

Samlet karbonlager i myrene i Viken fylke

Av Knut Rydgren



© Rydgren, K.

Fakultet for ingeniør og naturvitenskap
Institutt for miljø- og naturvitenskap
Høgskulen på Vestlandet 2022

Høgskulen på Vestlandet
2022

HVL-notat frå Høgskulen på Vestlandet nr. 2022-7

ISSN 2703-710X

ISBN 978-82-93677-92-5



Utgjeingar i serien vert publiserte under Creative Commons 4.0. og kan fritt distribuerast, remixast osv. så sant opphavspersonane vert krediterte etter opphavsrettslege reglar.
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Sammendrag

På verdensbasis dekker myr 3 % av landarealet, men innehar 30 % av karbonlagret i jord. I Norge i dag utgjør myrarealet i underkant av 9 %, men det har vært betydelig større tidligere. Mye myr har gått tapt gjennom ulike inngrep opp gjennom tidene. Selv om dagens lovverk gir myr bedre beskyttelse mot grøfting for skog- og jordbruksproduksjon, er det andre inngrep som torvuttak, vei-, hytte, og vindkraftutbygging som fortsatt gjør at vi taper mye myr. Det er svært lite heldig, i en tid der vi står ovenfor en klima- og naturkrise, og der langtidslagring av karbon og bevaring av biomangfoldet bør stå helt sentralt.

Viken fylke er ikke et utpreget myrfylke, og det er store forskjeller i arealmessig dekning, fra lite myrareal i lavlandet til betydelig større myrareal i høyereliggende strøk. Det er her den store hytteutbyggingen finner sted, som typisk kommer i konflikt med myr. Ifølge NIBIO har Viken fylke et myrareal på 1026 km² som er 4,2 % av totalarealet. Dette er et underestimat ettersom myrarealet over tregrensa ikke er inkludert.

Karbonlageret i myr kan estimeres som produktet av fire faktorer: Areal, torvdybde, torvas volumvekt og torvas karbonkonsentrasjon. Ettersom vi mangler detaljkunnskap om de siste tre faktorene i Viken, har jeg estimert karbonlageret i Viken-myrene for tre ulike torvdybde-scenarier (1,31 m, 1,59 m og 1,91 m). Disse volumanslagene er basert på kunnskapen om fordelingen av grunn myr (< 1 m) og dyp myr (> 1m) på deler av myrarealet i Viken (630,8 km²), der 19 % er grunn myr og 81 % er dyp myr. Ettersom vi mangler god kunnskap om torvdybder i myr i Viken, er det vanskelig å vite hvor sannsynlige disse tre torvdybde-valgene er, men trolig dekker de de faktiske forholdene. For å estimere usikkerheten for de tre torvdybdescenariene har jeg trukket verdier tilfeldig for volumvekt og karbonkonsentrasjon i beregningen av karbonlageret. Dette har jeg så gjort 1000 ganger for hvert torvdybde-scenario. Verdiene for volumvekt er trukket fra nedre del av variasjonsområdet for torvjord (0,060-0,090 g/cm³). De er derfor forsiktige anslag. Verdiintervallet som er brukt for torvas karbonkonsentrasjon er innenfor normalområdet for torvjord, fra 45 % til 52 %.

Disse beregningene viser at myrene under tregrensa i Viken har et karbonlager på rundt 60 millioner tonn karbon, i størrelsesorden $4,84 \times 10^7$ til $7,13 \times 10^7$ tonn C. I CO₂-ekvivalenter tilsvarer dette $1,8-2,6 \times 10^8$ tonn CO₂, det vil si 180-260 millioner tonn CO₂. Dette er enorme mengder CO₂. Til sammenligning vil prosjektet *Langskip*, for fangst og lagring av CO₂ dypt under havbunnen, kunne lagre $1,5 \times 10^6$ tonn CO₂ årlig i 25 år. Dermed må 5-7 Langskip-prosjekter være fullført før de har lagret en tilsvarende mengde CO₂-ekvivalenter som Vikens myrer lagrer. Kostanden for ett Langskip-prosjekt er estimert til 25,1 milliarder kroner.

Utbyggingspresset på myrene i Viken er høyt, og fortsatt ligger det an til at mye myr vil gå tapt i årene framover. Dersom en ser på kommuneplanens arealdel til Viken-kommunene, er det planlagt å bygge ut i overkant av 5 km² myr, mye til hytteutbygging. En kommuneplan varer i 12 år, men rulleres gjerne hvert fjerde år. Basert på de tre karbonlager-estimatene for Vikens myrareal på 1026 km² hvorav 5 km² myr utgjør 0,49 %, får vi et CO₂-utslipp som varierer mellom $8,6 \times 10^5$ tonn og $1,3 \times 10^6$ tonn (det vil si 0,9 til 1,3 millioner tonn) dersom all torva i disse myrene brytes ned. Dette tilsvarer med andre ord ganske nær ett «Langskip-år»!

