

Notat

Opgørelse af kulstoflagring ift. guidelines	Ansvarlig	hevp
	Oprettet	23-09-2026
	Side	1 af 14
Projekt: 101345 Klima i hele værdikæden		

Kulstoflagring

Termen 'Kulstoflagring' kan i den aktuelle sammenhæng være lidt misvisende, da den implicerer en forståelse af, at der er tale om opbygning, en øgning, af jordens indhold af organisk kulstof, Soil Organic Carbon (SOC). Det er i forhold til klimaeffekt nok mere rigtigt at tale om 'ændringer i jordens indhold af SOC'.

Opgørelse af klimaeffekt ved ændringer i jordens indhold af SOC, har længe været en varm kartoffel, hvilket i hovedsagen skyldes to forhold: 1. SOC varierer meget hen over arealer og ændringer sker langsomt - begge dele gør det vanskeligt at konstatere ændringer gennem målinger. 2. Klimaeffekten af et øget indhold af SOC er vanskelig at isolere til det enkelte år, i det SOC-puljens stigning det ene år, kan efterfølges af et tab året efter. Dette vanskeliggør inkludering af SOC-opbygning i regnskab med andre poster, som kan antages permanente i eks. 100-årigt perspektiv.

Kvantificering af ændringer i jordens SOC-indhold og klimaeffekten heraf er interessant/nødvendig i flere forskellige sammenhænge:

1. Virksomheders opgørelse og rapportering af drivhusgasudledninger og -fjernelser fra arealrelaterede aktiviteter på tværs af virksomhedens egne aktiviteter og værdikæde. Det kunne eksempelvis være ændringer i SOC hos landmandsleverandører som en effekt af produktionen af produkter (mælk, korn, kød, o.a.) leveret til virksomheder som Arla, Danish Crown, KMC.
2. Opgørelse af produktspecifikke/livscyklusbaserede klimaaftryk. Det kunne eksempelvis være klimaaftryk på fodermidler eller afgrøder til bioenergi.

Guidelines, metodevejledning og direktiv

1. Land Sector and Removal Guidance (LSR)

LSR er en udbygning af GHG Protocol's 'Corporate Standard' og 'Scope 3 Standard'. Den er primært udviklet til virksomheders opgørelse og rapportering af drivhusgasudledninger og -fjernelser fra arealrelaterede aktiviteter på tværs af virksomhedens egne aktiviteter og værdikæde. Standarden er ikke primært en metode til certificering af CO₂-fjernelser, men indeholder krav til, hvordan fjernelser kan kvantificeres og rapporteres. [Land Sector and Removals Guidance, version 1.0](#)

'Tier LSR' vs 'Tier IPCC'

Guidelinen stiller markant forskellige krav alt efter om man ønsker at rapportere 'removals' eller ej. 'Removals' eller fjernelse vil sige, at den dyrkningspraksis, som anvendes på det pågældende areal, fører til, at SOC-indholdet i jorden øges - altså en netto-fjernelse af CO₂ fra atmosfæren til jorden. Det første spørgsmål en virksomhed således bør stille sig selv ift. rapportering af ændringer i SOC efter LSR guiden er, hvorvidt man ønsker at rapportere 'Removals'. Det vil sandsynligvis kun være tilfældet, hvis forretningen er bygget op omkring dyrkningspraksis, som kan forventes/giver en SOC-opbygning iflg. modeller. Det kunne være produktion efter regenerative principper eller andet, hvor man i produktionen overgår til den ny praksis.

Krav og mulige fremgangsmåder hvis man ikke ønsker at rapportere 'Removals':

Antag ingen ændring.

Det kræves, at arealet skal have været dyrket landbrugsmæssigt de seneste 20 år - altså ingen 'land use change'. Desuden må der ikke være sket driftsmæssige ændringer i rapporteringsåret eller 3 år bagud, som kan have indvirken på SOC. Driftsmæssige ændringer: Sædskifte, jordbearbejdningens intensitet, håndtering af overjordiske rester, gødning, vanding, modifikationer af jorden i form af dræning eller nivellering.

- *Companies assuming no change in soil carbon stocks in the reporting year need to demonstrate that land management activities that have the potential to impact soil carbon are not occurring in the reporting year on relevant lands. If any land management activities may impact DOM carbon, then companies should collect the necessary data to account for the DOM carbon stock change.*
- *The 20-year default LUC assessment period for LUC emissions accounting is derived from the default period used by the IPCC for carbon stocks on land to reach equilibrium after conversion.¹¹ Additionally, although LUC emissions are generally released to the atmosphere quickly following conversion, a land use conversion can enable continuous agricultural production for many years following the conversion event. Therefore, allocating all emissions from a LUC event in the year it occurs, and zero emissions to activities in subsequent years, would be inappropriate from both a physical and accounting perspective.*
- *Croplands on mineral soils where there is no conversion of land from other uses to agricultural production, where the land has been under cultivation for at least 20 years, and where no management practice changes that have the potential to impact soil carbon have occurred in the reporting year.*
- *Pasturelands or grasslands on mineral soils where there is no conversion of land from other uses to agricultural production, where the land has been grazed for at least 20 years, and where no changes have occurred to grazing intensity or other practices that have the potential to impact soil carbon in the reporting year.*
- *Settlements on mineral soils where there is no conversion of land from other uses, and where no soil excavation or trenching has occurred during the reporting period.*
- *Other lands on mineral soils where there is no conversion of land from other uses.*

Modeller ændringer i SOC

Hvis ikke man mener at kunne antage 'Ingen ændring', skal man anvende en metode til at estimere SOC ændringer. Der er stor metodemæssig frihed (Tier 1 - 3), men der skal tilstræbes at anvende den mest nøjagtige metode, som datatilgængeligheden og sporbarheden i værdikæden tillader.

