Bikuben Student Journal

Naturen i Bergen lagrer mer karbon enn det nasjonale gjennomsnittet

Gina Koulibaly Barry, Vilde Engelsen, Sofie Klem, Johanne Kuhle, Hanna Sannes og Tor Værøy

Introduksjon

Karbon er grunnsteinen for alt liv og beveger seg gjennom biosfæren via karbonkretsløpet. Karbonkretsløpet er utvekslingen av karbon, også kjent som karbonfluks, i og mellom tre store karbonlagre: atmosfæren, land og hav (Houghton, 2014). Karbonlagre er deler av økosystem med evne til å lagre og akkumulere karbon. Forstyrrelse av slike karbonlagre vil åpne for utslipp av det lagrede karbonet i økosystemet (Chapin et al., 2011 s.259) - som er et stort problem i den terrestriske biosfæren, det største biologiske karbonlageret vi har (Chapin et al., 2011 s. 407).

Karbonet som er bundet opp i jordsmonnet (Soil organic carbon, SOC) er et viktig terrestrisk karbonlager, og de fleste estimat indikerer at det lagres betydelig mer karbon i SOC enn i biomasse over bakken (Chapin et al., 2011; Houghton, 2014; Scharlemann et al., 2014). Det antas at omtrent 80% av karbonet, som er bundet opp til terrestriske økosystem, finnes i jordsmonnet (Bartlett et al., 2020; Lal, 2008). Resterende karbon lagres i organisk materiale over bakken (Lal, 2008). Mengden karbon i terrestriske økosystemer påvirkes gjennom fotosyntetisk fiksering av CO2, lagring av karbon i biomasse og jordsmonn, og frigjøringer av CO2 gjennom respirasjon og nedbrytning av organisk materiale (Cheng & Gershenson, 2007).

Norge har forpliktet seg gjennom Parisavtalen til å kutte utslippene av CO2 og i stedet øke opptaket av CO2 fra atmosfæren (Bartlett et al., 2020; FN-sambandet, 2020). Menneskelig aktivitet, som bruk av fossilt brensel, forstyrrer den naturlige balansen i karbonkretsløpet og det slippes ut mer klimagasser enn det naturen klarer å fange opp (FN-sambandet, 2021). Økt utslipp av naturgasser til atmosfæren har forårsaket en økning i gjennomsnittstemperaturen med 1°C det siste århundret (Masson-Delmotte et al., 2019). Når SOC i vegetasjonen frigjøres, slippes den ut som klimagassen CO2 (Houghton, 2014). Naturtyper med god evne til karbonlagring bør derfor bevares for å forhindre utslipp av CO2 (Bartlett et al., 2020). En av de større årsakene til utslipp av CO2 er arealendringer, som avskoging og utbygging (Olerud & Lahn, 2020). Slike fysiske forstyrrelser kan føre til at områder slipper ut mer karbon enn de tar opp og kan gi negative effekter på artsmangfold og habitat på globalt nivå (Bartlett et al., 2020). Kartlegging av karbonlagring i SOC og i biomasse over bakken er viktig for å kunne drive bærekraftig arealbruk, og begrense utslipp av CO2 fra viktige karbonlagre i naturen.

Klima påvirker terrestrisk karbonlagring blant annet gjennom temperatur og nedbør. Disse faktorene påvirker karbonfluks, gjennom regulering av netto primærproduksjon, det vil si summen av karbon som systemet tar opp ved brutto primærproduksjon og karbon som går tapt ved planterespirasjon (Chapin et al., 2011; Falloon et al., 2007). Lave temperaturer vil ha en direkte påvirkning på produksjonen, ved å senke hastigheten på kjemiske reaksjoner (Chapin et al., 2011 s. 147-148). I motsatt ende vil for høye temperaturer også redusere primærproduksjon, ettersom planter da må gå over til fotorespirasjon (Chapin et al., 2011 s. 147). Ved økte sommertemperaturer vil det også være en økning i utslipp av næringsstoffer, som kommer av en økning i nedbrytning (Johnson et al., 2011). I en studie gjort på SOC i Alaska, ble det funnet at sommertemperatur kan føre til økt netto primærproduksjon (Johnson et al., 2011). Det er vist at eldre og mer beskyttet jordsmonn er mer følsom for temperatur i forhold til raskt nedbrytbart jordsmonn (Hartley et al., 2021 s. 2). Ved høye temperaturer vil løseligheten til oksygen være lavere, dette fører til en økning i nedbrytning og nedgang i SOC (Chapin et al., 2011 s. 200). Mye nedbør kan føre til at jordsmonnet blir mettet med vann og luftrommene i jordsmonnet fylles (Chapin et al., 2011 s. 147). Dette vil skape et anaerobt

miljø, som reduserer nedbrytningen av SOC (Chapin et al., 2011 s. 147). Vannmetning i jordsmonnet vil også ha negativ effekt på produksjonen hos planter, ettersom det blir lite tilgjengelighet av oksygen. Dette motvirkes dersom jordsmonnet har god drenering (Chapin et al., 2011 s. 77).