Dette er ikke en bærekraftig arealutnyttelse. Å ta vare på myr er blant de enkleste og beste naturbaserte løsningene for å motvirke menneskeskapte klimaendringer. Det å bygge ned mye myr, samsvarer dårlig med at samfunnet vil bruke milliarder av kroner på å langtidslagre CO₂ fra industriprosesser og årlig flere ti-talls millioner kroner på å restaurere skadet og ødelagt myr. Natur og samfunn vil tjene stort på at vi utvikler en bærekraftig arealpolitikk i takt med de store utfordringene vi står ovenfor. Myr trenger vern, ikke nedbygging. Vi må stanse storstilt ødeleggelse av karbonrike økosystemer dersom vi skal løse klima- og naturkrise.

EMNEORD: Karbonlager, Klimaendringer, Klimakrise, Myr, Naturbaserte løsninger, Naturkrise.

Forord

Viken fylkeskommune ved Stig Hvoslef, kontaktet Knut Rydgren, Høgskulen på Vestlandet, i mars 2022 med forespørsel om det kunne være mulig å beregne hvor mye karbon som ligger lagret i myrene i Viken fylke. Viken fylkeskommune har skaffet til veie en NIBIO-oversikt over myrarealet i Viken under tregrensa, som er kategorisert som grunn (torvdybde < 1m) eller dyp myr (torvdybde > 1 m). Knut Rydgren har gjennomført karbonberegningene og skrevet dette notatet, mens Julien Vollerling, Høgskulen på Vestlandet, har kvalitetssikret notatet. Arbeidet med rapporten er finansiert av Viken fylkeskommune, og Norges Forskningsråd gjennom støtte til forskningsprosjektet Repeat, prosjektnummer 326645. Alle bildene er tatt av Knut Rydgren.

Innhold

Sammendrag	3
Forord	5
Innhold	6
Innledning	7
Resultater og diskusjon	10
Metoder	14
Litteratur.....	16

Innledning

Myr er et økosystem med et høyt grunnvannsspeil og med fuktighetskrevede vegetasjon som danner torv (Fig. 1). Det høye grunnvannsspeilet og det stagnerende vannet i myr fører til oksygenmangel i torvjorda, noe som gir svært lave nedbrytningshastigheter av biologisk materiale. I velfungerende myr vil planteproduksjonen være høyere enn nedbrytninga, og torvjorda i myra vil bygge seg opp, kanskje så mye som 0,5-1 mm i året (Flatberg 2013). Torvjord er gjennomtrukket av vann, og den dannes av de døde plantene (og dyra) på myra, og består hovedsakelig av ufullstendig nedbrutt organisk materiale, som igjen består av ca. 50% karbon. Dette er grunnen til at myr kan inneholde store mengder karbon.



Figur 1. To myrer i Viken fylke. Bjørkemåsen i Nannestad til venstre (august 2021), og ei myr ved Tururfjell, Flå kommune til høyre (oktober 2019). Disse myrene vil enten gå fullstendig tapt, eller bli vesentlig forringet på grunn av utbygginger til bolig- eller fritidsboliger, med betydelige utslipp av CO₂ som en konsekvens.

Intakt og velfungerende myr er karbonsluk som tar opp og lagrer karbon slik at det ikke lenger inngår i det korte karbonkretsløpet. Myr har dessuten et særegent mangfold av arter tilpasset de spesielle økologiske forholdene; artene regulerer vannkvalitet og -mengde, og utgjør samtidig et viktig historisk arkiv (Bonn et al. 2016a; Edvardsson et al. 2022). På verdensbasis ligger de fleste myrene på nordlige breddegrader, mellom 45°N og 70°N (Loisel et al. 2017; Xu et al. 2018), og de lagrer anslagsvis $500 \pm 100 \times 10^9$ tonn C (Yu et al. 2010; Yu et al. 2021). Dette overstiger karbonlageret i verdens levende vegetasjon, 450×10^9 tonn C (Erb et al. 2018). Myr dekker ca. 3 % av landarealet på jorda (Xu et al.

2018), men innehar ca. 30 % av karbonlagret i jord (Yu et al. 2010; Loisel et al. 2021). I Norge antok en lenge at myr og våtmark utgjorde 5,8 % av landarealet (inkludert ferskvannsareal), men dette arealet er trolig mer enn 50 % høyere, nemlig 8,9 %, tilsvarende 28 777 km² ifølge Bryn et al. (2018). Myrarealet i Norge har imidlertid vært betydelig større, ettersom minst 7 000 km² er skadet eller ødelagt, i stor grad ved grøfting for skogproduksjon (Moen et al. 2011; Flatberg 2013). Dagens lovverk gir betydelig beskyttelse mot grøfting for skog- og jordbruksproduksjon, men likevel går fortsatt mye myr tapt på grunn av andre inngrep, slik som torvuttak, vei-, hytte-, og vindkraftutbygging.

