

Kvantitative effekter af biokul tilført grovsandet underjord på høstudbytter og kvælstofudvaskning simuleret med Daisy-modellen



Af:
Carsten T. Petersen og Per Abrahamsen
Institut for Plante- og Miljøvidenskab
Københavns Universitet
Februar 2024



Kvantitative effekter af biokul i grovsandet underjord på høstudbytter og kvælstofudvaskning simuleret med Daisy-modellen

Introduktion

Dette notat rapporterer aktiviteter gennemført i BioAdapt-projektets WP5: "Predicting and quantifying the impacts using the Daisy model".

Med projektbeskrivelsens "impacts" menes de forventede langtids-effekter på høstudbytter, kvælstofudvaskning og kulstoflagring opnået igennem forskellig anvendelse af biokul. Høstudbytter og kvælstofudvaskning varierer erfaringsmæssigt ganske meget fra år til år grundet vejrets indflydelse. Derfor gennemføres modelsimuleringerne for en lang årrække (100 år) med naturligt vejrmønstre, hvilket vil bidrage med oplysninger om såvel gennemsnit som variation. Kulstofomsætning holdes ude af disse beregninger, idet den langsigtede kulstofbinding med biokul er genstand for forskning som rækker langt ud over nærværende projekt. De undersøgte, specifikke anvendelsers eventuelle påvirkning af kulstoflagringen diskuteres kortfattet. Notatets formål er mere overordnet at bidrage med input til spørgsmålet om, hvordan anvendelsen af biokul kan optimeres.

Grundlaget for at beregne effekterne er især viden tilvejebragt i projektet om, hvordan iblanding af biokul påvirker jordens hydrauliske og mekaniske egenskaber (WP2) og (i mindre grad) planters rodudvikling (WP4). Effekter på de hydrauliske egenskaber er rapporteret af Bruun et al. (2023), mens effekter på mekaniske egenskaber (penetrometermodstand) er rapporteret af Petersen og Bruun (2023). I WP2 fandt vi ud af at små biokulpartikler havde stor effekt på jordens hydrauliske egenskaber (vandretention og umættet hydraulisk ledningsevne), mens effekten af store partikler var mindre. Derfor er beregningerne i WP5 gennemført med både små og store partikler (biokul lavet af hvedehalm ("Straw Biochar, SB") med medianværdier for partikeldiameter på hhv. 15 og 205 µm; se Bruun et al. (2023)). Daisy-beregningerne er dynamiske og effekter af nedbørsmønstre samt jordlagenes hydrauliske egenskaber (som påvirker afdræningsdynamik, kapillær vandhævning samt vandbevægelser i delvist udtørret jord) på planternes vand- og kvælstofforsyning indgår. I WP4 lykkedes det desværre ikke helt at skabe realistiske voksemuligheder for planterødder, hvorfor resultater herfra om rodvækst i biokulberiget jord må tages med forbehold. Der var ikke positive effekter af biokul på bygplanters rodvækst i WP4. Ligeledes er det ikke ligetil at overføre de rene penetrometermålinger fra WP2 til potentialet for rodvækst under markforhold, selvom det er sandsynligt, at rodvæksten forbedres (Petersen og Bruun, 2023). I andre projekter med grovsandet jord og plantevækst er der fundet positive effekter af andre typer af biokul på planternes rodudvikling og rodnedtrængning i dybden, hvilket primært tilskrives positive effekter på den mekaniske modstand (Ahmed et al., 2020; Bruun et al., 2014). Som konsekvens heraf gennemføres Daisy-beregningerne konsekvent under 3 forskellige antagelser, hhv. (i) at biokul har "Fuld" positiv effekt på rodtybden, hvilket vil sige at iblanding af biokul under normal maksimal rodtybde for enårige planter på jordtypen (dvs. 50 cm) får rødderne til at vokse i det berigede lag indtil væksten evt. stoppes af planternes genetiske potentiale, (ii) at biokul ikke påvirker rodvæksten ("Ingen" effekt; maksimal rodtybde er uændret 50 cm) og (iii) at biokul tilført under 50 cm dybde har "Nogen", men ikke fuld positiv effekt på rodvæksten (maksimal rodtybde findes midt i jordlaget der strækker sig fra 50 cm dybde til maksimal iblandingsdybde).

Daisy er en bredt anerkendt jord-plante-atmosfære model udviklet over en periode på mere end 30 år (fx Hansen et al., 1990; Abrahamsen og Hansen, 2000; Hansen et al., 2012; Abrahamsen 2024). Modellen er specielt udviklet til beregning af balancer af kulstof- og kvælstof i marker med landbrugsafgrøder, herunder beregning af høstudbytter og

kvælstofudvaskning. Daisy-modellen kræver oplysninger om jordens hydrauliske egenskaber og maksimal roddybde, der indgår som en del af opsætningen.

Modelopsætning

Overordnet set kræver Daisy oplysninger om jorden, planterne, dyrkningsaktiviteterne og vejret, oplysninger som skal specificeres i modelopsætningen. De anvendte opsætninger af Daisy-modellen er fuldt dokumenteret i Appendix B, og alle beregninger er således reproducerbare. I det efterfølgende omtales kun hovedtrækkene.

Der blev brugt oplysninger om grovsandet jord fra St. Jynde vad hentet i Daisy-biblioteket, idet underjordens hydrauliske egenskaber blev modificeret i henhold til målinger af biokullets effekter og kontroljordens egenskaber foretaget i WP2. Det antages således at det i praksis er muligt at iblande biokul i jorden lige så effektivt som i laboratoriet. Der arbejdes med i alt 21=1+2*2*5 opsætninger af jorden (eller kombinationer af "forsøgsbehandlinger") som fremgår af tabel 1:

Tabel 1: Opsætninger af jorden

Koncentration af halm-baseret biokul, wt%	Biokullets partikelstørrelse (medianværdi, μm)	Jordlag med biokul (dybdeinterval, cm)	Opsætninger
0 (kontrol)	-	-	1
1,5 og 3,0	15 og 205	30-60, 30-70, 30-80, 30-90 og 30-100	20

Daisyberegningerne drives af vejret. Der findes ikke tilstrækkeligt detaljerede vejroptegnelser for området ved St. Jynde vad for en periode på 100 år. Vi brugte i udgangspunktet model-genererede vejrdata for Østdanske forhold med karakteristika for nedbørsgennemsnit, variation m.v. baseret på målinger foretaget i Københavns Lufthavn i Kastrup over en periode på 30 år (Rasmussen et al., 2018). Nedbørsmønstret blev herefter korrigeret lineært således at gennemsnitsværdierne blev overensstemmende med værdier for området ved St. Jynde vad, hvor det regner noget mere end i Østdanmark.

Beregningerne blev gennemført for én enkelt afgrøde, nemlig vårbyg med efterafgrøde (olieræddike), idet alle afgrødespecifikke parametre blev hentet fra Daisy-biblioteket. Vårbyg opnår på grovsand uden biokul en maksimal roddybde på ca. 50 cm. Som anført i introduktionen er det endnu uvist, hvordan biokul i underjorden påvirker rodudviklingen, hvorfor simuleringer for al biokulberiget jord i tabel 1 gennemføres under de tre forskellige antagelser "Fuld", "Ingen" og "Nogen" effekt på roddybden benævnt ovenfor som hhv. (i), (ii) og (iii).

Dyrkningsaktiviteter, herunder specifikationer og tidsangivelser for fx jordbearbejdning, såning, gødsning, vanding og høst er traditionelle for afgrøden. Af særlig interesse for udbytte- og udvaskningsberegningerne kan fremdrages, at der hvert år tilføres 120 kg N/ha i handelsgødning og at efterafgrøden (der nedpløjes i foråret) bidrager til at mindske udvaskningen ved at fastholde noget af den ubrugte kvælstofgødning i rodzonen. Der regnes ikke med nogen opbygning eller nedbrydning af jordens pulje af organisk stof, hvilket betyder at jordens indhold af kvælstof og kulstof holdes konstant i beregningerne. I opsætningerne i tabel 1 regnes der alene med naturlig nedbør (dvs. ingen vanding). Men for bedre at kunne skelne imellem effekter på planternes vand- og kvælstofforsyning indføres yderligere en modelopsætning, hvor afgrøden dyrket på kontroljord uden biokul vandes

optimalt efter behov i henhold til programmet Markvand, som er implementeret i Daisy (Plauborg og Olesen, 1996).

Det giver i alt $62 = 1$ (kontrol) + $2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 3$ (koncentration * partikelstørrelse * jordlag * rodeffekt) + 1 (vanding) modelopsætninger. Der opnås altså resultater for i alt 6200 kombinationer af opsætning og år idet der for hver opsætning simuleres for en periode på 100 år.