Ulike naturtyper har ulik evne til å lagre karbon i jordsmonnet og biomassen. Skog er det største karbonlageret i Norge, og dekker 38% av det totale landarealet og lagrer omtrent 32% av landets karbon (Bartlett et al., 2020 s. 5). Raten for opptak av karbon i skog er proporsjonal med netto produksjon til trærne (Bartlett et al., 2020 s. 19). Produksjonen til trærne vil avta med aldring, og derfor vil eldre trær ta opp mer karbon enn de slipper ut (Bartlett et al., 2020 s. 19). Våtmark dekker kun 10% av landarealet i Norge, men lagrer likevel omtrent 21% av landets karbon (Bartlett et al., 2020 s. 5). Våtmark har høy fuktighet som hindrer jordrespirasjon og fører til redusert nedbrytning av organisk materiale, og har dermed god evne til karbonlagring (Weldon et al., 2016 s. 6). Åpent lavland er klassifisert som arealer under tregrensen og inkluderer naturlige og semi-naturlige vegetasjonshabitater. Denne naturtypen dekker 2,1% av landarealet (Bartlett et al., 2020 s. 28) og lagrer 3% av landets karbon. Tekstur på jordsmonnet vil påvirke naturtypens evne til karbonlagring (Zhang et al., 2022). Reduksjonen i karbonlagring er mer enn tre ganger så stor i jord med grov tekstur og begrenset tilgang til stabiliserende organisk materiale, enn i jord med fin struktur med god stabiliserende kapasitet (Hartley et al., 2021 s. 1).

Det er funnet at Norge lagrer store mengder karbon, men det er gjort lite kartlegging av SOC og karbon i biomasse over bakken på lokalt nivå (Bartlett et al., 2020). Naturtyper og klimatiske faktorer påvirker jordsmonnets evne til å lagre SOC, og ulik vegetasjon har ulik kapasitet til å lagre karbon. Derfor er det viktig med god kunnskap om karbonlagring på lokalt nivå, slik at forstyrrelser av viktige og naturlige karbonlagre kan hindres, og utslipp av CO2 til atmosfæren reduseres. Denne studiens formål er å kartlegge SOC og karbon i biomassen over bakken i naturtyper i Bergen og omegn. Vi tar for oss tre naturtyper i fastlands-Norge. Disse er skog hvor gran, furu, eik og andre løvtrær dominerer, åpent lavland slik som gressmark, jordbruksareal og lynghei, og våtmark som myr og torvmark. Ut fra det vi vet om klima i Bergen og omegn antar vi at det finnes høyere verdier av SOC i disse områdene, sammenlignet med andre områder i Norge med ulikt klima. Vi forventer også at verdiene for karbonlagring over bakken vil være betydelig mindre sammenlignet med verdiene for SOC.

Material og Metode

Studiested

Bergen ligger vest i Norge og preges av et mildt og fuktig klima. Den normale middeltemperaturen i perioden 1981-2018 var 8,4°C. I samme tidsperiode var den normale mengden nedbør 2 511 mm (Bergen kommune, 2021). Prøvene ble tatt fra ulike lokaliteter i Bergen og omegn. Punkter i de ulike lokalitetene ble tilfeldig generert ved bruk av DarkDiv Net sitt interaktive verktøy (DarkDivNet, 2021). Lokalitene omfattet alt fra urbane områder til skog og myr.

Gjennomsnitt	Karbon (kg/kvm)	Standardfeil (kg/kvm)
Over bakken	5,40	1,26
I jorda	23,1	2,47
Totalt	28,5	2,76

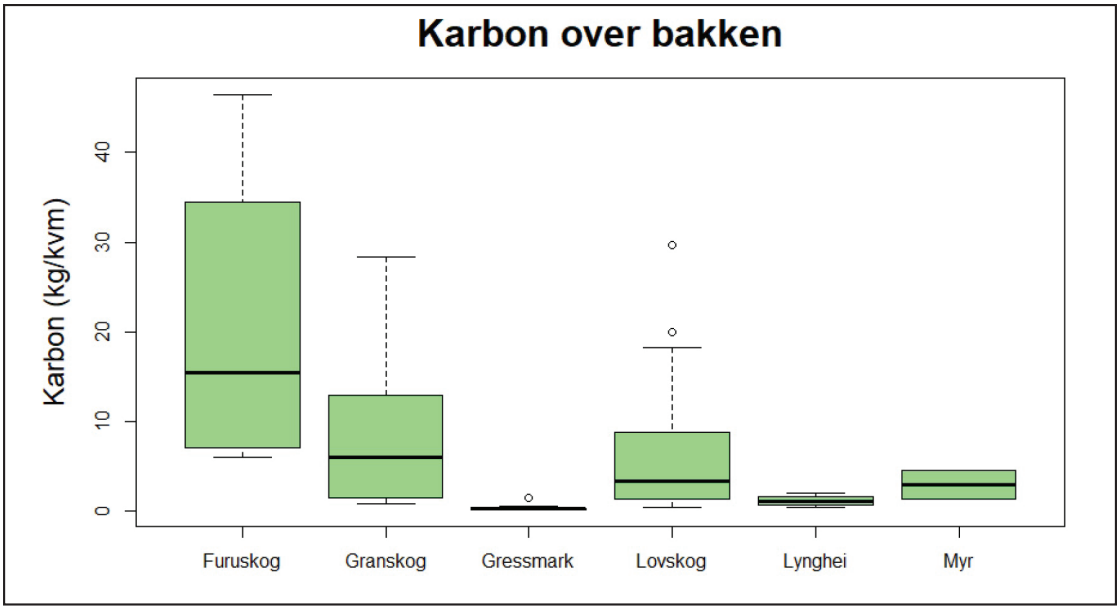
Tabell 1. Gjennomsnittlig SOC og karbon i biomasse over bakken for alle naturtypene.