Betydningen av myr som et av naturens viktigste, langsiktige karbonlagre, har fått økt oppmerksomhet i takt med forståelsen av klima- og naturkrise (Anonymous 2018). I mange europeiske land har de jobbet med myrrestaurering i flere ti-år (Andersen et al. 2017), mens vi i Norge først har startet systematisk arbeid ganske nylig (Hagen et al. 2015; Anonymous 2016). Norge bruker nå årlig flere ti-talls millioner kroner på myrrestaurering (Anonymous 2020). Dette er et viktig arbeid for å binde karbon, og Parisavtalen sier at 500 000 km² drenert myr skal restaureres på verdensbasis innen 2050-2070 (Kreyling et al. 2021). Minst like viktig som å restaurere skadet eller ødelagt myr, vil det likevel være å stoppe ødeleggelsen av intakte og velfungerende myrer. Det er alltid billigere å forebygge enn å reparere. Framover blir det derfor viktig i størst mulig grad å forhindre ødeleggelse av myr, spesielt de mest verdifulle myrene i biomangfold- og klimasammenheng.

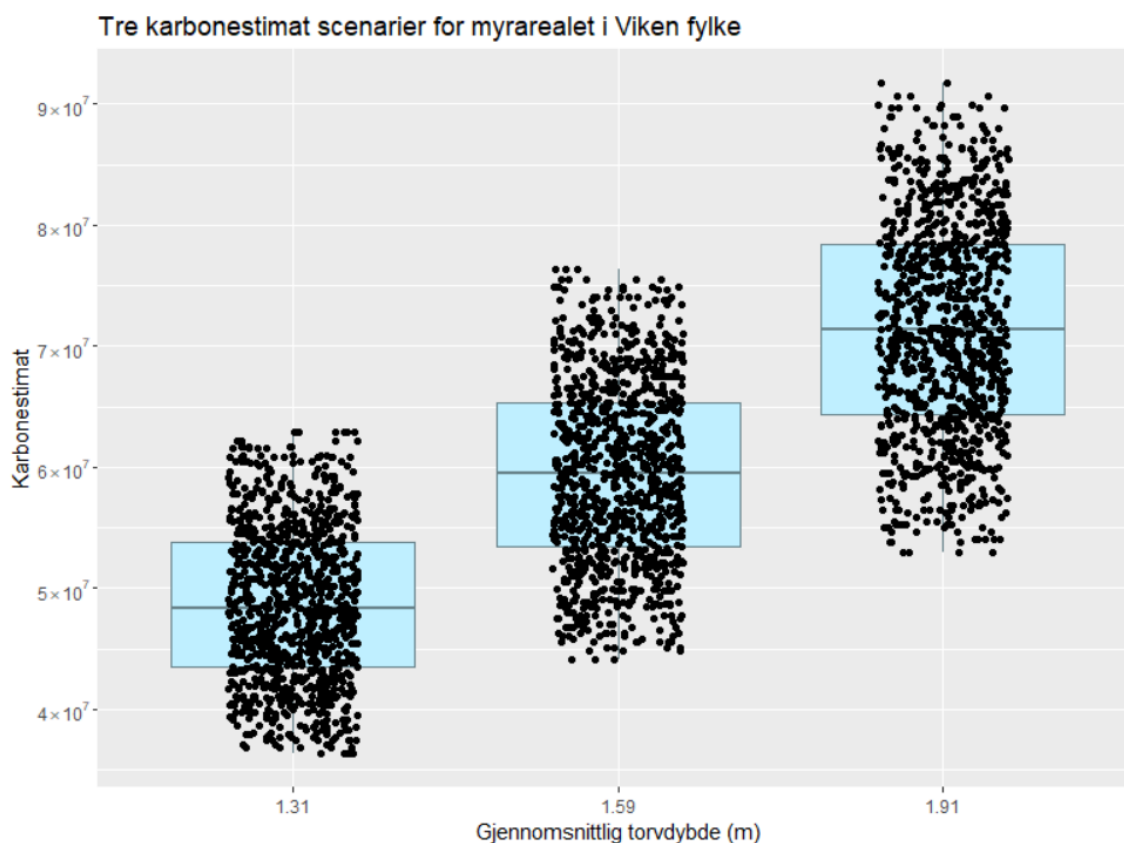
I de tilfellene arealinngrep er uunngåelig, må beslutningene baseres på et best mulig kunnskapsgrunnlag, blant annet om hvor stort karbonutslippet vil bli som følge av inngrepet. Da må vi kunne estimere hvor mye karbon ei myr eller et myrlandskap inneholder. Presise estimater for karbonet som ligger lagret i ei myr avhenger av gode data på: Torvvolumet (som er produktet av areal og gjennomsnittlig torvdybde), torvas volumvekt, og karbonkonsentrasjonen i torva. Over større arealer mangler en denne detaljinformasjonen, selv om NIBIO sitter på informasjon om torvdybder for mange myrer, men kun i to størrelsesklasser, over og under 1 m (NIBIO www.NIBIO.no).