- *Companies should use the most accurate, complete, and representative data available*

Hvis modelleringen viser emissioner rapporteres disse, mens der rapporteres 0 i emissioner, hvis modelleringen viser 'Removal'/optag af SOC.

- *No emissions: If carbon stocks increase, companies can choose to report zero emissions and are not subject to comply with removals requirements (as long as they report zero removals as well)*

Metoder:

Tier 1 (Globale standardfaktorer):

IPCC's globale standardfaktorer for SOC-indhold på regionsniveau, land use, jordbearbejdningens intensitet og C-input niveau i før/efter situation giver SOC-ændring.

Anvendelse: Kan kun benyttes, når sporbarheden i værdikæden er begrænset (f.eks. på globalt eller nationalt Scope 3-niveau)

Kræver minimal indsats/data, men er sandsynligvis ikke særligt retvisende.

- Tier 1 soil carbon stock change factors attribute an average soil carbon gain or loss expected from agricultural management practices and can be used to estimate net soil carbon stock change on lands of a given soil type. Tier 1 factors should only be used when the scope 3 spatial boundary is set at a national jurisdiction level or broader, or no more granular data are available. When companies set a more granular scope 3 spatial boundary, and where national or subnational management-specific data are available, Tier 2 factors should be used.

Tier 2 (Lande- og regionspecifikke faktorer):

Metoden er som Tier 1, men med regionale eller nationale faktorer.

Anvendelse: Bør anvendes, når virksomheden har etableret sporbarhed til en specifik subnational region eller sourcing-region, og der findes regionale data.

Faktorerne skal afspejle regionale/nationale jordbunds- og klimaforhold samt specifikke dyrkningssystemer.

- *Tier 2 soil carbon stock change factors assign a soil carbon gain or loss factor expected from agricultural management practices applied in national or subnational contexts by accounting for specific regional soil properties and conditions (e.g., weather and climate variation).*

Faktorer kan hentes fra fagfællebedømt litteratur, nationale databaser eller det pågældende lands officielle National Inventory Report (NIR) til UNFCCC.

- *For companies that pursue Tier 2 approaches, carbon stock change factors (i.e., emission factors) should be based on peer-reviewed literature specific to the region, the production and management systems being assessed, soil types, default or reference carbon stocks, default or specified soil depth, and default or specified time dependence of the stock change factors.⁷ Factors can be generated through literature review and meta-analysis of observations from research plots or from meta-modeling approaches across soil carbon models to simulate potential soil carbon changes based on a range of management assumptions for a given region. For some regions and countries, national databases and guidance on soil carbon estimation may be available. The National Inventory Report (NIR) submitted annually to the UNFCCC (Section 6.3 of the NIR)⁸ may contain such information. These values are peer-reviewed and externally verified by the UNFCCC through their Expert Review Team (ERT) annually*

Tier 3 (Modelbaserede, målingsbaserede eller hybridtilgange):

Her anvendes procesbaserede modeller og/eller målinger og remote sensing. Den naturlige fremgangsmåde vil være direkte at anvende leverandør/primærdata (f.eks. på markniveau) ..

Hvis der bruges procesbaserede bio-geokemiske modeller (f.eks. DayCent eller DNDC), skal modellen dokumenteres som egnet til den specifikke region, jordtype og driftspraksis.

De estimerede værdier bør ikke falde uden for usikkerhedsintervallerne for IPCC Tier 1-estimer

- Model-based approaches use mathematical relationships between multiple input variables (e.g., temperature, precipitation, vegetation type, management practices, etc.) and fixed parameters (i.e., calibration factors) to estimate annual net land carbon stock changes across land-based carbon pools. When evaluating and selecting a model to estimate land carbon stock changes, evidence should be provided that the underlying data and assumptions of the model are appropriate for the relevant area of analysis within a given spatial boundary (e.g., model parameters fall within uncertainty ranges in peer-reviewed literature), the model predictions are more accurate than the results derived from factor-based calculation approaches (e.g., disclosing statistical accuracy metrics pertaining to model validation), and the predicted values do not fall outside the uncertainty ranges provided by IPCC Tier 1 estimates.

Modellen skal kalibreres med repræsentative måledata

- *Further, modelling requires periodic calibration against measured values and updating of supporting environmental data.*

Vælges direkte feltmålinger, skal prøveudtagningen følge en repræsentativ sampling-protokol (med stratificering af arealet),).