Feltarbeid

De tilfeldig genererte punktene ble lokalisert ved hjelp av GPS. Punktene var i noen tilfeller lite tilgjengelige, på privat område eller på stein eller asfalt, og de var dermed uegnede til prøvetaking. Der dette var tilfellet ble et nytt punkt markert på et egnet område så nært det originale punktet som mulig, og jordprøver og estimat av biomasse over bakken ble tatt her. Ut fra det markerte punktet merket vi deretter opp et sirkulært område på 100 kvadratmeter, med en radius på 5,64 m. Dersom det markerte området inneholdt mer enn 15 trær som var over 2 m i høyde, ble størrelsen på området redusert til 25 kvadratmeter. Dette ga en radius på 2,82 m. Dersom det markerte området nå inneholdt mer enn 15 trær, ble størrelsen på området redusert til 4 kvadratmeter. Dette ga en radius på 1,13 m. Disse reduksjonene i areal ble gjort av praktiske grunner for den videre estimeringen av biomasse over bakken. Dette fordi det kunne være vanskeligere å få et godt estimat på biomassen i områder hvor det var tett med trær. Når det sirkulære området var ferdig merket, ble det laget en enkel beskrivelse av vegetasjonen i sirkelen som besvarte hvilke og omtrent hvor mye planter og trær som befant seg innenfor det markerte området. Vi målte høyden på alle trærne i sirkelen, samt diameter ved brysthøyde (1,3 m) på alle trær over 2 m innenfor det markerte området. Karbonet lagret i trærne ble estimert for alle disse trærne individuelt basert på målt høyde og diameter i brysthøyde. Estimat av karbon i trærne er basert på funksjoner fra Marklund (1988)

Naturtype	Antall punkt
Furuskog	4
Granskog	6
Gressmark	18
Løvskog	19
Lynghei	4
Myr	2

Tabell 2. Punkter for uttak av jordprøver og estimering av karbon i biomasse fordelt på naturtypene furuskog, granskog, gressmark, løvskog, lynghei, og myr.



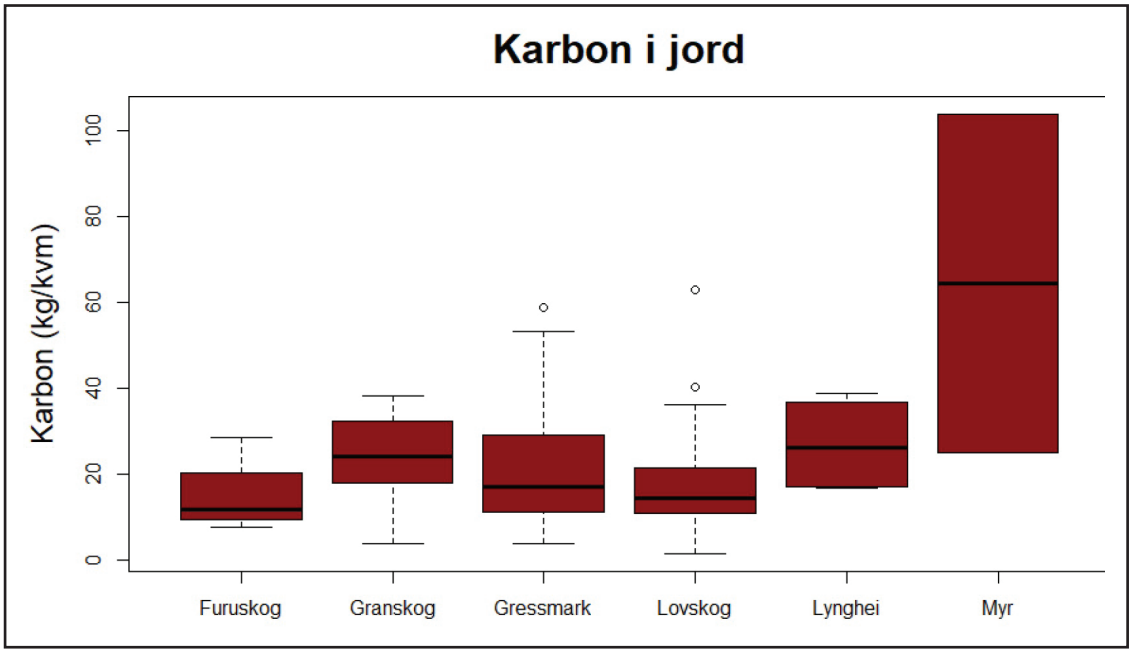
Figur 1. Spredning og median av mengde karbon lagret i biomasse over bakken i ulike naturtyper. Boksene indikerer intervallet for midtre 50% av datasettet. 25% av datasettet har lavere verdi enn dette intervallet, og resterende 25% av datasettet har høyere verdi enn dette intervallet.

for furu og gran, og Smith (2015) for løvtrær. I områder hvor det ikke var skog gjorde vi et grovt estimat på karbon i vegetasjonen over bakken, basert på en tidligere studie av karboninnhold i vegetasjon (Althuizen I et al., upublisert).