Det formodes at biokul vil blive en dyr ressource som skal *udnyttes* bedst muligt, hvorfor det er relevant at se på årlige merudbytter i forhold til den forbrugte mængde af biokul. I de enkelte opsætninger specificeres koncentrationen af biokul (procent på tørvægtbasis) og tykkelsen af det behandlede jordlag. Det omtrentlige forbrug af biokul beregnes under antagelse af at jorden har en volumenvægt på $1,50 \text{ Mg/m}^3$. Det giver mulighed for at udtrykke udnyttelsen med enheden (kg kernetørstof)/Mg (anvendt biokul).

Resultater

Generelt

Partikelstørrelser i kombination med forudsætninger om røddernes respons på biokul i underjorden har meget stor betydning for de beregnede effekter (eksempler er vist i Figur 1; resultater for alle kombinationer ses i Appendiks A).

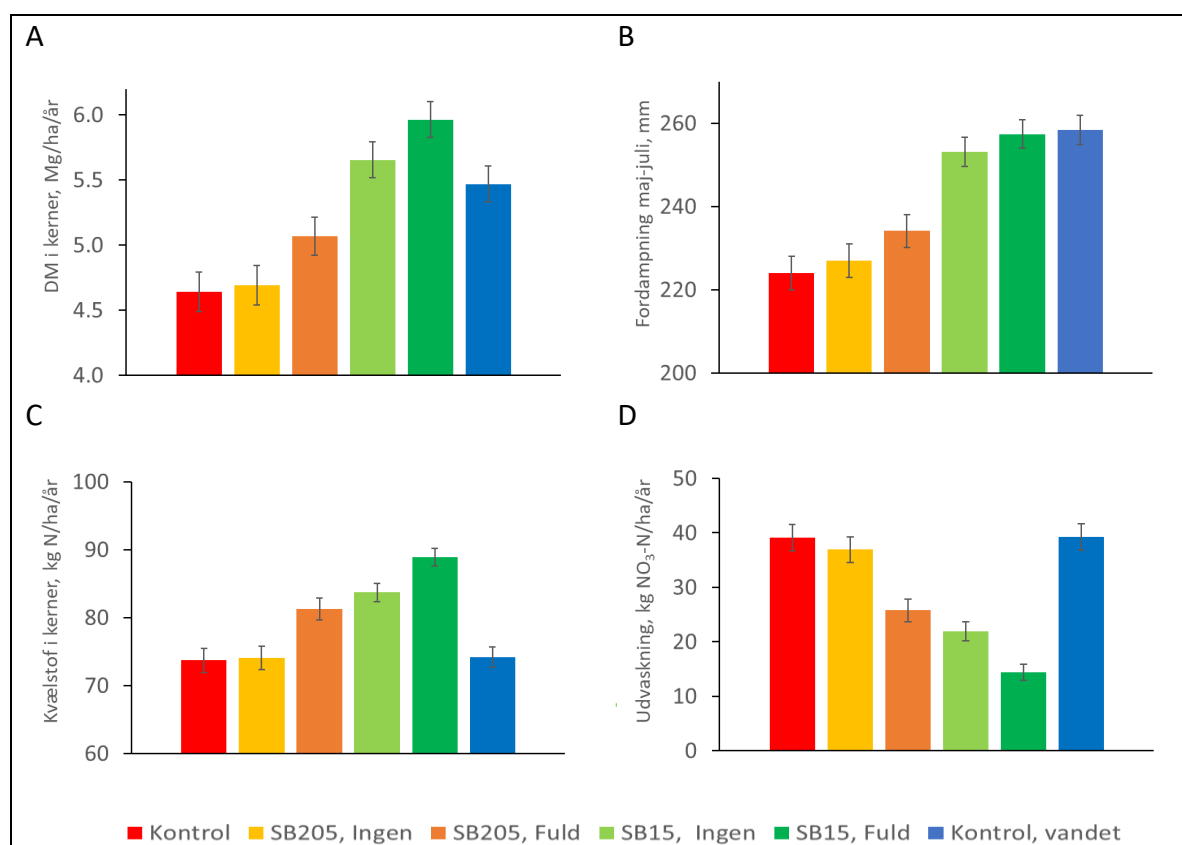
Uanset forudsætninger om rodrespons, simuleres der væsentlige og positive effekter af 3% af de små biokulpartikler (SB15) i jordlaget 30-80 cm, mens de beregnede effekter af samme mængde af "store" partikler (SB205) generelt er små, især under antagelsen at biokul ikke befordrer en dybere rodudvikling end i kontroljorden (Figur 1). I dette tilfælde ses i eksemplet ingen sikker positiv effekt på hverken kerneudbytter eller kvælstofudvaskning. Effekter af det grovkornede biokul beror således primært på en evt. positiv effekt på roddebyden. Som gennemsnit af alle de gennemførte simuleringer forøges tørstofudbyttet og kernernes indhold af kvælstof hhv. ca. 3,9 og 2,7 gange mere når biokullet tilføres som små partikler end som store partikler. Under antagelsen at biokul ikke har positiv effekt på roddebyden er de tilsvarende værdier hhv. 12,2 og 17,9. Resultater opnået med store biokulpartikler (SB205) omtales kun undtagelsesvist nedenfor.

Effekt på rodudviklingen betyder også meget når der anvendes små biokulpartikler, men er ikke eneafgørende. I forhold til den uvandede kontrol simuleres med de små biokulpartikler og antaget "Fuld" effekt på rodudviklingen en forøgelse af det gennemsnitlige tørstofudbytte i kerner på $1,32 \text{ Mg/ha/år}$ (29 %; Figur 1A), mens kvælstofmængden i kernerne øges med $15,2 \text{ kg N/ha/år}$ (21 %; Figur 1C). Tilsvarende værdier under antagelsen at biokul slet ikke påvirker rodudviklingen er hhv. $1,02 \text{ Mg/ha/år}$ og $10,0 \text{ kg N/ha/år}$. Kvælstofudvaskningen reduceres meget markant i overensstemmelse med den øgede kvælstofoptagelse. Under antagelsen at der er "Fuld" effekt på rodudviklingen er reduktionen på $24,8 \text{ kg NO}_3^- \text{-N/ha/år}$ (63 %; Figur 1D) mens reduktionen er $17,2 \text{ kg NO}_3^- \text{-N/ha/år}$ (44 %), hvis biokullet ikke påvirker rodudviklingen.

I kontroljorden begrænses planteproduktionen af vandmangel, hvilket ses af at vanding øger fordampningen (Figur 1B). Tilførsel af biokul i form af små partikler øger også fordampningen (planternes adgang til vand) set i forhold til den uvandede kontroljord. Det

bemærkes at fordampningen fra jord beriget med små biokulpartikler er på niveau med fordampningen fra den vandede kontroljord, mens effekterne på tørstofudbytte, kvælstofoptagelse og kvælstofudvaskning er bedre. I denne sammenligning skyldes de positive effekter af biokul altså ikke bedre vandhusholdning, men derimod en bedre udnyttelse af kvælstofgødning og mindre kvælstofstress. Grove biokulpartikler (SB205) forbedrer i et vist omfang adgangen til vand og kvælstof hvis det antages, at rodudviklingen påvirkes positivt.

Effekterne af den lavere koncentration af biokul (1.5%) er altid mindre end effekten af 3% (se senere og evt. Appendiks A).



Figur 1. A: Høstet tørstofmængde (DM) i kerner. B: Aktuell fordampning summeret for månederne maj-juli. C: Høstet kvælstofmængde i kerner. D: Kvælstofudvaskning. Simulerede gennemsnitsværdier for 100 år med standardfejl (standardafvigelse på middelværdier) vist som bjælker (årsvariationen findes ved at 10-doble bjælkenes længde). Resultater for 6 modelopsætninger: Jord uden biokul (Kontrol), 3% af hhv. SB205 ("Straw Biochar", medianværdi af partikelstørrelser 205 μm) og SB15 i jordlaget fra 30-80 cm dybde under antagelse af hhv. "Ingen" og "Fuld" effekt af biokullet på rodudviklingen, samt vandet jord uden biokul (Kontrol, vandet).