- A sampling protocol can be used to measure soil carbon stock change on a select portion of the land area contributing to the overall net soil carbon stock change. Companies should follow an established sampling protocol that accounts for variation of important environmental factors and that stratifies the total land area included in the analysis to ensure that sample measurements are representative of the given spatial boundaries

Målingerne skal korrigeres for ækvivalent jordmasse/bulk density

- *Bulk density (i.e., the mass of soil per volume) is necessary to calculate the soil carbon stock for a given land area or stratum. Analytical measurements provide the concentration of carbon in a sample.*

Laboratorieanalysen skal udføres som elementæranalyse (tør forbrænding

- *...the true carbon content of test samples as measured via elemental analysis.*

Udvalgte krav ved rapportering af 'Removals' fra kulstoflagring (opbygning af SOC):

Nedenfor gennemgås de væsentligste af LSR guidens krav, hvis der vælges at rapportere 'Removals'

Jordprøver

- Der er krav om målinger på jordprøver taget ned til min. 30 cm efter standard protokol.
Data specific to sinks and pools: Companies shall account for and report removals only if net carbon stock changes are accounted for using empirical data specific to the sinks and pools where carbon is stored in the reporting company's operations or value chain.
- SOC skal analyseres ved tørforbrændning eller MIR-spektroskopi + 20% prøver ved tørforbrændning.
More recently, methods such as non-destructive soil spectroscopy have been developed. These newer methods can be advantageous because of their lower per-sample costs;

however, the algorithms essential to their implementation require extensive calibration, and concerns remain about the comparability of results generated using different spectroscopy instruments. Currently, there are no consensus methods or training datasets that would ensure comparability of results across laboratories/projects.

If soil spectroscopy is used as a measurement approach, samples should be thoroughly dried, ground, and analyzed at a single lab. Mid-infrared instrumentation (as opposed to visual and near-infrared methods) should be used, and the methods and training datasets used to generate estimation algorithms must be thoroughly documented, including the sharing of statistical source code and raw data (Soriano-Disla et al. 2014). Further, at least 20 percent of the samples, randomly chosen, should also be measured using elemental analysis to calibrate any soil spectroscopy protocols.

- Ækvivalent jordmasse-metoden skal anvendes. Her relateres mængden af SOC til en mængde jordmasse uden SOC og ikke som sædvanligvis til en fast prøvedybde. Dette kræver bulk density målinger og jordprøver taget lagdelt, eks. 0-10 cm, 11-20 cm, 21-30 cm, osv.
- Genmåling efter 5 år i samme punkter som i år 0.
Companies shall resample using consistent methods at least every five years to estimate carbon stock changes using measurement-based approaches or to calibrate model-based or remote sensing– based approaches
- Omfang af jordprøver skal være passende (...!) ift. variationen i både naturgivne og managementmæssige forhold.
shall be based on a sampling scheme and sufficient sample size that is representative of the variation due to both natural factors (e.g., climate, vegetation, soil type, topography, etc.) and management factors (e.g., plantation forest age classes, prescribed fire management, cropping systems, tillage practices, etc.) throughout all attributable productive lands included in the sourcing region.

Modellering

- Modellering ved procesbaseret SOC-model (tier 3) af årlige ændringer i SOC. Skal løbende kalibreres (...!) og re-kalibreres (...!) med måleprøverne.
Model accuracy is variable and depends on the robustness of the model, calibration of the fixed parameters to the particular application, and the accuracy of the input variables. For example, if a model is applied in a new agroclimate regime for which it was not previously calibrated, the modelling results may not be reliable. Companies that use model-based approaches to estimate annual (or annualized) net land carbon stock changes should report the uncertainty range and regularly update the model based on resampling of measured land carbon stock changes, at a minimum every five years. This resampling frequency is required if companies use such estimates to account for land management CO2 removals (see Requirement 21.LMR).

Andet

- Usikkerheder skal kvantificeres og spille ind i, at man giver et konservativt estimat for 'Removals'.
- Fysisk sporbarhed af areal der afrapporteres for.
- Afgrænsning af areal kan være på bedrifts-, mark eller 'sourcing-region' niveau.
- Skriftlig tilladelse til at rapportere optagelsen fra jordejer.
- Udarbejdelse af overvågningsplan.
- Rapportér 'Reversals' (tab/emissioner) hvis areal med tidligere removals ikke længere er i 'kæden'.

2. PEFCR - opgørelse af SOC-ændring vil baseres på CRCF

PEFCR-metodevejledningen skal anvendes, når man laver en PEF/LCA-baseret miljøopgørelse for et produkt, hvor der findes en relevant PEFCR for produktkategorien.

Vi kender ikke de kommende, forsinkede, nye PEFCR guides, men de vil blive baseret på EU's CRCF guidelines for carbon farming. Det vil sige, at kravene til opgørelsesmetoder, data og dokumentation kommer til at ligne LSR guiden ved rapportering af 'Removals'.

Fokus i CRCF guiden er at dokumentere og kvantificere den SOC-opbyggende effekt af en aktivitet (ændret praksis). Til dette ser man på ny-drift situationen og før-situationen: Base line. Her adskiller CRCF sig fra LSR og REDIII (og PEFCR...?), hvor fokus er at kvantificere udviklingen i SOC under den aktuelle drift/produktion på det aktuelle areal.

3. RED III direktiv

EU Directive 2023/2413: Renewable Energy Promotion and Decarbonization Framework

KOMMISSIONENS GENNEMFØRELSESFORORDNING (EU) 2022/996

RED III er relevant når man beregner drivhusgasbesparelser for biobrændstof under EU's Renewable Energy Directive, dvs. når afgrøder indgår i bioenergi.