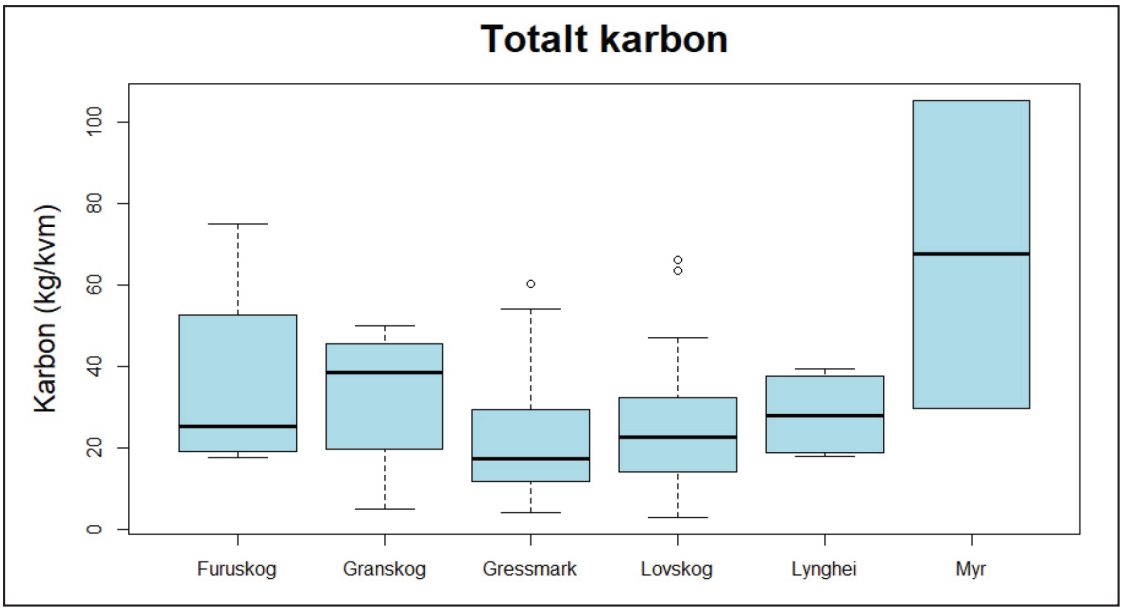
Jordprøvene ble tatt fra et punkt som hadde en representativ jorddybde for hele det markerte området. Vegetasjonen ble ryddet vekk slik at det øverste jordlaget var synlig før jordprøvene ble tatt. Et plastrør med diameter på 45 mm ble ført ned i jordsmonnet så langt ned som mulig, for så å bli trukket opp. For å sikre at jordprøven ikke falt ut av røret ble begge ender forseglet med plast. Hver jordprøve ble merket med nummeret på punktet, koordinatene til punktet og datoen jordprøven ble tatt. Etter innsamling ble jordprøvene plassert på et kjølig rom (4 °C) frem til videre bruk. Kjølelagerets hensikt var å forhindre ulike prosesser i jorda, både biologiske prosesser og fordamping av vann. På denne måten kunne vi sørge for at jordprøven forble uendret.

Laboratoriearbeid

Laboratoriearbeidet foregikk over flere dager. Første dag på laboratoriet gjorde vi jordprøven klar til analyse. Vi skar ut 1 cm brede biter av jordprøven, og lot det være 5-10 cm mellomrom mellom hver bit. Om jordprøven var dyp ble intervallene økt slik at det ble tatt 5 jordlag totalt. Mellom hver prøve ble kniven vasket for å unngå kontaminasjon. Bitene av jordprøvene ble plassert i rene aluminiumsbegre og markert med koordinater, prøvenummer og dybde fra jordkjernen. Deretter ble jordprøvene stående i romtemperatur for å tørke før videre analyse. Andre dag på laboratoriet ble alle bitene av jordprøver silt hver for seg (1 mm netting) for å separere røtter og steiner ut fra jordprøven. Røttene og steinene ble sortert hver for seg og deretter veid. De silte jordprøvene ble veid i et



Figur 2. Spredning og median av mengde SOC i ulike naturtyper i Bergen. Boksene indikerer intervallet for midtre 50% av datasett. 25% av datasettet har lavere verdi enn dette intervallet, og resterende 25% av datasettet har høyere verdi enn dette intervallet.



Figur 3. Spredning og median av total mengde karbon lagret i ulike naturtyper. Boksene indikerer intervallet for midtre 50% av datasett. 25% av datasettet har lavere verdi enn dette intervallet, og resterende 25% av datasettet har høyere verdi enn dette intervallet.

veieskip. Organisk materiale i den massen som ikke gikk gjennom silen ble veid og antatt å inneholde 50% karbon. Hver prøve ble tørket i romtemperatur, og deretter tørket en natt i ovn ved 105°C. Mengden tørket jord ble målt og deretter brent ved 500°C i seks timer. Vi benyttet metoden "Loss on Ignition." Den brente prøven ble til slutt veid. Forskjellen på massen før og etter brenning representerer mengden karbon. Det frasilte karbonet og det brente karbonet ble lagt sammen. Det totale karbonet under jorden ble omgjort til mengde karbon per kvadratmeter.