Viken fylke strekker seg fra kysten av Østfold til østre del av Hardangervidda. Fylket har blant annet de største tetthetene av typisk høgmyr på Østlandet – i indre Østfold og Akershus (Lyngstad & Vold 2015). Høgmyr er spesielt viktig i karbonlager-sammenheng, med store karbonlagre. Dette er store og dype myrer, som en konsekvens av at de har bygd seg opp over flere tusen år. Et annet trekk ved Østlandet er at myrarealet øker med økende høyde over havet opp til tregrensa. Oppunder tregrensa kan andelen myrareal være mer enn ti ganger så høy som i lavlandet (Moen 1998).

I dette notatet har jeg gjort et forsøk på å estimere hvor mye karbon myrene i Viken lagrer. Ettersom dette estimatet vil være forbundet med stor usikkerhet (se metodekapitlet), har jeg for de tre variable faktorene holdt meg til verdiområder jeg vurderer som realistiske. Jeg har videre valgt å anskueliggjøre denne usikkerheten ved å variere variabelverdiene som inngår i ligningen for beregning av karbonlager.

Resultater og diskusjon

Ifølge mine estimater lagrer Vikens myrareal under tregrensa mellom $4,84 \times 10^7$ og $7,13 \times 10^7$ tonn C (Fig. 2), det vil si 48-71 millioner tonn C. Dette er enorme mengder karbon, men faktisk lagrer myrene i Viken langt mer enn dette ettersom myrarealet over tregrensa ikke inngår i beregningene. Viken fylke har et totalareal på 24 593 km² (Statistisk_Sentralbyrå 2022). I følge NIBIO (2022b) er myrarealet i Viken 1026,2 km² (4,2 % av totalarealet), men ettersom dette estimatet er basert på AR5 (arealressurskart i målestokk 1:5000) som kun dekker arealet under tregrensa, er myrarealet i Viken fylke betydelig større enn dette. Omlag 57 % av landarealet i Norge (Bryn et al. 2018) ligger over tregrensa.



Figur 2. Karbonlageret i myrer i Viken fylke basert på et myrareal på 1026,2 km² under tregrensa, og for tre ulike torvdybder (1,31 m; 1,59 m; 1,91 m). For hver torvdybde er karbonlageret beregnet 1000 ganger (vist som svarte prikker), der verdiene for torvas volumtetthet og karbonkonsentrasjon varierer tilfeldig innenfor et gitt verdiintervall (se metoder). Den blå boksen inneholder 50 % av verdiene rundt medianverdien, vist som en horisontal svart strek i den blå boksen.

Det er knyttet stor usikkerhet til karbonestimaterne (Fig. 2). Vi mangler god kunnskap om torvdybdene i Vikens myrer, men vet at mange av dem er dype (> 1 m), se metodekapittelet. Derfor er trolig de tre torvdybdene som jeg har valgt for beregningen ganske realistiske (Fig. 2). Det er også valget av verdiorråde for karbonkonsentrasjon (45-52 %), mens verdiorrådet for volumvekt ligger i den nedre del av variasjonsområdet for torvjord (0,060 – 0,090 g/cm³). Derfor vurderer jeg karbonestimat-scenariene for myrarealet under tregrensa i Viken fylke til å ligge ganske nær de faktiske forhold – og heller i underkant enn i overkant.

Dersom vi regner om medianverdi-estimaterne for de tre karbonlagrings-scenariene (Fig. 2) til CO₂-ekvivalenter (CO₂e) blir ytterpunktene 1,8-2,6 10⁸ tonn CO₂e, det vil si 180-260 millioner tonn CO₂e. Til sammenligning har prosjektet «Langskip», som skal transportere og langtids-lagre CO₂ dypt under havbunnen, en anslått lagringskapasitet på $1,5 \times 10^6$ tonn CO₂ årlig i 25 år (Anonymous 2019). Kostnadene for «Langskip» er estimert til 25,1 milliarder kroner, hvor Staten tar 16,8 milliarder kroner (Anonymous 2019). Dersom en klarer å lagre $1,5 \times 10^6$ tonn CO₂ årlig i dette prosjektet, trengs det 118-174 virksomme år for å lagre en sammenlignbar CO₂-mengde som det karbonet dagens Viken-myrrer lagrer. Eller så må 5-7 Langskip-prosjekter være fullført før de har lagret en tilsvarende mengde CO₂-ekvivalenter som Vikens myrrer lagrer. Videre er det slik at en gjennomsnittsnordmann årlig slipper ut 7,6 tonn CO₂ e, drøyt 30 % mer enn en EU-borger (tall fra 2020; se <https://energiogklima.no/klimavakten/utslipp-per-innbygger/>). Hvis vi regner med at Viken-innbyggerne ligger på dette landsgjennomsnittet, tilsvarer lagret karbon i myr CO₂ e-utslippet til Viken-befolkningen over en periode på 18 til 27 år! Da er folketallet i fylket beregnet til 1 280 810, dvs. innbyggertallet per 30.06.22, nesten 1/4 av Norges befolkning.