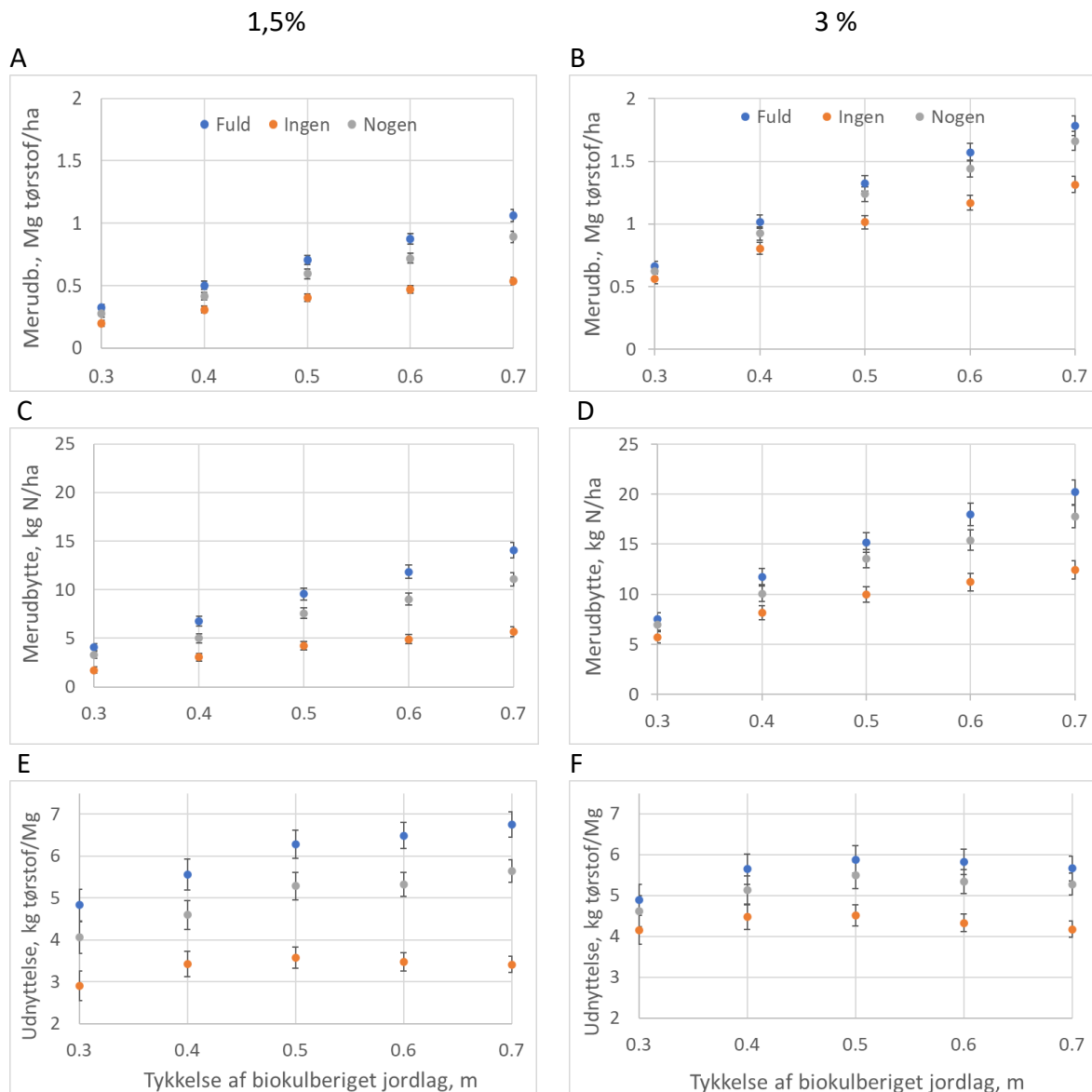
Behandlingsdybde og koncentration

Merudbytte for tilførsel af biokul vokser generelt med tykkelsen af det biokul-berigede jordlag, mens billedet ikke er helt så enkelt for udnyttelsen af biokullet (merudbyttet i tørstof sat i forhold til den anvendte mængde biokul; Figur 2). Resultaterne er alle følsomme over for antagelsen om røddernes reaktion på biokullet, og rækkefølgen er altid "Fuld" >

"Nogen"> "Ingen". Udbytteeffekter og udnyttelsen af biokullet aftager således i varierende grad hvis det antages, at biokullet kun har nogen eller slet ingen positiv effekt på rodudviklingen. Antagelser om effekt på rodudviklingen har størst betydning ved den lave koncentration af biokul. Med 3% biokul er der generelt ikke sikre forskelle mellem resultaterne for "Fuld" og "Nogen" effekt på rodudviklingen. Med "Fuld" effekt opnås en maksimal gennemsnitlig udbytteforøgelse på 1,78 Mg/ha/år (38 %) ved inkorporering til 100 cm dybde, der kan omregnes til 21,0 hkg kerne/ha/år med standardkvalitet (15% vand).

Tørstof-merudbytteerne er højest med 3% biokul, ved lille behandlingsdybde ($\leq 0,3-0,8$ m) ca. dobbelt så høje som med 1,5% biokul (Figur 2A,B). Men for 3% biokul aftager effekten af at øge behandlingsdybden med voksende behandlingsdybde ud over laget fra 0,3-0,8 m dybde (tykkelse $> 0,5$ m) således at merudbytteerne for stor behandlingsdybde er lidt mindre end dobbelt så høje som med 1,5% biokul.

Hvis biokullet ikke har positiv indflydelse på rodvæksten er merudbyttet af kvælstof i kerner ved brug af 3% biokul generelt mere end dobbelt så højt som ved brug af 1,5 % biokul (Figur 2C,D), mens det er mindre end dobbelt så højt, hvis biokullet har positiv indflydelse på rodudviklingen.



Figur 2. Simulerede effekter af små biokulpartikler (SB15) i relation til tykkelsen af det berigede jordlag (30-70 cm) og biokulkoncentrationen (1,5 % i venstre side og 3 % i højre side; middelværdier med standardfejl vist som bjælker). Merudbytte af kernetørstof ved høst (A,B), merudbytte af kvælstof i kerner ved høst (C,D) samt (E,F) mål for udnyttelsen af biokullet (se nedenfor). Simuleringerne er gennemført under 3 forskellige antagelser om biokullets påvirkning af rodudviklingen: “Fuld”, “Ingen” og “Nogen”. Det berigede lag af underjord begynder altid i 30 cm dybde. De årlige merudbytter (tørstof og kvælstof i kerner) er beregnet på grundlag af årlige stigninger i forhold til kontroljorden, og udnyttelsen af biokul er udtrykt ved at sætte årlige tørstof-merudbytter i forhold til den anvendte mængde af biokul.

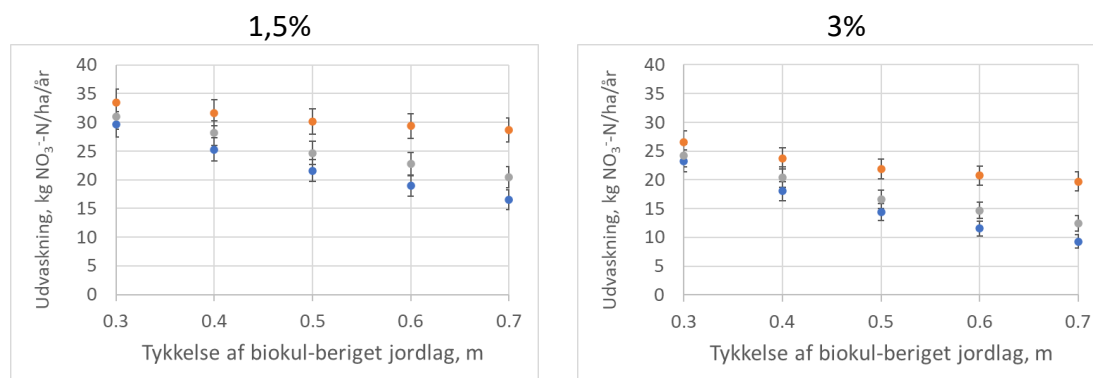
Det beregnede forbrug af biokul i hver modelopsætning samt gennemsnitligt merudbytte er sat i forhold til forbruget (Appendix A). *Udnyttelsen* af biokul beregnet på denne måde afhænger meget tydeligt af antagelser om rodpåvirkningen, og den vokser ikke generelt med behandlingsdybden. Hvis der ikke er positiv påvirkning af rødderne er en høj koncentration

på 3% bedre end en lav koncentration på 1.5% (Figur 2E,F). Udnyttelsen er for begge koncentrationsniveauer bedst ved inkorporering i jordlaget 30-80 cm.

Hvis der omvendt er "Fuld" påvirkning af rødderne, selv ved 1.5% biokul, er den lave koncentration på 1.5% i kombination med dyb inkorporering til 100 cm dybde bedst. Udnyttelsen er ringere ved en høj koncentration på 3% i kombination med indarbejdning i et tykt jordlag, og her topper den ved inkorporering i jordlaget 30-80 cm (0,5 m tykkelse; Figur 2E,F).

Beregningerne indikerer en udnyttelse eller årlig udbytteeffekt på mellem 4,5 og 6,5 kg tørstof i kerner per Mg anvendt biokul, hvis kullet bruges mest hensigtsmæssigt (Figur 2E,F). Det svarer til et årligt merudbytte på mellem 5,3 og 7,6 kg kerne af standardkvalitet (15% vand) per Mg tilført biokul.