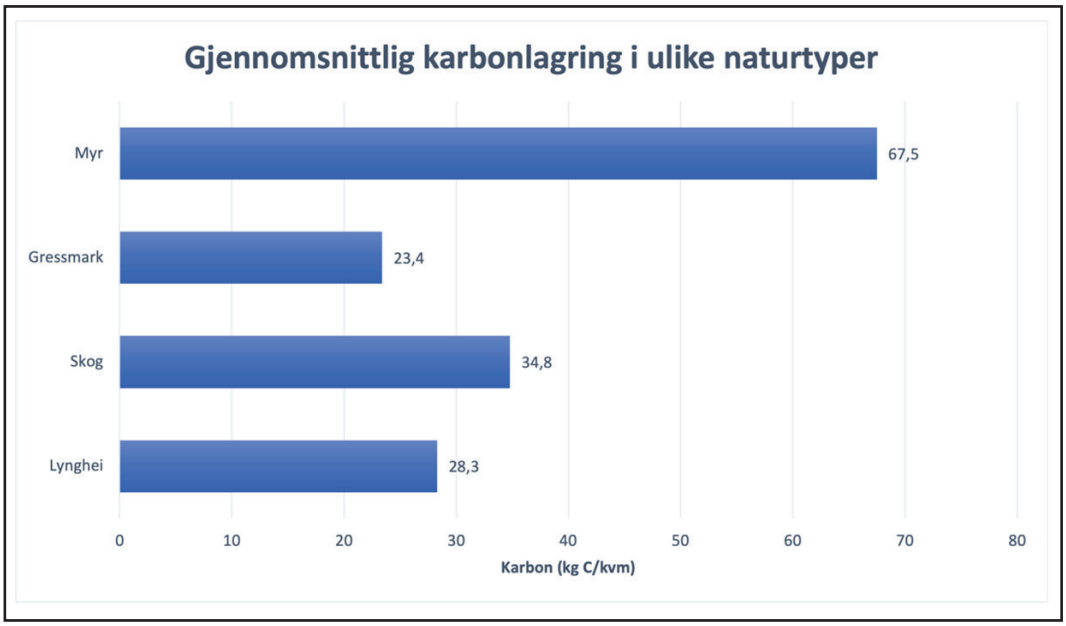
Resultater

Undersøkelser tatt i Bergen og omegn viste at jordsmonnet i dybdeintervallet 0-100 cm lagrer i gjennomsnitt over fire ganger så mye karbon som biomassen over bakken (Tabell 1).

Vi tok jordprøver og estimerte biomasse over bakken fra totalt 53 punkter. Disse var fordelt på ulike naturtyper (Tabell 2). Vi har valgt å kategorisere punktene der jordprøver ble tatt ut som furuskog, granskog, løvskog, gressmark eller myr, blant annet ut fra vegetasjonen som ble observert innenfor det markerte området.

Furuskog lagrer mest karbon i biomasse over bakken sammenlignet med de andre naturtypene som ble undersøkt (Figur 1). Av naturtypene som ble undersøkt ble det målt minst karbon i biomasse over bakken i gressmark (Figur 1). Under bakken ble det målt mest SOC i myr, og minst i furuskog (Figur 2). Totalt er det myr som lagrer mest karbon, med en spredning fra 40 – 100 kg C/m2 (Figur 3). Gressmark lagrer totalt minst karbon (Figur 3).

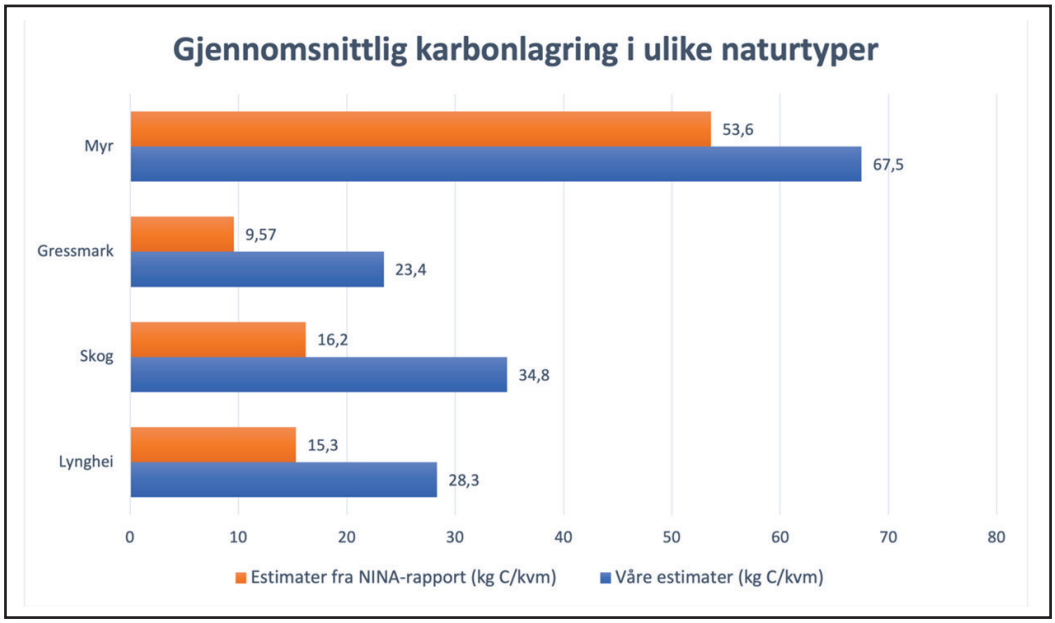
Ved sammenligning av gjennomsnittene for total mengde lagret karbon i ulike naturtyper finner en også at myr lagrer mest totalt karbon i gjennomsnitt (Figur 4). Dersom