Myrene i Viken er truet som følge av en stor og økende befolkning med god kjøpekraft; en kombinasjon som fører til sterkt arealpress. Dette illustreres av store hytteutbygginger i områder med store myrrealer. Bare i Turufjell i Flå kommune vil trolig mer enn 1 km² med myr bli berørt som følge av utbygging av ca. 2 000 hytter/leiligheter (Bråten & Olsson 2020). Likevel er detaljkunnskap om hvor mye enkeltstående myrer i Viken lagrer av karbon, svært mangelfull. Det

er likevel velkjent at intakt høgmyr har store karbonlagre (Joosten et al. 2015; Lyngstad et al. 2015), slik som Bjørkemåsen i Nannestad kommune (Fig. 3) uten at dette er hensyntatt i planprosessen (Andersen & Moland 2022; Fjellengen 2022). Bjørkemåsen er en del av det som engang het Præstmosen som hadde et areal på 625 daa (Stangeland 1892). Præstmosen er gradvis gravd opp gjennom flere boligutbygginger, med store CO₂-utslipp som konsekvens. Det siste byggetrinnet pågår nå, og det er estimert at det totale CO₂-utslippet til slutt vil komme opp i 220-230 000 tonn CO₂e (Andersen & Moland 2022; Fjellengen 2022).



Figur 3. Bjørkemåsen i Nannestad kommune (august 2021), var en gang en stor høgmyr på 625 daa som het Præstmosen. Den er etter flere boligutbygginger i ferd med å forsvinne helt, med store CO₂-utslipp som konsekvens.

Framover ligger det an til at noe over 5 km² myr i Viken fylke vil gå tapt, dersom en legger sammen byggeplanene i kommuneplanene (arealdelen) til Viken-kommunene¹ – mye til hytteutbygging – med betydelige CO₂-utslipp og tap av biomangfold som følge. En kommuneplan varer i 12 år, men rulleres hvert fjerde år. Myrareal-beslaget utgjør 0,49 % av dagens myrareal i Viken. Dette arealtapet gir et CO₂-utslipp på mellom $8,6 \times 10^5$ tonn og $1,3 \times 10^6$ tonn, det vil si 0,9-1,3 millioner tonn CO₂. Dette utgjør nesten like mye som ett års full drift av Langskip-prosjektet – og det er veldig langt fra en bærekraftig arealutnyttelse!

¹ SABIMA, summert opp etter gjennomgang av kommuneplanene til Viken-kommunene våren 2022

En av de beste naturbaserte løsningene for å motvirke menneskeskapte klimaendringer er å ta vare på intakt myr og restaurere skadet myr (Bonn et al. 2016b; Anonymous 2018; Bradfer-Lawrence et al. 2021). Myr-økosystemet er svært sårbart. Det kan bli skadet selv om inngrepene ikke skjer i selve myra, men rundt myra slik at hydrologen til myra endres (Holden 2005). Selv om det ikke lenger er lov til ny-grøfting av myr med sikte på skogproduksjon eller nydyrking, går mye myr tapt ved andre inngrep, som veibygging, utbygging av vindkraft og ikke minst til hytteutbygging. Skal vi ha håp om å bekjempe klima- og naturkrise, må vi redusere og helst stanse nedbyggingen av myr (Anonymous 2022).

Metoder

For å beregne *karbonlageret* (C_{lager}) under et myrareal har jeg brukt følgende formel (Yu 2012):

$$C_{\text{lager}} = \text{Volum} \times \text{Volumvekt} \times C_{\text{kons.}}$$

Denne formelen gir karbonlageret som produktet av torvvolum, torvas volumvekt og torvas karbonkonsentrasjon, der torvvolumet er produktet av myras areal (1026,2 km²) og gjennomsnittlige torvdybde.