I alle de undersøgte opsætninger med tilførsel af små biokulpartikler til underjorden fører biokullet til en reduktion af kvælstofudvaskningen. Der er ret snæver sammenhæng imellem kvælstofindholdet i kerner ved høst og kvælstofudvaskningen, idet udvaskningen mindskes når optagelsen øges. Den simulerede udvaskning falder med tykkelsen af det biokulberigede lag og er følsom over for antagelsen om rodsystemet (Figur 3). Den gennemsnitlige udvaskning reduceres i bedste fald (3% SB15 i jordlaget 30-100 cm med "Fuld" effekt på rodudviklingen) til bare 9,3 kg NO_3^- -N/ha/år. Da den gennemsnitlige udvaskning fra kontroljorden er 39,1 kg NO_3^- -N/ha/år svarer det til en reduktion på 29,8 kg NO_3^- -N/ha/år (eller 76 %).



Figur 3. Simuleret kvælstofudvaskning som funktion af tykkelsen af det biokulberigede jordlag ved forskellig koncentration af biokul i laget (1,5 eller 3 %). Gennemsnitsværdier for 100 år med standardfejl påført som bjælker.

Diskussion

Valget af behandlingsdybden 30-80 cm i Figur 1 afspejler, at denne ofte vil give den bedste udnyttelse af biokullet til produktion af kernetørstof (Figur 2). Udbytteeffekterne (og effekter på kvælstofudvaskningen) er dog størst ved behandling af hele jordlaget fra 30-100 cm (Figur 2), så hvis udfordringen især er at maksimere udbytterne og samtidig lagre mest muligt kulstof i jorden kan denne løsning (eller evt. iblanding til endnu større dybde for afgrøder med genetisk potentiale for større roddeybde end vårbyg) være relevant.

I Daisy kan udbytterne være begrænset af mangel på vand og/eller kvælstof, og i praksis vil der ofte være tale om en kombination. I opsætningen med optimal vanding af kontroljorden er vandstress stort set blevet elimineret (Figur 1B). Det resulterer i højere tørstofudbytter (Figur 1A), men ikke i tilsvarende højere kvælstofindhold i kernerne (Figur 1C) og lavere nitratudvaskning (Figur 1D). Uden en veletableret efterafgrøde til at opsamle overskydende mineralsk kvælstof i jorden efter høst ville der måske have været positiv effekt af vanding på kvælstofhusholdningen. Når 3% biokul i 30-80 cm jordlaget giver mere positive resultater end optimal vanding af kontroljorden skyldes det bedre kvælstofhusholdning og mindre kvælstofstress.

Om biokullet har "Nogen" eller "Fuld" effekt på rodudviklingen når der anvendes 3% biokul har ikke stor og sikker betydning for udbytterne (Figur 2). Det skyldes sandsynligvis kombinationen af markant højere vandretention og vandledningsevne i det biokulberigede jordlag (Bruun et al., 2023), som giver anledning til kapillær vandhævning fra jord under rodzonen i tilfælde af udtørring af rodzonen. Det giver øget mulighed for at udnytte vand og nitrat i et biokul-beriget jordlag under rodzonen, herunder for at udnytte nitrat der tidligere måtte være nedvasket til under rodzonen.

Det er ikke sikkert at effekten af biokul på rødderne ("Fuld", "Ingen" eller "Nogen") er uafhængig af koncentrationen som antaget. Det kan være at høje koncentrationer virker bedre end lave koncentrationer. Eller omvendt, at de positive effekter på rodvæksten aftager når koncentrationen bliver høj. Eksempelvis fandt Bruun et al. (2014) i et enårigt forsøg med biokul fremstillet ved forgasning af halm positive effekter af lave biokulkoncentrationer (1 og 2 %), men negative effekter af en højere koncentration (4%). Anvendelsen af lave koncentrationer er mere fordelagtig, hvis lave koncentrationer har lige så stor (eller ekstra stor) positiv effekt på rodvæksten som høje koncentrationer. Vi ved ikke nok om påvirkningen af rodvækst og specielt ikke, hvordan biokul i underjorden vil påvirke rodvæksten på lang sigt. Det er usandsynligt at kemisk-biologiske ubalancer, som kan have betydning på kort sigt, vil spille nogen større rolle, mens det er muligt at der gradvist i en mere vandholdende og kohæsiv jord vil opbygges en mere stabil struktur med sammenhængende makroporer (fx regnormegange), der kan tjene som adgangsveje for rødderne til dybere jordlag.

Simuleringsresultaterne bygger på en antagelse om at de hydrauliske effekter af biokullet målt i laboratoriet også kan sikres under markforhold og at de forbliver uændrede igennem 100 år. Ingen af de to forudsætninger er blevet kontrolleret. Dog viste Bruun et al. (2021) i forsøg med dyrkning af kornafgrøder i store udendørs potter med biokulberiget jord at effekter på jordens vandretention holdt sig uændret igennem tre vækstsæsoner.

Udnyttelsen af biokul fokuserer på merudbytter af kernetørstof, og resultaterne indikerer årlige merudbytter på mellem 4,5 og 6,5 kg tørstof per Mg finkornet biokul inkorporeret hensigtsmæssigt i jorden én gang for alle. Hertil skal evt. lægges en værdi af et højere kvælstofudbytte, som kan omregnes til et højere proteinudbytte, samt værdien af kvælstoflagring og mindre kvælstofudvaskning.

Effekt af partikelstørrelser

Simuleringsresultaterne udtrykker, at biokulpartiklernes størrelse har meget stor betydning på effekten af biokul. De positive effekter på kerneudbytter og kvælstofudvaskning er for samme mængde af biokul langt større når partiklerne er små end når de er store. Beregningerne er dermed i god overensstemmelse med de målte, meget store effekter af biokulpartiklernes størrelse på jordens struktur og hydrauliske egenskaber (Bruun et al., 2023). Tilsvarende effekter på vandretentionsegenskaber og jordstruktur opnået med andre typer af biokul er rapporteret af Bruun et al. (2014), Petersen et al. (2016) samt Bruun et al. (2022). Bruun et al. (2023) samt Petersen et al. (2016) diskuterer også de bagvedliggende årsager. Måling af de hydrauliske effekter i Bruun et al. (2023) er foretaget med betydeligt flere kombinationer af jord og biokul end hvad der er undersøgt i WP5, men det var generelt ikke statistisk muligt at skelne sikkert mellem mere end to klasser af biokulpartikler, nemlig små med mediandiameter < ca. 40 µm og store med mediandiameter > ca. 80 µm, repræsenteret ved SB15 og SB205 (Bruun et al., 2023). SB15 havde dog signifikant mere positiv effekt på jordens ledningsevne for vand i halvtør jord (ved pF3,0), hvilket er grunden til at denne er valgt.

Behandlingsdybde og koncentration

Høstudbytterne er altid størst og kvælstofudvaskningen mindst med den største inkorporeringsdybde (30-100 cm). De 100 cm er valgt som maksimum fordi dybden nogenlunde svarer til vårbyggets genetisk bestemte, maksimale (effektive) roddebybde. Beregningerne for "Ingen" og "Nogen" effekt på roddebybden indikerer, at de positive effekter af at inkorporere biokul til stor dybde (100 cm) kan være noget mindre for plantearter med mindre roddebybde end vårbyg.

Hvis den bedst mulige udnyttelse af biokul til produktion af kernetørstof er i fokus vil inkorporering i dybdeintervallet 30-80 cm typisk være optimal. Det gælder dog ikke, hvis selv en lav koncentration af biokul på 1,5% kan sikre "Fuld" roddeudvikling, i hvilket tilfælde udnyttelsen er bedst og desuden ekstraordinær god ved dyb inkorporering til 100 cm. De tekniske udfordringer ved iblanding af biokul i grovsandet underjord vil givetvis være større, hvis der skal arbejdes med meget tykke og dybtliggende jordlag. Der findes allerede kraftige, fræserlignende maskiner, som med henblik på at stabilisere jorden ved vejbygning og lignende er i stand til at iblande brændt kalk effektivt i lerjordslag på op til 50 cm tykkelse (Larsen, 2023). Blandingen af ikke-kohæsiv sandjord vil være mindre udfordrende end blandingen af lerjord og kan formentlig gennemføres uden at skade en eksisterende jordstruktur. Effekter af behandlingsdybde og koncentration afhænger af røddernes respons på biokul, som vi endnu ikke kender. Betydningen af røddernes respons er mindst ved høj koncentration, hvilket formentlig skyldes relativt stor effekt på de hydrauliske egenskaber (Bruun et al., 2023). Indtil vi ved hvordan rødderne reagerer må vi nok forsigtigt antage at rødderne ikke vokser bedre med biokul. Det taler for at anvende en høj koncentration af biokul (3%).