Der er tilsyneladende en asymmetrisk behandling af positive SOC-stock ændringer (opbygning/removal) og negative ændringer (emissioner): Positiv SOC-akkumulering kan give en særskilt 'e_sca'-emissionsbesparelse, mens et tilsvarende SOC-tab tilsyneladende ikke indgår nogen steder (**OBS!! Kan det virkelig være rigtigt?!**). 'e_sca' er RED III's emissionsbesparelse fra akkumulering af kulstof i jorden gennem 'forbedret landbrugsforvaltning' (soil carbon accumulation).

Opgørelse af e_sca-emissionsbesparelse (ændringer i jordens SOC) kan under REDIII kun dokumenteres ved direkte målinger. En indledende og efterfølgende regelmæssigt.

Jordprøver:

Kun jordprøver.

- *Measurements of soil carbon can constitute such evidence, e.g. by a first measurement in advance of the cultivation and subsequent ones at regular intervals several years apart*

Jordprøvetagningens omfang er mindst en prøve af 15 stik pr 5 ha, 0-30 cm.

- *b) Der udtages mindst én stikprøve på 15 velfordelte delprøver pr. 5 ha eller pr. mark, alt efter hvad der er mindst (under hensyntagen til områdets heterogenitet).*

Marker kan grupperes.

- *c) Mindre marker med samme klimaforhold, jordtype, referencelandbrugspraksis og e_sca - praksis kan grupperes.*

Prøvetagningstidspunkt søges upåvirket af dyrkning,

- *d) Prøveudtagningen skal finde sted enten om foråret før jorddyrkning og gødskning eller om efteråret mindst 2 måneder efter høsten.*

Bulk density skal bestemmes og tages højde for i SOC-stock-beregninger

- *Der skal tages hensyn til ændringer i massefylden over tid. Massefylden måles ved hjælp af bankemetoden, dvs. ved mekanisk at banke en cylinder ned i jorden, hvilket i høj grad reducerer de fejl, der er forbundet med måling af massefylden. Hvis bankemetoden ikke er mulig, især i sandjord, skal der i stedet anvendes en pålidelig metode. Prøverne skal oven- tørres inden vejning.*

Prøveopbevaring i 5 år ved

- *For at fremsætte erklæring om emissionsbesparelser fra akkumulering af kulstof i jorden via landbrugsforvaltning, e_sca, skal målinger af kulstoflagre i jorden udføres af certificerede laboratorier, og prøverne skal opbevares i en periode på mindst fem år med henblik på kontrol.*

Modellering:

Modellering er primært (kun?) relevant mellem den 1. og 2. måling. Modelkrav ikke nærmere specificeret.

- *In such a case, before the second measurement is available, increase in soil carbon would be estimated on the basis of representative experiments or soil models.*

Mellem 1. og 2. måling: Efter at den første reference-måling (CS_R) er gennemført i marken, må stigningen i jordens kulstofindhold estimeres ved hjælp af jordmodeller (eller repræsentative forsøg), indtil den anden måling foretages¹.

Efter 2. måling: Modeller må kun anvendes til at vurdere den årlige stigning frem mod den næste måling, hvis de anvendte modeller er kalibreret på grundlag af de faktiske målte reelle værdier. Fra og med den anden måling udgør selve målingerne det endelige grundlag.

Godkendelse af frivillige ordninger: Økonomiske aktører må udelukkende anvende modeller, som er godkendt og valideret af en anerkendt frivillig ordning.

Modellerne skal simulere kulstofdynamikken i jorden ved at tage højde for de specifikke jordbundsforhold, klimafaktorer og markforvaltningshistorik (herunder historik for jordbearbejdning og kulstoftilførsel til jorden).

Opsamling.

LSR, den CRCF-baserede PEFCR-tilgang og REDIII har alle overordnet en fælles metodisk "high-evidence" pathway, når man vil kvantificere/rapportere/anvende en faktisk SOC-removal: empiriske data, stratificering, måling/model (Tier 3), usikkerhedsanalyse og håndtering af permanens. LSR adskiller sig ved samtidig at have en langt mindre omfattende metodevalgsmulighed, hvis der ikke reporteres SOC-opbygning (removals).

Opgørelse af jordens organiske kulstofindhold

Bemærkninger

Bemærkning 1

I LSR, REDIII og PEFCR/CRCF går 'Kalibrering' igen, når der beskrives anvendelsen af modeller. Formuleringen antyder, at den anvendte model skal kalibreres på baggrund af de målte værdier. Det må antages, at man her faktisk mener, at model-resultaterne evalueres op mod de målte værdier, da en egentlig kalibrering på denne baggrund ikke giver mening. Det vurderes, at man derfor i første omgang/her kan se bort fra dette krav.

Bemærkning 2

I LSR, REDIII og PEFCR/CRCF går 'Stratificering' igen. Hermed menes, at arealet, som opgørelsen omhandler, kan deles ind i relevante grupper på baggrund af forskelle/ligheder i klimatiske, geografiske, dyrkningsmæssige, eller teksturmæssige forhold. Hver gruppe kan herefter håndteres som en enhed ift. eks. afdækning med jordprøver eller modellering.

For en opgørelse i Danmark vil en stratificering nok oftest kunne handle om at inddele ift. jordtyper - som også i de fleste tilfælde vil følge en inddeling efter klima.