Etttersom jeg mangler detaljert informasjon om torvdybde, volumvekt og torvas karbonkonsentrasjon for myrarealet i Viken, var jeg nødt til å gjøre flere antagelser. For det første brukte jeg fordelingen mellom dyp (myr som er dypere enn 1 m) og grunn myr (grunnere enn 1 m) basert på datagrunnlaget fra Viken fylkeskommune (pers. medd. Stig Hvoslef, Viken fylkeskommune) basert på DMK (Digitalt markslagskart), se NIBIO (2022a) og (Geonorge 2022b, a). Dyp myr utgjorde 81 % (509,0 km²), mens grunn myr utgjorde 19 % (121,8 km²) i dette kartgrunnlaget.

Jeg lagde tre scenarier for karbonestimatet der jeg vektet fordelingen mellom grunn og dyp myr: (1) *Lavt volum*: gjennomsnittlig torvdybde 1,31 m – der jeg antar en torvdybde på 0,5 m for grunn myr og en torvdybde på 1,5 m for dyp myr; (2) *Middels volum*: gjennomsnittlig torvdybde 1,59 m – der jeg antar en torvdybde på 0,7 m for grunn myr og 1,8 m for dyp myr; (3) *Høyt volum*: gjennomsnittlig torvdybde 1,91 m – der jeg antar en torvdybde på 0,7 m for grunn myr og 2,3 m for dyp myr.

For de to andre faktorene som inngår i formelen for karbonalger, har jeg ingen opplysninger. Det vi vet er at volumvekta (Fig. 4) kan variere ganske mye i torv, gjerne med en faktor på 2-3, som funksjon av hvor omdannet torva er, typisk mellom 0,05 - 0,2 g/cm³ (Chambers et al. 2010; Chimner et al. 2014). Den er antatt å være rundt 0,068 g/cm³ for lite omdannet torv, 0,085g/cm³ for middels omdannet torv og 0,15 g/cm³ for sterkt omdannet torv (Grønlund et al.

2010). For å unngå å overestimere karbonlageret har jeg valgt å bruke verdier som ligger mellom 0,060 – 0.090 g/cm³.



Figur 4. Bruk av russerbor for å ta opp torvprøver for å bestemme volumtettheten på torva og karbonkonsentrasjonen. Bjørkemåsen i Nannestad kommune, august 2021.

Også for karbonkonsentrasjonen har jeg brukt data fra litteraturen. Den måles enten direkte, men oftere indirekte gjennom å bruke sammenhengen mellom organisk karbon og organisk materiale i torvprøver (Chambers et al. 2010). Enkelte har brukt en karbonkonsentrasjon på 52 % når de har estimert karbonlager over store geografiske områder (f.eks. Gorham 1991). I utregningene har jeg valgt å bruke verdier mellom 45 % og 52 % for å unngå å overestimere karbonlageret. Man kan regne om karbonverdiene til CO₂-ekvivalenter ved å multiplisere med 3,664 som er forholdstallet mellom molekylvekta til CO₂ og atomvekta til C.

Jeg har beregnet karbonlageret i myrene i Viken for tre ulike torvdybdescenarier (Lav, Middels, og Høy) der torvdybden (og volumet) holdes konstant mens verdiene for volumtetthet og karbonkonsentrasjon varierer tilfeldig mellom de valgte grenseverdiene. For hvert av tre torvdybdescenariene beregnet jeg så karbonlagret 1 000 ganger. Disse resultatene er vist i Fig. 2.