Figur 4. Oversikt over gjennomsnittlig total karbonlagring i ulike naturtyper. I denne grafen har verdiene for furuskog, granskog og løvskog blitt lagt sammen til en kategori: Skog. Verdiene tilsvarer summen av gjennomsnittlig SOC og gjennomsnittlig karbon i biomasse over bakken for de ulike naturtypene.

en slår sammen kategoriene furuskog, granskog og løvskog og ser en at skog lagrer nest mest karbon, mens gressmark og lynghei lagrer lignende mengder karbon (Figur 4).

Norsk Institutt for Naturforskning (NINA) utga i 2020 en rapport som ga omtrentlige estimat for karbonlagring i norske økosystemer (Bartlett et al., 2020). Disse estimatene ble gjort på grunnlag av diverse datasett fra tidligere studier av karbonlagring i ulike naturtyper i flere geografiske lokaliteter. De fleste av disse studiene er gjort utenfor Norge (Bartlett et al., 2020). Ved sammenligning av våre funn i Bergen og omegn med nasjonale estimater av gjennomsnittlig karbonlagring per naturtype (Bartlett et al., 2020) finner vi at naturen i Bergen og omegn i snitt lagrer større mengder karbon i alle naturtyper som er undersøkt (Figur 5).



Figur 5. Sammenligning av verdier for gjennomsnittlig total karbonlagring estimert i landsdekkende NINA-rapport vist i oransje (Bartlett et al., 2020 s. 52-54) og våre funn fra Bergen og omegn, i ulike naturtyper vist i blått.

Diskusjon

Denne studiens formål var å kartlegge SOC og karbon i biomasse over bakken i naturtyper i Bergen og omegn. Basert på det vi vet om klimaet i Bergen og omegn antok vi at det finnes høyere verdier av SOC i disse områdene, sammenlignet med andre områder i Norge med ulikt klima. Vi antok også at verdiene for karbon i biomasse over bakken er betydelig mindre enn verdiene for SOC. Vi finner at det lagres betydelig mer karbon i jordsmonnet enn i biomasse over bakken (Tabell 1). Etter våre målinger lagrer jordsmonnet i Bergen og omegn i gjennomsnitt 23,1 kg C /m2, noe som utgjør 81% av gjennomsnitt for total karbonlagring som vi finner. Dette vil være viktig å ta i betraktning ved vurdering av eventuelle arealendringer i naturen i Bergen. Våre funn stemmer godt overens med annen forskning vedrørende karbonlagring (Bartlett et al., 2020). Det er funnet at omtrent 80% av terrestrisk karbon er lagret i jordsmonnet (Lal, 2008). Våre undersøkelser viser også at det er store variasjoner i karbonlagring mellom ulike naturtyper. Det er bred enighet om at myr lagrer mye SOC i forhold til andre naturtyper (Roulet et al., 2007; Villa & Bernal, 2018). Vi har gjort korresponderende funn; ifølge våre undersøkelser har myr betydelig mer SOC enn andre naturtyper (Figur 2). Det er også verdt å merke seg at en fant høyere mengder SOC i granskog enn i furuskog og løvskog (Figur 2). En studie i Sverige som sammenlignet SOC i plott med furu (Pinus sylvestris) og plott med gran (Picea abies) fant lignende mønster (Stendahl et al., 2010). De fant høyere SOC-verdier i plott med P. abies, også når data ble gruppert ut fra temperaturregioner (Stendahl et al., 2010).

Temperatur og nedbør er viktige klimatiske faktorer som regulerer SOC (Wang et al., 2013). På global skala er det funnet at temperatur har en negativ korrelasjon til SOC og at nedbør er proporsjonal med SOC (Wang et al., 2013). Det er imidlertid funnet regionale unntak som står i kontrast til de globale trendene (Wang et al., 2013). Bergen og omegn preges av et vått og fuktig klima. Lave temperaturer reduserer SOC-omsetningshastigheten som fører til en økning i akkumuleringen av SOC (Liang et al., 2021). Generelt vil nedbrytningen av SOC øke ved et middels fuktighetsnivå og avta ved ekstremt tørre eller våte forhold (Liang et al., 2021). En kombinasjon av lav temperatur og ekstrem fuktighet vil begrense nedbrytning av organisk materiale, og det vil derfor være mer SOC i områder med slike forhold (Liang et al., 2021). Dermed vil mer SOC lagres i naturtypene i Bergen ettersom klima tilrettelegger for det. Våre resultater står altså i samsvar med tidligere funn (Figur 5).