Fremgangsmåder

Antag ingen ændring under LSR

Krav om at der på det pågældende areal ikke har været land use change indenfor de foregående 20 år: Kan dokumenteres med ortofotos fra 20 år tilbage.

Krav om ingen SOC-betydende managementmæssige ændringer i rapporteringsåret eller 3 år forud: For at 'ingen ændring' kan dokumenteres med dyrkningsjournaler, må man skulle kende dyrkningspraksis i en periode forud. Her kunne man eventuelt gå med 10 års dyrkningsjournaler.

Det er nok lidt en forudsætning, at det er komplette dyrkningsjournaler og ikke 'blot' et gennemsnitligt udtræk fra MO.

Modellering, IPCC Tier 1, LSR

Tier 1, 2019 Refinements to the 2006 IPCC, v 4, ch. 2 & 5

Modellen

Modellen antager, at SOC-puljen er i ligevægt med den givne managementpraksis.

Beregning af den samlede SOC-pulje for et areal:

$$\text{SOC} = \text{SOC_REF} \times \text{FLU} \times \text{FMG} \times \text{FI} \times \text{A}$$

SOC_REF: En reference-SOC-pulje (ton C/ha) i de øverste 30 cm bestemmes ud fra jordtype (antal: 6) og klimaregion (antal: 9).

FLU: En standardfaktor baseret på arealanvendelse (antal: 5), klimaregion (antal: 3) og fugtighedsregime (antal: 3).

FMG: En standardfaktor baseret på jordbearbejdning (3), klimaregion (4) og fugtighedsregime (3).

FI: En standardfaktor baseret på inputniveau (4), klimaregion (4) og fugtighedsregime (3).

A: Areal, ha.

Ændring i management

Hvis der ikke sker en ændring i management, beregnes blot SOC-puljen under den aktuelle drift. Der beregnes således hverken et tab eller en removal.

Hvis management ændres, beregnes den forventede SOC-pulje ved ligevægt under den nye management.

Forskellen i SOC-pulje før og efter ændringen beregnes og omregnes til et årligt tab eller en årlig removal ved at dividere forskellen med 20 år – den antagne tid til at nå en ny ligevægt.

$$\Delta\text{SOC} = (\text{SOC}_0 - \text{SOC}_{0-t})/20 \text{ år}$$

Begrænsninger

- Opfylder ikke kravene i LSR til rapportering af removals.
- De beregnede SOC-puljer er usikre og vil meget sandsynligt ikke repræsentere de faktiske SOC-puljer i værdikæden.
- Vanskelig at anvende ved ændringer i praksis eller ved kontinuerligt ændret management.

Fordele

- Simpel.
- Det er muligt at inddrage centrale managementpraksisser i beregningen - i praksis måske svært at putte bedrifter/management i faste kategorier.

C-input (FI) er opdelt i fire kategorier:

- Lavt: afgrøderester/halm fjernes.
- Middel: afgrøderester/halm efterlades.
- Højt uden husdyrgødning: efterafgrøder og/eller andre ekstra C-inputs.
- Højt med husdyrgødning: husdyrgødning samt efterafgrøder og/eller andre ekstra C-inputs.

Jordbearbejdning (FMG) er opdelt i tre kategorier:

- Pløjning/intensiv jordbearbejdning.
- Reduceret jordbearbejdning.
- Ingen

Bemærkning:

- Hvis man skal tilstræbe bedst mulige/mest korrekte beregninger, så kan metoden med rene IPCC-værdier være svær at forsvare under danske forhold.

Fremgangsmåde:

1. Det aktuelle areal kortlægges og inddeles (stratificeres) ift. faktorerne kategorier.
2. Det skal kortlægges/vurderes om dyrkningspraksis (jordbearbejdning og C-input) har ændret indenfor de seneste 20 år.
3. SOC_REF (SOC_{0-t}) beregnes for praksis 20 år tilbage.
4. SOC₀ beregnes for aktuel praksis.
5. Årlig stock change beregnes.
6. Gentages hvert år: Mellemliggende praksisændringer kommer ind via 'SOC_REF (SOC_{0-t}) beregnes for praksis 20 år tilbage'.

Modellering, eks. IPCC Tier 2, LSR

Tier 2, 2019 Refinements to the 2006 IPCC, v 4, ch. 2 & 5

I LSR anvendes Tier-begrebet lidt anderledes end hos IPCC. Hos IPCC går Tier mest kompleksiteten af modeller, mens det i LSR guiden (også) går på data-niveauet. Anvendelse af IPCC Tier 1 modellen (beskrevet ovenfor) med lande- eller regionsspecifikke faktorer og SOC_REF beskrives således som en Tier 2 beregning.