Effekt på kulstoflagring i jorden

Stabiliteten af biokul i jord er som nævnt i indledningen genstand for megen forskning, som endnu ikke er afsluttet. For at vurdere langtidsstabiliteten uden alt for stor usikkerhed skal

der tilvejebringes målinger af nedbrydningshastigheder over lang tid (adskillige år). I en nylig status over målinger i BioAdapt-projektets WP3, der strækker sig over knap 600 dage, blev det konkluderet, at der ikke er målbar forskel mellem den akkumulerede nedbrydning i jord af fintkornet og grovkornet biokul (hhv. biokul med korndiameter < 100 µm og piller af størrelsen ca. 5*8 mm; Bruun, 2024 a).

Når høstudbyttet vokser markant med tilførsel af finkornet biokul til grovsandet underjord, vokser også inputtet af organisk materiale til jorden i form af planterester. Herved startes reelt en positiv spiral, hvor jordens humusindhold slutteligt vil stabilisere sig på et højere niveau. Effekten er ikke søgt kvantificeret, idet jordens indhold af organisk materiale holdes konstant.

Sammenhæng med udbyttmålinger i WP4

Simuleringsresultaterne i nærværende notat giver et optimistisk billede af langtidseffekterne af finkornet biokul tilført grovsandet underjord, herunder markant højere kerneudbytter i vårbyg. Tilsvarende positive effekter af biokul blev ikke fundet i WP4, hvor der i et to-årigt forsøg med udendørs dyrkning af vårbyg i store pletter bl.a. blev målt høstudbytter (Bruun et al., 2024 b). Der blev målt en vis udbyttedepression i det første år og en svag udbyttetigning i det andet år. Afvigelsen fra simuleringsresultaterne kan skyldes startvanskeligheder i form af kemisk-biologiske ubalancer, herunder specielt tilførsel af labilt kulstof med biokullet, som i starten forårsager kvælstof-immobilisering og øget kvælstofstress i planterne. Der blev dog med biokul målt signifikant højere vandretention og desuden en øget vandoptagelse fra de øverste 105 cm af jordprofilen, som nogenlunde svarer til simuleringsresultaterne. Denne effekt på vandhusholdningen forventes på lang sigt at slå igennem på udbytteresultaterne. Som tidligere nævnt var røddernes vækstbetingelser og vækst i dybden bedømt i kontroljorden ikke realistisk i WP4, dvs. repræsentative for markforhold. Det samme formodes at gælde for effekterne af biokul.

Anbefalinger

Biokul-berigelse af grovsandet underjord bør ske med finkornet biokul.

Når det kommer til anbefalinger vedrørende koncentration og behandlingsdybde med henblik på at udnytte biokulressourcen bedst muligt skal det fremhæves, at nærværende simuleringer er lavet for en vårbyg med efterafgrøde dyrket konventionelt i det klima og på den jordtype, som haves ved St. Jyndevad i Sønderjylland, hvorfor resultaterne i princippet kun gælder for denne og lignende kombinationer. De kan fx ikke uden videre overføres til fremtidige klimaforhold og andre afgrødetyper med et helt andet genetisk potentiale for rodvækst. Endvidere svækkes anbefalingerne af usikkerhed grundet mangel på viden om, hvordan biokul påvirker rodudviklingen. Med disse forbehold giver beregningerne grundlag for foreløbigt at anbefale indlejring af 3% finkornet biokul i et ca. 50 cm tykt jordlag fra bunden af pløjelaget i ca. 30 cm dybde.

Referencer

- Abrahamsen, P. (2024). Daisy - Mechanistic simulation of agricultural fields. <https://daisy.ku.dk/about-daisy/> (visited 15.02.2024).
- Abrahamsen, P. og Hansen, S. (2000). Daisy: An Open Soil-Crop-Atmosphere Model. *Environmental Modelling & Software* 15, 313-330
- Ahmed, F., Arthur, E., Liu, H., & Andersen, M. N. (2020). New Rootsnap sensor reveals the meliorating effect of biochar on in situ root growth dynamics of maize in Sandy soil. *Frontiers in Plant Science*, 11, 949.
- Bruun, E. W., Ravenni, G., Müller-Stöver, D., and Petersen, C. T. (2023). Small biochar particles added to coarse sandy subsoil greatly increase water retention and affect hydraulic conductivity. *European Journal of Soil Science*, 74(6), e13442. <https://doi.org/10.1111/ejss>
- Bruun, E.W., Müller-Stöver, D., Pedersen, B.N., Hansen, L.V., and Petersen, C.T. (2022). Ash and biochar amendment of coarse sandy soil for growing crops under drought conditions. *Soil Use Manage.* 38:1280–1292. <https://doi.org/10.1111/sum.12783>
- Bruun, E. W., Petersen, C. T., Hansen, E., Holm, J. K., and Hauggaard-Nielsen, H. (2014). Biochar amendment to coarse sandy subsoil improves root growth and increases water retention. *Soil Use and Management*, 30(1), 109–118. <https://doi.org/10.1111/sum.12102>
- Bruun, E. W. (2024a). Mundtlig præsentation ved Plantekongres 2024 i Herning, 11. januar 2024.
- Bruun et al. (2024b): Yield and development of spring barley following the amendment of coarse sandy subsoils with biochar (foreløbig titel; under udarbejdelse).
- Hansen, S., Jensen, H.E., Nielsen, N.E. and Svendsen, H. (1990). DAISY — Soil Plant Atmosphere System Model. Tech. rep. A10. Miljøstyrelsen. 272 pp.
- Hansen, S., Abrahamsen, P., Petersen, C.T., Styczen, M., 2012. Daisy: model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE* 55, 1315-1333.
- Larsen, M.V. (2023). Kalkstabilisering af lerjord - Fra overskudsjord til alternativt råstof. Præsentation fra ATV-møde om Jord og Grundvand, 2. november 2023. <https://www.atv-jord-grundvand.dk/wp-content/uploads/2023/11/Moede-09-23-Morten-Larsen-Minimering-af-overskudsjord.pdf>
- Petersen, CT, Hansen, E, Larsen, HH, Hansen, LV, Ahrenfeldt, J, Nielsen, H (2016). Pore size distribution and compressibility of a coarse sandy subsoil with added biochar. *Eur. J. Soil Sci.* 67: 726–736.
- Petersen, CT, Bruun, EW (2023): Penetrometer resistance in coarse sandy subsoil with added biochar. Scientific [Note](#) (in Danish), Dept. of Plant and Env. Sciences, Univ. of Copenhagen. 11 pp.
- Plauborg, F., Andersen, M.N., Heidmann T. and Olsen J.E. (1996). MARKVAND: an irrigation scheduling system for use under limited irrigation capacity in a temperate humid climate. In: *Irrigation Scheduling from Theory to Practice*. Water Reports 8. FAO-ICID-CIID, Rome, pp. 177-184.
- Rasmussen, S.B., Blenkinsop, S., Burton, A., Abrahamsen, P., Holm, P.E., Hansen, S. (2018). Climate change impacts on agro-climatic indices derived from downscaled weather generator scenarios for eastern Denmark. *Eur. J. Agron.* 101, 222–238. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.04.004>

Appendiks A.

Simuleringsresultater for alle 62 modelopsætninger (årsgennemsnit og variation)

Tabel A1. Årsgennemsnit for kerneudbytter (tørstof og kvælstof), kvælstofudvaskning og fordampning simuleret for 100 år med Daisy-modellen. Endvidere beregnet biokulforbrug samt gennemsnitligt årligt merudbytte (udbytte – udbytte for kontroljorden uden vanding) per mængde anvendt biokul. Data for små biokulpartikler af typen SB15 ("Straw Biochar" med en medianværdi for partikeldiameter på 15 µm).