Både våre estimater og de nasjonale estimatene viser at det lagres betydelige mengder karbon i terrestriske økosystem, spesielt i jordsmonnet. Dersom disse økosystemene ikke hadde hatt denne kapasiteten for karbonlagring ville effektene av klimagassutslippene vært mer alvorlige enn de er i dag. Utbygging, forstyrrelser og arealendringer vil

føre til utslipp av CO2 til atmosfæren. Derfor er kunnskap om hvordan karbonlagring varierer i ulike regioner viktig. Det kan være store variasjoner i karbonlagring mellom ulike naturtyper og geografiske lokaliteter. I Norge er det begrenset med data på karbonlagring, både over og under bakken (Bartlett et al., 2020). Det kan derfor være hensiktsmessig å bruke data fra andre naturtyper og geografiske lokaliteter utenfor Norge. Det er da viktig å ta høyde for at regionale og klimatiske variasjoner kan gi et upresist estimat for norske økosystemer. Vi finner store forskjeller mellom grove nasjonale estimater som baserer seg på data utenfor Norge, og estimater vi har gjort på lokalt nivå (Figur 5). Dette viser at det er nyttig å få oversikt over karbonlagring i naturen på lokalt nivå i Norge, slik at en kan drive mer bærekraftig arealbruk.

Dersom forsøket skal gjennomføres igjen er det flere ting som kan heve metoden. Jordtyper har vesentlig påvirkning på hvordan jordsmonnet håndterer klimatiske faktorer (Zhang et al., 2022). Eksempelvis har jordtyper med mye leire dårlig drenering, som samsvarer dårlig med mye nedbør. Det hadde derfor vært interessant å ikke bare ta generelle jordprøver, men også undersøke ulike jordtyper. Ved tidligere forskning er det vist at lav pH i jordsmonn kan øke lagring av SOC (Marinos & Bernhardt, 2018; Wu et al., 2016). Det kan dermed være interessant å se på hvordan karbon oppfører seg i jordsmonn med ulik pH og eventuelt hvordan pH varierer i ulike naturtyper.

I denne studien ble det en ujevn fordeling av antall prøver for hver naturtype, for eksempel var det få prøver fra myr i forhold til de andre naturtypene (Tabell 2). I videre undersøkelser kan resultatene styrkes ytterligere dersom en fordeler like mange jordprøver per naturtype. Punktene kan fortsatt være tilfeldig generert, men fordelt jevnere mellom de ulike naturtypene. Våre resultater for karbonlagring i myr korresponderer godt med annen forskningslitteratur. Dermed antar vi at skjevfordeling i resultatene våre ikke har medført betydelig usikkerhet.

Ettersom karbonlagring er en prosess som skjer over lengre perioder hadde det vært interessant å ta jordprøver fra samme sted over lengre tid. Prosjektet kan forslagsvis foregå over flere år. Dette kan gi mer robuste dataserier som kan bidra til bedre kunnskap om karbonlagring i Bergen og omegn. Ved reproduksjon av forsøket over tid vil en også kunne få mer sikre resultater.

Konklusjon

Funnene fra denne studien underbygger viktigheten av å ta vare på karbonlagrene, og da særlig i områder med naturtyper med spesielt god evne til lagring. Ved å ta vare på områder som lagrer mye karbon kan vi unngå å forsterke klimaendringene. Studien vitner også om viktigheten av å kartlegge karbonlagringen på et mer lokalt nivå, da vi ser at det er store variasjoner mellom ulike naturtyper og geografiske lokaliteter. Naturtypene i Bergen og omegn har spesielt god evne til karbonlagring, antageligvis grunnet et vått klima som medfører lavere nedbrytningsrate av SOC, og naturen her er derfor spesielt viktig å ivareta.

Referanser

Angelstam, P., Jaarola, M. & Nordh, N. 1985. Are female Black Grouse Tetrao tetrix territorial?. Ornis Fennica, 62: 124-129.

Althuizen I, Vandvik V, Velle LG, Lee H., (upublisert) Technical Report HiddenCosts, Hidden costs of implementing afforestation as climate mitigation strategy: A comprehensive assessment of direct and indirect impacts.

Bartlett, J., Rusch, G., Kyrkjeeide, M., Sandvik, H., & Nordén, J. (2020). Carbon storage in Norwegian ecosystems (revised edition).

Bergen kommune. (2021, juni 1). Bergen kommune—Tall som beskriver klima i Bergen. Bergen kommune. https://www.bergen.kommune.no/omkommunen/fakta-om-bergen/klima/tall-som-beskriver-klima-i-bergen

Chapin, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. M. (2011). Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology (second edition). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9504-9

Cheng, W., & Gershenson, A. (2007). Carbon Fluxes in the Rhizosphere. The Rhizosphere. https://doi.org/10.1016/B978-012088775-0/50004-5

DarkDivNet, 2021. DarkDivNet-Web tool to suggest new study areas and sample plots [WWW Document]. URL https://shiny.botany.ut.ee/DarkDivNet/ (accessed 6.2.22).

