, "Modelling oxygen transport in soil with plant root and microbial oxygen consumption: depth of oxygen penetration," *Soil Research*, vol. 51, Nov. 2013, Available: <https://connectsci.au/sr/article-abstract/51/6/539/46580/Modelling-oxygen-transport-in-soil-with-plant-root>
- [8] J. L. Gooding, "Geologic perspective for carbon sequestration by woody biomass burial," *Science and Technology for Energy Transition*, vol. 78, 2023, Available: <https://www.stet-review.org/articles/stet/abs/2023/01/stet20220201/stet20220201.html>
- [9] IPCC, "2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," 2019. Available: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_3_Ch03_SWDS.pdf
- [10] Britannica, "Anaerobic Digestion." Available: <https://www.britannica.com/science/anaerobic-digestion>

- [11] Y. Luo *et al.*, "Large CO₂ removal potential of woody debris preservation in managed forests," *Nature Geoscience*, vol. 18, no. 7, Jun. 2025, Available: <https://www.nature.com/articles/s41561-025-01731-2.pdf>
- [12] "EcoForest." Available: <https://ecoforest.no/>
- [13] Andreas Hagenbo, Clara Antón-Fernández, Ryan M. Bright, Daniel Rasse, Rasmus Astrup, "Climate change mitigation potential of biochar from forestry residues under boreal condition," *Science of The Total Environment*, vol. 807, 2022, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721061222>
- [14] Päivi Mäkiranta, Raija Laiho, Timo Penttilä, Kari Minkkinen, "The impact of logging residue on soil GHG fluxes in a drained peatland forest," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 48, 2012, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038071712000181>
- [15] A. Laihonen, S. L. Aalto, M. Pihlatie, and M. Tirola, "Production of greenhouse gases by logging residue in boreal clear-cut forests," *European Journal of Forest Research*, vol. 143, no. 4, Apr. 2024, Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10342-024-01688-8>
- [16] L. Menichetti *et al.*, "Soil Carbon Dynamics During Stand Rotation in Boreal Forests," *European Journal of Soil Science*, vol. 76, no. 4, Jul. 2025, Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.70154>
- [17] Monika Strömgren, Gustaf Egnell, Bengt A. Olsson, "Carbon stocks in four forest stands in Sweden 25 years after harvesting of slash and stumps," *Forest Ecology and Management*, vol. 290, 2013, Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811271200391X?via%3Dihub>
- [18] Patrik Vestin, Meelis Mölder, Natascha Kljun, Zhanzhang Cai, Abdulghani Hasan, Jutta Holst, Leif Klemetsson, Anders Lindroth, "Impacts of stump harvesting on carbon dioxide, methane and nitrous oxide fluxes," *iForest Biogeosciences and Forestry*, 2022, Available: <https://pub.epsilon.slu.se/28170/1/vestin-p-et-al-220601.pdf>
- [19] Forest Research, "Stump harvesting: Interim guidance on site selection and good practice," Apr. 01, 2009. Available: <https://www.forestresearch.gov.uk/publications/stump-harvesting-interim-guidance-on-site-selection-and-good-practice/>
- [20] A. Smolander, V. Kitunen, P. Tamminen, and M. Kukkola, "Removal of logging residue in Norway spruce thinning stands: Long-term changes in organic layer properties," *Soil Biol. Biochem.*, vol. 42, no. 8, Aug. 2010, Available: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071710001471>
- [21] K. H. H. Bjørn Tveite, "Whole-tree thinnings in stands of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Norway spruce (*Picea abies*): Short- and long-term growth results," *Forest Ecology and Management*, Jun. 2013, Available:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112713001230>

- [22] N. Zeng and H. Hausmann, "Wood Vault: remove atmospheric CO₂ with trees, store wood for carbon sequestration for now and as biomass, bioenergy and carbon reserve for the future," *Carbon Balance and Management*, vol. 17, no. 1, Apr. 2022, Available: <https://link.springer.com/article/10.1186/s13021-022-00202-0>
- [23] Puro.earth, "Terrestrial Storage of Biomass," Apr. 21, 2026. Available: <https://puro.earth/methodologies/terrestrial-storage-of-biomass/>
- [24] C. Scheutz *et al.*, "Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions," *Waste Manag Res*, vol. 27, no. 5, Aug. 2009, Available: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0734242X09339325>
- [25] McKinsey & Company, "Carbon removals: How to scale a new gigaton industry." Available: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/sustainability/our%20insights/carbon%20removals%20how%20to%20scale%20a%20new%20gigaton%20industry/carbon-removals-how-to-scale-a-new-gigaton-industry-vf.pdf>
- [26] A. Hagenbo, C. Antón-Fernández, R. M. Bright, D. Rasse, and R. Astrup, "Climate change mitigation potential of biochar from forestry residues under boreal condition," *Sci. Total Environ.*, vol. 807, no. Pt 3, Feb. 2022, Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/34673068>
- [27] B. Holtsmark, "Quantifying the global warming potential of CO₂ emissions from wood fuels," *Glob. Change Biol. Bioenergy*, vol. 7, no. 2, Mar. 2015, Available: https://www.researchgate.net/publication/259549000_Quantifying_the_global_warming_potential_of_CO2_emissions_from_wood_fuels
- [28] M. Norton *et al.*, "Serious mismatches continue between science and policy in forest bioenergy," *Glob. Change Biol. Bioenergy*, vol. 11, no. 11, Nov. 2019, Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12643>
- [29] Puro.earth, "CDR Supplier facilities," Apr. 21, 2026. Available: <https://puro.earth/certified-carbon-credits/facilities/>
- [30] Puro.earth, "Puro standard general rules." Available: https://7518557.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7518557/Supplier%20Documents/General%20Rules%204_4.pdf