Litteratur

- Andersen, K. & Moland, I.A. 2022. *Boligutvikling på myrareal: et forskningsstudie basert på tap av naturlig karbonlager i myr*. BSc Thesis, Høgsk. Vestlandet, unpubl., Sogndal.
- Andersen, R., Farrell, C., Graf, M., Muller, F., Calvar, E., Frankard, P., Caporn, S. & Anderson, P. 2017. An overview of the progress and challenges of peatland restoration in Western Europe. *Rest. Ecol.* 25: 271-282.
- Anonymous 2016. Plan for restaurering av våtmark i Norge (2016-2020). *Miljødir. Rapp.* 644: 1-67.
- Anonymous 2018. Naturbaserte løsninger for klimautfordringer i nasjonal forvaltning. *Miljødir. Rapp.* 1088: 1-40.
- Anonymous 2019. *Stortingsmelding 33 (2019-2020). Langskip – fangst og lagring av CO₂*. Olje- og energidepartementet, Oslo.
- Anonymous 2020. Plan for restaurering av våtmark i Norge (2021-2025). *Miljødir. Rapp.* 1903: 1-70.
- Anonymous 2022. Faglig grunnlag for en strategi for å hindre nedbygging av myr. *Miljødir. Not.:* 1-49.
- Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. 2016a. Peatland restoration and ecosystem services: an introduction. In: Bonn, A., Joosten, H., Evans, M., Stoneman, R. & Allott, T. (eds.) *Peatland restoration and ecosystem services: science, policy and practice*, pp. 1-16. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bonn, A., Allott, T., Evans, M., Joosten, H. & Stoneman, R. 2016b. Peatland restoration and ecosystem services: nature-based solutions for societal goals. In: Bonn, A., Joosten, H., Evans, M., Stoneman, R. & Allott, T. (eds.) *Peatland restoration and ecosystem services: science, policy and practice*, pp. 402-417. Cambridge University Press, Cambridge.
- Bradfer-Lawrence, T., Finch, T., Bradbury, R.B., Buchanan, G.M., Midgley, A. & Field, R.H. 2021. The potential contribution of terrestrial nature-based solutions to a national 'net zero' climate target. *J. appl. Ecol.* 58: 2349-2360.
- Bryn, A., Strand, G.-H., Angeloff, M. & Rekdal, Y. 2018. Land cover in Norway based on an area frame survey of vegetation types. *Norsk geogr. Tidsskr.* 72: 131-145.
- Bråten, T.E.R. & Olsson, E.E. 2020. *Tapt karbonlagring i myr ved hytteutbygging på Turuffjell*. BSc Thesis, Høgsk. Vestlandet, unpubl., Sogndal.
- Chambers, F.M., Beilman, D.W. & Yu, Z. 2010. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics. *Mires Peat* 7: 7.
- Chimner, R.A., Ott, C.A., Perry, C.H. & Kolka, R.K. 2014. Developing and evaluating rapid field methods to estimate peat carbon. *Wetlands* 34: 1241-1246.
- Edvardsson, J., Helama, S., Rundgren, M. & Nielsen, A.B. 2022. The integrated use of dendrochronological data and paleoecological records from northwest European peatlands and lakes for understanding long-term ecological and climatic changes—a review. *Front. Ecol. Evol.* 10: 781882.
- Erb, K.-H., Kastner, T., Plutzer, C., Bais, A.L.S., Carvalhais, N., Fetzel, T., Gingrich, S., Haberl, H., Lauk, C., Niedertscheider, M., Pongratz, J., Thurner, M. & Luysaert, S. 2018. Unexpectedly large impact of forest management and grazing on global vegetation biomass. *Nature* 553: 73-76.
- Fjellengen, M.S. 2022. *Bjørkemåsan – myr til karbonlagring eller boligområde?* MSc Thesis, Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap (FIN), Høgskulen på Vestlandet, Sogndal, unpublished.
- Flatberg, K.I. 2013. *Norges torvmoser*. Akademika, Trondheim.