Falloon, P., Jones, C. D., Cerri, C. E., Al-Adamat, R., Kamoni, P., Bhattacharyya, T., Easter, M., Paustian, K., Killian, K., Coleman, K., & Milne, E. (2007). Climate change and its impact on soil and vegetation carbon storage in Kenya, Jordan, India and Brazil. Agriculture, Ecosystems & Environment, 122(1), 114–124. https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.013

FN-sambandet. (2020, desember 22). Parisavtalen. https://www.fn.no/om-fn/avtaler/miljoe-og-klima/parisavtalen

FN-sambandet. (2021, november 8). Klimaendringer. https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer

Hartley, I. P., Hill, T. C., Chadburn, S. E., & Hugelius, G. (2021). Temperature effects on carbon storage are controlled by soil stabilisation capacities. Nature Communications, 12(1), 6713. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27101-1

Houghton, R. A. (2014). 10.10—The Contemporary Carbon Cycle. I H. D. Holland & K. K. Turekian (Red.), Treatise on Geochemistry (Second Edition) (s. 399–435). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00810-X

Johnson, K. D., Harden, J., McGuire, A. D., Bliss, N. B., Bockheim, J. G., Clark, M., Nettleton-Hollingsworth, T., Jorgenson, M. T., Kane, E. S., Mack, M., O'Donnell, J., Ping, C.-L., Schuur, E. A. G., Turetsky, M. R., & Valentine, D. W. (2011). Soil carbon distribution in Alaska in relation to soil-forming factors. Geoderma, 167–168, 71–84. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.10.006

Lal, R. (2008). Carbon Sequestration. Philosophical Transactions: Biological Sciences, 363(1492), 815–830.

Liang, J., Wang, G., Singh, S., Jagadamma, S., Gu, L., Schadt, C. W., Wood, J. D., Hanson, P. J., & Mayes, M. A. (2021). Intensified Soil Moisture Extremes Decrease Soil Organic Carbon Decomposition: A Mechanistic Modeling Analysis. Journal of Geophysical Research: Biogeosciences, 126(8), e2021JG006392. https://doi.org/10.1029/2021JG006392

Marinos, R. E., & Bernhardt, E. S. (2018). Soil carbon losses due to higher pH offset vegetation gains due to calcium enrichment in an acid mitigation experiment. Ecology, 99(10), 2363–2373.

Masson-Delmotte, V., Intergovernmental Panel on Climate Change, WMO, & United Nations Environment Programme. (2019). Climate change and land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems : summary for policymakers.

Marklund LG. 1988, Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige [Biomass functions for pine, spruce and birch in Sweden]. Umeå, Sweden: Department of Forest Survey, Swedish University of Agricultural Sciences. Report 45.

Olerud, K., & Lahn, B. (2020). CO2-utslipp. I Store norske leksikon. http://snl.no/CO2-utslipp

Roulet, N. T., Lafleur, P. M., Richard, P. J. H., Moore, T. R., Humphreys, E. R., & Bubier, J. (2007). Contemporary carbon balance and late Holocene carbon accumulation in a northern peatland. Global Change Biology, 13(2), 397–411. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01292.x

Scharlemann, J. P., Tanner, E. V., Hiederer, R., & Kapos, V. (2014). Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. Carbon Management, 5(1), 81–91. https://doi.org/10.4155/cmt.13.77

Smith, A. 2015. Characterizing individual tree biomass for improved biomass estimation in Norwegian forests. PhD-thesis, Department of Ecology and Natural Resource Management Faculty of Environmental Science and Technology Norwegian University of Life Sciences

Stendahl, J., Johansson, M.-B., Eriksson, E., Nilsson, Å., & Langvall, O. (2010). Soil organic carbon in Swedish spruce and pine forests – differences in stock levels and regional patterns. Silva Fennica, 44(1). https://doi.org/10.14214/sf.159

Villa, J. A., & Bernal, B. (2018). Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework. Ecological Engineering, 114, 115–128. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.06.037

Wang, M.-Y., Shi, X.-Z., Yu, D.-S., Xu, S.-X., Tan, M.-Z., Sun, W.-X., & Zhao, Y.-C. (2013). Regional Differences in the Effect of Climate and Soil Texture on Soil Organic Carbon. Pedosphere, 23(6), 799–807. https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60071-5

Weldon, S., Parmentier, F.-J.W., Grønlund, A., Silvennoinen, H., 2016. Potensialet for karbonlagring og reduksjon av klimagassutslipp 36.

Wu, J., Liang, G., Hui, D., Deng, Q., Xiong, X., Qiu, Q., Liu, J., Chu, G., Zhou, G., & Zhang, D. (2016). Prolonged acid rain facilitates soil organic carbon accumulation in a mature forest in Southern China. Science of The Total Environment, 544, 94–102. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.025

Zhang, Y., Li, P., Liu, X., Xiao, L., Li, T., & Wang, D. (2022). The response of soil organic carbon to climate and soil texture in China. Frontiers of Earth Science. https://doi.org/10.1007/s11707-021-0940-7

Cite this article

Barry, G., Engelsen, V., Klem, S., Kuhle, J. Sannes, H. and Værøy, T. (2022). Naturen i Bergen lagrer mer karbon enn det nasjonale gjennomsnittet. *Bikuben 1*.