Biokul	Behandling	Max rodd. cm	Kerneudbytte (tørstof DM og N)		Kvælstofudv. Kg NO ₃ ⁻ -N/ha	Fordampning mm ^{*)}	Biokulforbrug, BF Mg/ha	Årligt merudbytte DM/BF, kg/Mg
			Tørstof, Mg/ha	Kvælstof, kg N/ha				
Ingen (kontrol)	Ingen	50	4.64	73.7	39.1	224	0	-
Ingen	Vanding	50	5.47	74.2	39.3	258	0	-
1.5% SB15	30-60 cm	60	4.97	77.8	29.7	234	68	4.9
	30-60 cm	50	4.84	75.5	33.5	232	68	3.0
	30-60 cm	55	4.91	77.1	31.0	233	68	4.0
	30-70 cm	70	5.14	80.5	25.3	239	90	5.6
	30-70 cm	50	4.95	76.8	31.7	235	90	3.4
	30-70 cm	60	5.05	78.7	28.1	237	90	4.6
	30-80 cm	80	5.35	83.3	21.6	243	113	6.3
	30-80 cm	50	5.04	78.0	30.2	238	113	3.6
	30-80 cm	65	5.23	81.3	24.6	241	113	5.2
	30-90 cm	90	5.52	85.6	19.0	246	135	6.5
	30-90 cm	50	5.11	78.6	29.4	239	135	3.5
	30-90 cm	70	5.36	82.8	22.8	244	135	5.3
	30-100 cm	100	5.70	87.8	16.5	250	158	6.7
	30-100 cm	50	5.18	79.4	28.6	241	158	3.4
30-100 cm	75	5.53	84.8	20.4	247	158	5.7	
3.0% SB15	30-60 cm	60	5.30	81.3	23.3	244	135	4.9
	30-60 cm	50	5.20	79.4	26.5	242	135	4.1
	30-60 cm	55	5.26	80.7	24.2	243	135	4.6
	30-70 cm	70	5.66	85.5	18.1	251	180	5.7
	30-70 cm	50	5.44	81.9	23.8	248	180	4.4
	30-70 cm	60	5.56	83.8	20.5	250	180	5.1
	30-80 cm	80	5.96	88.9	14.4	257	225	5.9
	30-80 cm	50	5.65	83.7	21.9	253	225	4.5
	30-80 cm	65	5.88	87.3	16.6	256	225	5.5
	30-90 cm	90	6.21	91.7	11.5	263	270	5.8
	30-90 cm	50	5.81	84.9	20.7	257	270	4.3
	30-90 cm	70	6.08	89.1	14.7	261	270	5.3
	30-100 cm	100	6.42	93.9	9.3	267	315	5.7
	30-100 cm	50	5.95	86.2	19.7	260	315	4.2
30-100 cm	75	6.30	91.5	12.4	265	315	5.3	

*) Akkumuleret aktuel fordampning for månederne maj-juli

Tabel A2. Årsgennemsnit for kerneudbytter (tørstof og kvælstof), kvælstofudvaskning og fordampning simuleret for 100 år med Daisy-modellen. Endvidere beregnet biokulforbrug samt gennemsnitligt årligt merudbytte (udbytte – udbytte for kontroljorden uden vanding) per mængde anvendt biokul. Data for store biokulpartikler af typen SB205 ("Straw Biochar" med en medianværdi for partikeldiameter på 205 µm).

Biokul	Behandling	Max rodd. cm	Kerneudbytte (tørstof DM og N)		Kvælstofudv. Kg NO ₃ ⁻ - N/ha	Fordampning mm ^{*)}	Biokulforbrug, BF Mg/ha	Årligt merudbytte DM/BF, kg/Mg
			Tørstof, Mg/ha	Kvælstof, kg N/ha				
Ingen (kontrol)	Ingen	50	4.64	73.7	39.1	224	0	-
	Vanding	50	5.47	74.2	39.3	258	0	-
1.5% SB205	30-60 cm	60	4.77	76.1	34.1	228	68	1.9
	30-60 cm	50	4.70	74.2	38.0	226	68	0.9
	30-60 cm	55	4.70	74.9	36.0	227	68	0.9
	30-70 cm	70	4.85	77.6	31.3	230	90	2.3
	30-70 cm	50	4.69	74.1	38.0	226	90	0.6
	30-70 cm	60	4.80	76.4	34.0	229	90	1.8
	30-80 cm	80	4.95	79.6	28.4	231	113	2.8
	30-80 cm	50	4.64	73.4	38.4	226	113	0.0
	30-80 cm	65	4.82	77.1	32.1	229	113	1.6
	30-90 cm	90	5.06	81.4	25.9	233	135	3.1
	30-90 cm	50	4.70	74.0	37.9	227	135	0.4
	30-90 cm	70	4.87	77.9	30.7	230	135	1.7
	30-100 cm	100	5.16	83.1	23.8	235	158	3.3
	30-100 cm	50	4.71	74.2	37.7	227	158	0.4
	30-100 cm	75	4.96	79.4	28.7	232	158	2.0
3.0% SB205	30-60 cm	60	4.80	76.6	32.9	229	135	1.2
	30-60 cm	50	4.70	74.3	37.1	227	135	0.4
	30-60 cm	55	4.77	75.9	34.2	228	135	1.0
	30-70 cm	70	4.93	78.8	29.2	232	180	1.6
	30-70 cm	50	4.68	74.0	37.2	227	180	0.2
	30-70 cm	60	4.83	76.8	32.5	230	180	1.1
	30-80 cm	80	5.07	81.3	25.8	234	225	1.9
	30-80 cm	50	4.69	74.1	36.9	227	225	0.2
	30-80 cm	65	4.90	78.2	30.0	231	225	1.2
	30-90 cm	90	5.17	83.1	23.5	236	270	2.0
	30-90 cm	50	4.71	74.2	36.7	227	270	0.3
	30-90 cm	70	4.96	79.2	28.5	233	270	1.2
	30-100 cm	100	5.27	84.7	21.2	238	315	2.0
	30-100 cm	50	4.72	74.5	36.5	228	315	0.3
	30-100 cm	75	5.05	80.7	26.3	234	315	1.3

*) Akkumuleret aktuel fordampning for månederne maj-juli

Tabel A3. Variation af simulerede årsværdier for tørstof i kerner samt kvælstofudvaskning udtrykt ved standardafvigelse (SD; årsvariation) og fraktilværdier. Data for små biokulpartikler af typen SB15 ("Straw Biochar" med en medianværdi for partikeldiameter på 15 µm).

Biokul	Behandling	Max rodd. cm	Tørstof i kerne, Mg/ha		Kvælstofudvaskning, kg N/ha	
			Årsvariation (SD) *)	10% fraktil **)	Årsvariation (SD) *)	90% fraktil **)
Ingen (kontrol)	Ingen	50	1.5	2.72	24.6	75.0
	Vanding	50	1.4	3.31	24.0	73.1
1.5% SB15	30-60 cm	60	1.5	2.91	22.1	61.9
	30-60 cm	50	1.5	2.79	23.0	67.7
	30-60 cm	55	1.5	2.85	22.5	61.9
	30-70 cm	70	1.5	3.11	20.6	54.0
	30-70 cm	50	1.5	2.95	22.3	64.2
	30-70 cm	60	1.5	3.10	21.4	59.1
	30-80 cm	80	1.5	3.41	19.1	49.7
	30-80 cm	50	1.5	3.11	21.7	62.0
	30-80 cm	65	1.5	3.23	20.2	53.4
	30-90 cm	90	1.4	3.64	17.9	47.5
	30-90 cm	50	1.5	3.19	21.4	60.6
	30-90 cm	70	1.4	3.43	19.4	51.9
	30-100 cm	100	1.4	3.84	16.7	43.5
	30-100 cm	50	1.4	3.28	20.9	60.2
30-100 cm	75	1.4	3.66	18.3	50.4	
3.0% SB15	30-60 cm	60	1.5	3.36	19.3	53.8
	30-60 cm	50	1.5	3.24	20.2	57.9
	30-60 cm	55	1.5	3.32	19.5	54.6
	30-70 cm	70	1.4	3.76	16.7	43.1
	30-70 cm	50	1.4	3.61	18.7	52.0
	30-70 cm	60	1.5	3.66	17.6	47.3
	30-80 cm	80	1.4	4.08	14.7	36.6
	30-80 cm	50	1.4	3.86	17.6	49.2
	30-80 cm	65	1.4	4.10	15.8	40.7
	30-90 cm	90	1.3	4.52	12.9	29.4
	30-90 cm	50	1.3	4.07	16.9	48.7
	30-90 cm	70	1.3	4.31	14.4	38.2
	30-100 cm	100	1.1	5.11	11.3	24.6
	30-100 cm	50	1.3	4.34	16.2	45.4
30-100 cm	75	1.2	4.88	13.0	31.4	

*) Usikkerhed på gennemsnittet (SE) kan findes ved at dividere SD med $10 = 100^{0.5}$

**) Udbyttet er lavere og udvaskningen højere end de anførte værdier i 10 % af årene

Tabel A4. Variation af simulerede årsværdier for tørstof i kerner samt kvælstofudvaskning udtrykt ved standardafvigelse (SD; årsvariation) og fraktilværdier. Data for store biokulpartikler af typen SB205 ("Straw Biochar" med en medianværdi for partikeldiameter på 205 µm).