- Geonorge 2022a. Markslag (Digitalt Markslagskart - DMK). In, <https://register.geonorge.no/register/versjoner/produktark/norsk-institutt-for-biookonomi/markslag-digitalt-markslagskart-dmk>.
- Geonorge 2022b. Digitalt markslagskart (DMK) - Historisk datasett. In, <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/digitalt-markslagskart-dmk-historisk-datasett/ee64e4fb-70b2-485f-9d98-cec0b7d41deb>.
- Gorham, E. 1991. Northern peatlands: role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. *Ecol. Appl.* 1: 182-195.
- Grønland, A., Bjørkelo, K., Hysten, G. & Tomter, S. 2010. CO₂-opptak i jord og vegetasjon i Norge. Lagring, opptak og utslipp av CO₂ og andre klimagasser. *Bioforsk Rapp.* 5: 1-40.
- Hagen, D., Aarrestad, P.A., Kyrkjeeide, M.O., Foldvik, A., Myklebost, H.E., Hofgaard, A., Kvaløy, P. & Hamre, Ø. 2015. Myrrestaurering 2015. Etablering av overvåkingsmetodikk for vegetasjon og grunnlagsanalyse før restaureringstiltak på Kaldvassmyra, Aurstadmåsan og Midtfjellmosen. *Norsk Inst. Naturforsk. Rapp.* 1212: 1-43.
- Holden, J. 2005. Peatland hydrology and carbon release: why small-scale process matters. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A.* 363: 2891-2913.
- Joosten, H., Barthelmes, A., Couwenberg, J., Hassel, K., Moen, A., Tegetmeyer, C. & Lyngstad, A. 2015. Metoder for å beregne endring i klimagassutslipp ved restaurering av myr. *Norg. tekn.-naturvit. Univ. VitenskMus. NatHist. Rapp.* 2015: 1-83.
- Kreyling, J., Tanneberger, F., Jansen, F., van der Linden, S., Aggenbach, C., Blüml, V., Couwenberg, J., Emsens, W.-J., Joosten, H., Klimkowska, A., Kotowski, W., Kozub, L., Lennartz, B., Liczner, Y., Liu, H., Michaelis, D., Oehmke, C., Parakenings, K., Pleyl, E., Poyda, A., Raabe, S., Röhl, M., Rücker, K., Schneider, A., Schrautzer, J., Schröder, C., Schug, F., Seeber, E., Thiel, F., Thiele, S., Tiemeyer, B., Timmermann, T., Urich, T., van Diggelen, R., Vegelin, K., Verbruggen, E., Wilmking, M., Wrage-Mönnig, N., Wołajko, L., Zak, D. & Jurasinski, G. 2021. Rewetting does not return drained fen peatlands to their old selves. *Nature Commun* 12: 5693.
- Loisel, J., van Bellen, S., Pelletier, L., Talbot, J., Hugelius, G., Karran, D., Yu, Z., Nichols, J. & Holmquist, J. 2017. Insights and issues with estimating northern peatland carbon stocks and fluxes since the Last Glacial Maximum. *Earth-Sci. Rev.* 165: 59-80.
- Loisel, J., Gallego-Sala, A.V., Amesbury, M.J., Magnan, G., Anshari, G., Beilman, D.W., Benavides, J.C., Blewett, J., Camill, P., Charman, D.J., Chawchai, S., Hedgpeth, A., Kleinen, T., Korhola, A., Large, D., Mansilla, C.A., Müller, J., van Bellen, S., West, J.B., Yu, Z., Bubier, J.L., Garneau, M., Moore, T., Sannel, A.B.K., Page, S., Väliiranta, M., Bechtold, M., Brovkin, V., Cole, L.E.S., Chanton, J.P., Christensen, T.R., Davies, M.A., de Vleeschouwer, F., Finkelstein, S.A., Frohling, S., Gałka, M., Gandois, L., Girkin, N., Harris, L.I., Heinemeyer, A., Hoyt, A.M., Jones, M.C., Joos, F., Juutinen, S., Kaiser, K., Lacourse, T., Lamentowicz, M., Larmola, T., Leifeld, J., Lohila, A., Milner, A.M., Minkinen, K., Moss, P., Naafs, B.D.A., Nichols, J., O'Donnell, J., Payne, R., Philben, M., Piilo, S., Quillet, A., Ratnayake, A.S., Roland, T.P., Sjögersten, S., Sonnentag, O., Swindles, G.T., Swinnen, W., Talbot, J., Treat, C., Valach, A.C. & Wu, J. 2021. Expert assessment of future vulnerability of the global peatland carbon sink. *Nature Clim. Change* 11: 70-81.
- Lyngstad, A., Barneveld, R., Grønland, A., Hassel, K. & Weldon, S. 2015. Kartlegging av vegetasjon og torvmengder i Sætremyrane naturreservat. Forslag til overvåking og restaurering. *Norg. tekn.-naturvit. Univ. VitenskMus. NatHist. Rapp.* 2015: 1-37.
- Lyngstad, A. & Vold, E.M. 2015. Kartlegging av typisk høgmyr ved hjelp av flybilder. Østfold, Akershus og sørlige deler av Hedmark. *Norg. tekn.-naturvit. Univ. VitenskMus. NatHist. Rapp.* 2015: 1-193.
- Moen, A. 1998. *Nasjonatlas for Norge: Vegetasjon*. Statens Kartverk, Hønefoss.

- Moen, A., Lyngstad, A. & Øien, D.-I. 2011. Kunnskapsstatus og innspill til faggrunnlag for oseanisk nedbørmyr som utvalgt naturtype. *Norg. tekn.-naturvit. Univ. VitenskMus. Rapp. bot. Ser.* 2011: 1-72.
- NIBIO 2022a. Dokumentasjon av DMK. In, <https://www.nibio.no/tjenester/nedlasting-av-kartdata/dokumentasjon/dmk>.
- NIBIO 2022b. Arealbarometer for Viken. In, <https://arealbarometer.nibio.no/nb/fylker/viken/>.
- Stangeland, G.E. 1892. Torvmyrer inden kartbladet "Nannestads" omraade. *Norg. geol. Unders.* 8: 1-67.
- Statistisk_Sentralbyrå 2022. Statistikkbanken. Areal av land og ferskvann. In, <https://www.ssb.no/statbank/table/09280/tableViewLayout1/>.
- Xu, J., Morris, P.J., Liu, J. & Holden, J. 2018. PEATMAP: Refining estimates of global peatland distribution based on a meta-analysis. *Catena* 160: 134-140.
- Yu, Z., Loisel, J., Brosseau, D.P., Beilman, D.W. & Hunt, S.J. 2010. Global peatland dynamics since the Last Glacial Maximum. *Geophys. Res. Letters* 37: L13402.
- Yu, Z.C. 2012. Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences* 9: 4071-4085.
- Yu, Z.C., Joos, F., Bauska, T.K., Stocker, B.D., Fischer, H., Loisel, J., Brovkin, V., Hugelius, G., Nehrbass-Ahles, C., Kleinen, T. & Schmitt, J. 2021. No support for carbon storage of > 1,000 GtC in northern peatlands. *Nature Geosci.* 14: 465-467.