Fordele:

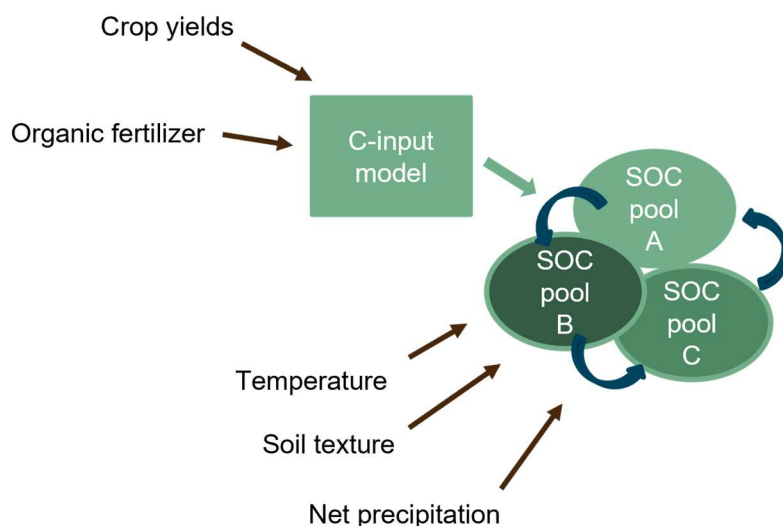
- Potentielt mere troværdige tal

Begrænsninger:

- Ingen landsspecifikke faktorer for Danmark og mange andre lande (?).
- Stort arbejde selv at ulede faktorer fra litteraturen.

Modellering, IPCC Tier 3, LSR uden rapportering af 'Removals'

Der foretages en modellering af udviklingen i jordens SOC med en proces-baseret model som C-TOOL, Yasso, RothC, DayCent eller DNDC. I figuren nedenfor er opbygningen af denne type modeller vist. Alle modellerne kræver et estimat på det årlige C-input til jorden fra organisk gødning og afgrøderester. Dette er imidlertid ikke alle modeller, som har en egen del-model til dette.



Figur XX: Generel opbygning af proces-baseret SOC-model.

Modellerne findes alle i forskellige programpakker i forskelligt kodesprog. C-TOOL er udgivet i en R-pakke, som anvendes i projekt '101203 Bæredygtig forvaltning af jordens kulstofpulje'. C-TOOL er også tilgængelig hos SEGES i en Excel-version.

Alle marker har en unik historik ift. afgrøde, udbytter og tekstur, derfor er den naturlige enhed at modellere 'markniveau', men i praksis vil det nok være et stratum - også ved rapportering af 'removals'.

Typiske SOC-model tier 3 datakrav:

- Afgrødeudbytter: Standardværdier eller målte værdier
- Skæbne for biprodukter: Efterladt/fjernet
- C tilført med organisk gødning: Standardværdi eller målt indhold
- C-indhold i jorden: Jordprøver eller kort
- Nedbør: Regionsspecifik nettonedbør
- Temperatur: Månedlige middelværdier
- Jordens tekstur/lerindhold
- Dyrkningshistorik: Historik tilbage i tid

Fremgangsmåde ved danske forhold med C-TOOL-modellen:

1. Der laves en stratificering for arealet, der modelleres for. Jordtype vil være et naturligt øverste lag. Herunder vil man se på 'typiske' sædskifter, som et andet lag.
Eller

Der tages udgangspunkt i faktiske data på markniveau, hvis disse findes og er komplette.

2. Der skabes en historik for de aktuelle marker eller strata.
3. Registrerede udbytter eller normudbytter pr jordtype kobles til historik.
4. Der laver nogle antagelser om frekvens af efterafgrøder og mængder af husdyrgødning, hvis ikke der findes registreringer af dette.
5. Der skabes et datasæt med aktuelle temperaturdata eller normklimadata. OBS. Hvordan dækkes strata..?
6. Der trækkes et gennemsnitligt SOC indhold i overjord fra nye teksturkort for hvert stratum.
7. Modellerer for 20 år frem til i dag med C-TOOL og lader modelleringen ende i 'aktuel' SOC fra teksturkort.
8. Beregner en ændring pr det seneste modellerede år og summerer for hele arealet.

Fordele:

- Mere retvisende data end ved tier 1 og tier 2 metode.
- Bedre afspejling af faktisk management.

Udfordringer:

- Sammenfletning af registreret aktivitetsdata og antaget aktivitetsdata
- Kendskab til de enkelte modeller og tilhørende kodning

Modellering, IPCC Tier 3, LSR med rapportering af 'Removals'

Først og fremmest kan modellering af SOC-udvikling ikke stå alene, men skal suppleres af målinger i jordprøver, mindst hvert 5 år.

Fremgangsmåde for modellering ved danske forhold med C-TOOL-modellen:

Som ovenfor, men med håndtering af følgende yderligere krav til modelleringen af SOC-ændringer ved rapportering af removals:

- Start SOC-indhold bestemmes ved jordprøver
Prøver skal repræsentere arealet...:

The first step in a measurement-based approach is to determine where to collect samples and how many to collect. The sample design and size should ensure adequate power to detect statistical significance and should be consistent with land management plans to inform other soil sampling objectives (e.g., nutrient management, soil pH, soil health, or other sampling requirements specified by related GHG programs).

Statistical methods like k-means clustering combined with point randomization or conditional Latin hypercube sampling can be used to generate a set of sampling points based on factors that are known to affect soil carbon, like soil mineralogy, soil texture, vegetation, and climate.

It is important to follow a field sampling protocol for measuring soil carbon stocks. For instance, standard operating procedures for collecting samples for soil carbon stock quantification can be found in the Soil Health Institute's Soil Health Sampling Protocol (SHI SHS Protocol) and the FAO's Global Symposium on Soil Organic Carbon Monitoring, Reporting, and Verification Protocol (FAO GSOC-MRV Protocol)

= Der skal foretages en stratificering af arealet. I forhold afdækning af jordens indhold af SOC, er det nødvendigt med en screening/en pilot-sampling, så variationen i SOC kendes.