Biokul	Behandling	Max rodd. cm	Tørstof i kerne, Mg/ha		Kvælstofudvaskning, kg N/ha	
			Årsvariation (SD) *)	10% fraktil **)	Årsvariation (SD) *)	90% fraktil **)
Ingen (kontrol)	Ingen	50	1.5	2.72	24.6	75.0
	Vanding	50	1.4	3.31	24.0	73.1
1.5% SB205	30-60 cm	60	1.5	2.75	22.1	66.2
	30-60 cm	50	1.5	2.77	23.0	73.1
	30-60 cm	55	1.5	2.82	22.5	71.7
	30-70 cm	70	1.5	2.84	20.6	63.6
	30-70 cm	50	1.5	2.72	22.3	74.9
	30-70 cm	60	1.5	2.85	21.4	66.5
	30-80 cm	80	1.5	2.95	19.1	56.3
	30-80 cm	50	1.5	2.70	21.7	74.7
	30-80 cm	65	1.5	2.83	20.2	64.6
	30-90 cm	90	1.5	3.08	17.9	54.6
	30-90 cm	50	1.5	2.76	21.4	74.2
	30-90 cm	70	1.5	2.88	19.4	62.2
	30-100 cm	100	1.4	3.23	20.4	52.8
	30-100 cm	50	1.5	2.80	24.4	72.8
30-100 cm	75	1.5	2.97	22.1	58.9	
3.0% SB205	30-60 cm	60	1.5	2.87	23.1	65.7
	30-60 cm	50	1.5	2.72	24.3	74.2
	30-60 cm	55	1.5	2.73	23.5	69.8
	30-70 cm	70	1.5	2.90	22.0	61.1
	30-70 cm	50	1.5	2.73	24.2	73.4
	30-70 cm	60	1.5	2.82	23.0	66.8
	30-80 cm	80	1.5	3.08	20.8	53.3
	30-80 cm	50	1.5	2.74	23.9	72.6
	30-80 cm	65	1.5	2.90	22.2	62.5
	30-90 cm	90	1.5	3.21	20.0	50.3
	30-90 cm	50	1.5	2.75	24.1	72.2
	30-90 cm	70	1.5	3.00	21.8	60.3
	30-100 cm	100	1.4	3.37	19.0	48.1
	30-100 cm	50	1.5	2.77	23.9	72.2
30-100 cm	75	1.5	3.08	21.0	56.2	

*) Usikkerhed på gennemsnittet (SE) kan findes ved at dividere SD med $10 = 100^{0.5}$

**) Udbyttet er lavere og udvaskningen højere end de anførte værdier i 10 % af årene

Appendiks B.

Daisy opsætningsfiler (specifikation af de gennemførte simuleringer)

1.1 Daisy setup files

1.1.1 setup.dai

This file contains the 62 simulations.

```
;;; setup.dai --- Main BioAdapt setup file.

(input file "log.dai")
(input file "tillage.dai")
(input file "fertilizer.dai")
(input file "crop.dai")
(input file "markvand.dai")
(input file "dk-horizon.dai")
(input file "management.dai")
(input file "output.dai")
(input file "hydraulic.dai")
(input file "soil.dai")
(input file "climate.dai")

(defprogram common Daisy
  (time 2998 1 1)
  (activate_output (after 3000 1 1))
  (stop 3100 1 1)
  (weather PRESENT)
  (manager SB)
  (column CONTROL)
  (output Yield "Water usage 4-7" "Water usage 5-7"
    ("Field water" (when yearly))
    ("Field nitrogen" (when yearly))
    ("Soil nitrogen" (when yearly) (to -1 [m]))
    harvest
    ("Carbon Balance" (when yearly)))

(defprogram SBI-SBI-SBI common
  "Scenario SBI-SBI-SBI unmodified soil irrigated"
  (manager SBIJB1)
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
    (Groundwater deep))))

(defprogram NONE-NONE-NONE common
  "Scenario NONE-NONE-NONE (unmodified soil)"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
    (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC60-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC60-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB1_5_SB15))
```

```

                (-200 [cm] CONTROL))
            (border -1 [m])
            (MaxRootingDepth 50 [cm]))
        (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB15-INC60-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC60-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 55 [cm]))
  (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC60-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC60-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC70-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC70-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC70-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC70-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC70-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC70-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 70 [cm]))
  (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC80-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC80-NONE"
  (column (original

```

```

        (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                    (-80 [cm] SB1_5_SB15)
                    (-200 [cm] CONTROL))
            (border -1 [m])
            (MaxRootingDepth 50 [cm]))
        (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB15-INC80-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC80-SOME"
  (column (original
            (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                            (-80 [cm] SB1_5_SB15)
                            (-200 [cm] CONTROL))
                (border -1 [m])
                (MaxRootingDepth 65 [cm]))
            (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC80-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC80-FULL"
  (column (original
            (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                            (-80 [cm] SB1_5_SB15)
                            (-200 [cm] CONTROL))
                (border -1 [m])
                (MaxRootingDepth 80 [cm]))
            (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC90-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC90-NONE"
  (column (original
            (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                            (-90 [cm] SB1_5_SB15)
                            (-200 [cm] CONTROL))
                (border -1 [m])
                (MaxRootingDepth 50 [cm]))
            (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC90-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC90-SOME"
  (column (original
            (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                            (-90 [cm] SB1_5_SB15)
                            (-200 [cm] CONTROL))
                (border -1 [m])
                (MaxRootingDepth 70 [cm]))
            (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC90-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC90-FULL"
  (column (original
            (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                            (-90 [cm] SB1_5_SB15)
                            (-200 [cm] CONTROL))
                (border -1 [m])
                (MaxRootingDepth 90 [cm]))
            (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB15-INC100-NONE common

```

```

"Scenario SB1_5_SB15-INC100-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB15-INC100-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC100-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 75 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB15-INC100-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB15-INC100-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB1_5_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 100 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC60-NONE common
  "Scenario SB3_SB15-INC60-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC60-SOME common
  "Scenario SB3_SB15-INC60-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 55 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC60-FULL common
  "Scenario SB3_SB15-INC60-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep)))

```

```

(defprogram SB3_SB15-INC70-NONE common
  "Scenario SB3_SB15-INC70-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC70-SOME common
  "Scenario SB3_SB15-INC70-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC70-FULL common
  "Scenario SB3_SB15-INC70-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 70 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC80-NONE common
  "Scenario SB3_SB15-INC80-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-80 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC80-SOME common
  "Scenario SB3_SB15-INC80-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-80 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 65 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC80-FULL common
  "Scenario SB3_SB15-INC80-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-80 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])

```

```

        (MaxRootingDepth 80 [cm]))
    (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC90-NONE common
  "Scenario SB3_SB15-INC90-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-90 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC90-SOME common
  "Scenario SB3_SB15-INC90-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-90 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 70 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC90-FULL common
  "Scenario SB3_SB15-INC90-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-90 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 90 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC100-NONE common
  "Scenario SB3_SB15-INC100-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC100-SOME common
  "Scenario SB3_SB15-INC100-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB3_SB15)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 75 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB15-INC100-FULL common
  "Scenario SB3_SB15-INC100-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB3_SB15)

```



```

                (-200 [cm] CONTROL))
            (border -1 [m])
            (MaxRootingDepth 100 [cm]))
        (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC60-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC60-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC60-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC60-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 55 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC60-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC60-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC70-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC70-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC70-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC70-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC70-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC70-FULL"
  (column (original

```

```

        (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                    (-70 [cm] SB1_5_SB205)
                    (-200 [cm] CONTROL))
            (border -1 [m])
            (MaxRootingDepth 70 [cm]))
        (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC80-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC80-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                    (-80 [cm] SB1_5_SB205)
                    (-200 [cm] CONTROL))
      (border -1 [m])
      (MaxRootingDepth 50 [cm]))
    (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB205-INC80-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC80-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                    (-80 [cm] SB1_5_SB205)
                    (-200 [cm] CONTROL))
      (border -1 [m])
      (MaxRootingDepth 65 [cm]))
    (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB205-INC80-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC80-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                    (-80 [cm] SB1_5_SB205)
                    (-200 [cm] CONTROL))
      (border -1 [m])
      (MaxRootingDepth 80 [cm]))
    (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB205-INC90-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC90-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                    (-90 [cm] SB1_5_SB205)
                    (-200 [cm] CONTROL))
      (border -1 [m])
      (MaxRootingDepth 50 [cm]))
    (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB205-INC90-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC90-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
                    (-90 [cm] SB1_5_SB205)
                    (-200 [cm] CONTROL))
      (border -1 [m])
      (MaxRootingDepth 70 [cm]))
    (Groundwater deep))))

(defprogram SB1_5_SB205-INC90-FULL common

```

```

"Scenario SB1_5_SB205-INC90-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-90 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 90 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC100-NONE common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC100-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC100-SOME common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC100-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 75 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB1_5_SB205-INC100-FULL common
  "Scenario SB1_5_SB205-INC100-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB1_5_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 100 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC60-NONE common
  "Scenario SB3_SB205-INC60-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC60-SOME common
  "Scenario SB3_SB205-INC60-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 55 [cm]))
  (Groundwater deep)))