- Usikkerhedsanalyse på modellering.

Der identificeres for hvert input en usikkerhed. Beskrives kvalitativt og kvantitativt.

Kilde	Eksempel	Hvordan håndteres den?
Inputdata	C-input fra afgrøderester, udbytter, organisk gødning	Usikkerhedsfordeling på input
Jorddata	SOC, lerindhold, bulk density	Måle-/sampling-usikkerhed
Klima	Temperatur, nedbør	Variation/usikkerhed i klimadata
Modelparametre	Modelparametre i RothC/C-TOOL	Parametrisk usikkerhed, hvis kendt
Modelstruktur	Modellen repræsenterer ikke alle processer	Kvalitativt og evt. via model-sammenligning
Spatial extrapolation	Ét stratum repræsenterer 5.000 ha	Usikkerhed ved repræsentativitet
Management-data	Usikkerhed om faktisk jordbearbejdning, efterafgrøder osv.	Input-/klassifikationsusikkerhed

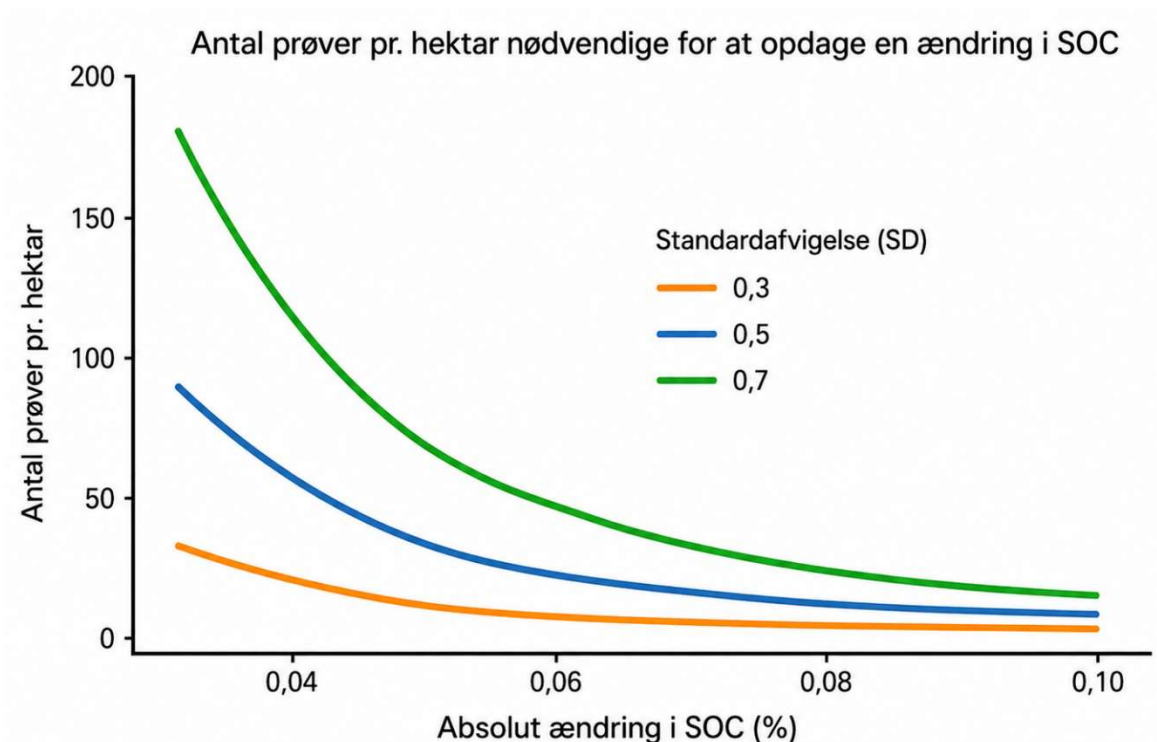
Usikkerheden på den rapporterede removal fremkommer ved at propagere relevante usikkerheder i inputdata gennem modellen ved f.eks. Monte Carlo-simuleringer. Dette suppleres med en vurdering af model- og scenarieusikkerhed.

Kulstoflagring, IPCC Tier 3, REDIII med rapportering af emissionsbesparelse (e_sca), PEFCR/CRCF

Det kan forventes, at en PEFCR byggende på EU's CRCF guidelines vil minde meget om kravene i LSR guiden og en fremgangsmåde for kvantificering af ændringer i SOC under PEFCR kan sandsynligvis følge ovenstående.

Som beskrevet ovenfor adskiller REDIII sig ved stort set udelukkende at basere sig på målinger af SOC i jordprøver. Konstatning af ændringer under REDIII - tilsyneladende kun stigninger ('e_sca') - vil blive/kan blive utroligt omfattende at konstatere signifikant ved jordprøver.

Her ses resultater fra en traditionel power-analyse ved 95% konfidens og power 0,8 for forskellige niveauer af variation i marken på en 50 ha. Figuren viser antallet af jordprøver, der kræves for signifikant at vise en ændring i SOC på en 50 ha mark, som funktion af den absolutte ændring i jordens SOC ved tre niveauer af variation over marken. Prøverne i 2. runde af prøvetagning antages her tilfældigt placeret. Ved prøvetagning i samme punkter falder antallet af prøver markant.



Resultater fra en traditionel power-analyse ved 95% konfidens og power 0,8 for forskellige niveauer af variation i marken på en 50 ha mark.

Afrapportering af opgjorte ændringer

Opgjorte ændringer af SOC ved enten målinger eller modelleringer rapporteres pr år og spørgsmålet om permanens håndteres altså ikke som i 'C-sequ'-guiden, hvor permanens delvist håndteres ved, at gevinsten ved C-lagring inkasseres forsinket ift. til en tidshorisont på 100 år. Permanens håndteres derimod, som i C-sequ også, ved regler for overvågning og reversal - emission af tidligere rapporteret lagring.

LSR

Under LSR-guiden rapporteres den totale stock-ændring, ton C i CO₂-ækv., estimeret ved modellering eller målinger for det aktuelle år. Ved ingen rapportering af removals er der ingen håndtering af permanens, mens der ved removals er:

Når en virksomhed vælger formelt at godskrives og rapportere CO₂-optag i sit drivhusgasregnskab, bliver permanens-princippet et obligatorisk krav. Håndteringen kræver følgende mekanismer:

- Obligatorisk overvågningsplan (Ongoing Storage Monitoring): Removals må kun rapporteres, hvis der foreligger en formel, dokumenteret overvågningsplan.
- Planen skal beskrive, hvordan kulstoflagrene løbende kontrolleres for at påvise fortsat lagring og opdage fremtidige tab.
- Fast genmålingsfrekvens: For landbaserede lagre (f.eks. jordkulstof) skal der udtages nye fysiske prøver eller foretages re-kalibrering af modeller med konsistente metoder mindst hvert 5. år.
- Obligatorisk rapportering af tab (Reversals): Hvis overvågningen viser, at det tidligere rapporterede kulstof stiger til atmosfæren igen (f.eks. ved pløjning, erosion eller tørke), skal tabet opgøres og rapporteres i det år, det opdages:

- Som en biogen emission: Hvis arealet stadig er inden for virksomhedens regnskabsgrænse (f.eks. en eksisterende leverandør).
- Som en Reversal: Hvis arealet ikke længere er inden for regnskabsgrænsen (f.eks. hvis virksomheden har skiftet leverandør eller solgt jorden). Reversals rapporteres i en særskilt kategori uden for det fysiske regnskab.
- Konsekvens ved ophør af overvågning: Hvis virksomheden mister evnen til at overvåge et areal, eller hvis overvågningsplanen ikke fornys, gælder en "worst-case" regel: Alt tidligere rapporteret optag antages øjeblikkeligt at være frigivet og skal rapporteres som en reversal eller emission.
- Reservekonto (Buffer Pool / Reserve approach): Virksomheder kan frivilligt vælge at henlægge en andel af deres rapporterede removals i en reservekonto som en risikostyringsmekanisme til at modregne eventuelle fremtidige reversals.

REDIII

Under REDIII rapporteres også en årlig værdi, svarende til, hvad man har målt og evt. modelleret for en periode. Som omtalt ovenfor rapporteres SOC-opbygning som 'Akkumulering af kulstof i jorden via landbrugsforvaltning', 'e_sca'. Permanens-spørgsmålet håndteres:

- Akkumulering af kulstof i jorden via landbrugsforvaltning 'e_sca'. Ved tiltag der opbygger kulstof i landbrugsjord (f.eks. ved reduceret jordbearbejdning, dækafrøder eller tilførsel af biokul og kompost), håndteres permanensrisikoen gennem følgende mekanismer:
 - Langsigtet binding (mindst 10 år): Frivillige ordninger skal kræve et skriftligt, langsigtet tilsagn fra landbrugeren om at opretholde den forbedrede forvaltningspraksis i mindst 10 år (dette kan struktureres som en 5-årig aftale med mulighed for forlængelse)
 - Minimumsvarighed før godskrivning: Der kræves en sammenhængende anvendelse af den forbedrede praksis i mindst tre år, før der overhovedet må fremsættes erklæringer om emissionsbesparelser.
 - Sanktioner ved brud på tilsagn: Hvis en landbruger trækker sig før tid eller stopper den forbedrede praksis, tilføjes alle godskrevne 'e_sca'-værdier for det indeværende år som direkte emissioner til energiforsyningsens samlede regnskab, og aktøren/landbrugeren idømmes et femårigt forbud mod at medregne kulstofopbygning i drivhusgasberegninger
 - Løbende prøveudtagning og modelkorrektur: Udgangspunktet 'CS_R' måles i jorden ved opstart som baseline, hvorefter det faktiske kulstoflager 'CS_A' skal måles af certificerede laboratorier med intervaller på højst 5 år. Hvis der benyttes modelfremskrivninger i mellemtiden, skal de årlige anmeldte besparelser reguleres med tilbagevirkende kraft baseret på de faktiske jordprøvemålinger.
 - Sikkerhedsloft over årlige besparelser: For at sikre en konservativ tilgang gælder der et fast loft over de årlige besparelser på højst 25 g CO₂e/MJ (eller op til 45 g CO₂e/MJ, hvis der anvendes biokul).