```

```

(defprogram SB3_SB205-INC60-FULL common
  "Scenario SB3_SB205-INC60-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-60 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC70-NONE common
  "Scenario SB3_SB205-INC70-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC70-SOME common
  "Scenario SB3_SB205-INC70-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 60 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC70-FULL common
  "Scenario SB3_SB205-INC70-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-70 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 70 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC80-NONE common
  "Scenario SB3_SB205-INC80-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-80 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC80-SOME common
  "Scenario SB3_SB205-INC80-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-80 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])

```

```

        (MaxRootingDepth 65 [cm]))
    (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC80-FULL common
  "Scenario SB3_SB205-INC80-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-80 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 80 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC90-NONE common
  "Scenario SB3_SB205-INC90-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-90 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC90-SOME common
  "Scenario SB3_SB205-INC90-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-90 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 70 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC90-FULL common
  "Scenario SB3_SB205-INC90-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-90 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 90 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC100-NONE common
  "Scenario SB3_SB205-INC100-NONE"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC100-SOME common
  "Scenario SB3_SB205-INC100-SOME"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB3_SB205)

```

```

                (-200 [cm] CONTROL))
            (border -1 [m])
            (MaxRootingDepth 75 [cm]))
        (Groundwater deep)))

(defprogram SB3_SB205-INC100-FULL common
  "Scenario SB3_SB205-INC100-FULL"
  (column (original
    (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)
      (-100 [cm] SB3_SB205)
      (-200 [cm] CONTROL))
    (border -1 [m])
    (MaxRootingDepth 100 [cm]))
  (Groundwater deep)))

(defprogram all spawn
  (program SBI-SBI-SBI
    NONE-NONE-NONE
    SB1_5_SB15-INC60-NONE
    SB1_5_SB15-INC60-SOME
    SB1_5_SB15-INC60-FULL
    SB1_5_SB15-INC70-NONE
    SB1_5_SB15-INC70-SOME
    SB1_5_SB15-INC70-FULL
    SB1_5_SB15-INC80-NONE
    SB1_5_SB15-INC80-SOME
    SB1_5_SB15-INC80-FULL
    SB1_5_SB15-INC90-NONE
    SB1_5_SB15-INC90-SOME
    SB1_5_SB15-INC90-FULL
    SB1_5_SB15-INC100-NONE
    SB1_5_SB15-INC100-SOME
    SB1_5_SB15-INC100-FULL
    SB3_SB15-INC60-NONE
    SB3_SB15-INC60-SOME
    SB3_SB15-INC60-FULL
    SB3_SB15-INC70-NONE
    SB3_SB15-INC70-SOME
    SB3_SB15-INC70-FULL
    SB3_SB15-INC80-NONE
    SB3_SB15-INC80-SOME
    SB3_SB15-INC80-FULL
    SB3_SB15-INC90-NONE
    SB3_SB15-INC90-SOME
    SB3_SB15-INC90-FULL
    SB3_SB15-INC100-NONE
    SB3_SB15-INC100-SOME
    SB3_SB15-INC100-FULL
    SB1_5_SB205-INC60-NONE
    SB1_5_SB205-INC60-SOME
    SB1_5_SB205-INC60-FULL
    SB1_5_SB205-INC70-NONE
    SB1_5_SB205-INC70-SOME
    SB1_5_SB205-INC70-FULL
    SB1_5_SB205-INC80-NONE
    SB1_5_SB205-INC80-SOME
    SB1_5_SB205-INC80-FULL
    SB1_5_SB205-INC90-NONE

```

```

SB1_5_SB205-INC90-SOME
SB1_5_SB205-INC90-FULL
SB1_5_SB205-INC100-NONE
SB1_5_SB205-INC100-SOME
SB1_5_SB205-INC100-FULL
SB3_SB205-INC60-NONE
SB3_SB205-INC60-SOME
SB3_SB205-INC60-FULL
SB3_SB205-INC70-NONE
SB3_SB205-INC70-SOME
SB3_SB205-INC70-FULL
SB3_SB205-INC80-NONE
SB3_SB205-INC80-SOME
SB3_SB205-INC80-FULL
SB3_SB205-INC90-NONE
SB3_SB205-INC90-SOME
SB3_SB205-INC90-FULL
SB3_SB205-INC100-NONE
SB3_SB205-INC100-SOME
SB3_SB205-INC100-FULL)

;;(run all)

(run (nwaves (scenario BIOCHAR DEPTH ROOTZONE)))

;;; setup.dai ends here.

```

1.1.2 management.dai

This file contain the two managements (with and without irrigation).

```

;;; management.dai --- Crop management for BioAdapt.

(input file "Sbarley_New.dai")

(defcrop "SB" "SB_test")
(defcrop "CC" "Winter Rape")

(defaction "SB1" activity
  (wait_mm_dd 3 12)
  (fertilize (N25S (weight 120 [kg N/ha])))
  (plowing)
  (wait_mm_dd 3 15)
  (seed_bed_preparation) (sow "SB" (seed 180 [kg w.w./ha]))
  (wait (or (crop_ds_after "SB" 2.0 []) (mm_dd 10 1)))
  (harvest "SB" (stub 8 [cm]) (stem 70 [%]) (leaf 70 [%]))
  (wait_days 4)
  (sow "CC"))

(defaction IrrigateJB1 markvand
  (soil JB1)
  (map ("WW" "vinterhvede")
    ("SB" "vaarbyg")))

(defaction "SB" activity
  SB1 store_SOM (repeat (activity SB1 restore_SOM)))

```

```
(defaction "SBIJB1"  
  (while SB (IrrigateJB1)))
```

```
;;; management.dai ends here.
```

1.1.3 soil.dai

Description of the soil horizons.

```
;;; soil.dai --- Soil used for BioAdapt
```

```
(defhorizon Ap USDA3  
  "Source: DANESPO?"  
  (hydraulic Ap)  
  (dry_bulk_density 1.47 [g/cm^3])  
  (clay 3.30 [%])  
  (silt 8.23 [%])  
  (sand 86.97 [%])  
  (humus 1.5 [%]))
```

```
(defhorizon CONTROL USDA3  
  (hydraulic CONTROL)  
  (dry_bulk_density 1.53 [g/cm^3])  
  (clay 1.5 [%])  
  (silt 1.6 [%])  
  (sand 96.0 [%])  
  (humus 0.9 [%]))
```

```
(defhorizon SB3_SB15 CONTROL  
  (hydraulic SB3_SB15))
```

```
(defhorizon SB1_5_SB15 CONTROL  
  (hydraulic SB1_5_SB15))
```

```
(defhorizon SB3_SB205 CONTROL  
  (hydraulic SB3_SB205))
```

```
(defhorizon SB1_5_SB205 CONTROL  
  (hydraulic SB1_5_SB205))
```

```
(defcolumn CONTROL default  
  (Soil (horizons (-30 [cm] Ap)  
          (-200 [cm] CONTROL))  
    (border -1 [m])  
    (MaxRootingDepth 50 [cm]))  
  (Groundwater deep))
```

```
;;; soil.dai ends here
```

1.1.4

1.1.5 hydraulic.dai

Description of the hydraulic properties measured and fitted with HYPROP.


```

;;; hydraulic.dai --- Soil used for BioAdapt

(defhydraulic Ap hyprop
  "Original Ap horizon."
  (w 0.583 0.417 [])
  (alpha 0.0207 0.0285 [cm^-1])
  (n 1.581 8.390 [])
  (Theta_res 0.080 [])
  (Theta_sat 0.404 []) ; But porosity 0.44 []?
  (h0 6.8 [pF])
  (K_sat 198.6 [cm/d])
  (tau 2.565 [])
  (omega 0.000319 [])
  (a -1.5 []))

(defhydraulic CONTROL hyprop
  "Original B horizon."
  (w 0.745 0.255 [])
  (alpha 0.0326 0.0311 [cm^-1])
  (n 5.291 2.028 [])
  (Theta_res 0.058 [])
  (Theta_sat 0.382 []) ; But porosity 0.43 []?
  (h0 6.8 [pF])
  (K_sat 2100.0 [cm/d])
  (tau 1.022 [])
  (omega 5.85e-6 [])
  (a -1.5 []))

(defhydraulic SB3_SB15 hyprop
  "B horizon with 3 % 15 um particles added."
  (w 0.637 0.363 [])
  (alpha 0.0160 0.0214 [cm^-1])
  (n 1.748 10.668 [])
  (Theta_res 0.062 [])
  (Theta_sat 0.337 []) ; But porosity 0.43 []?
  (h0 6.8 [pF])
  (K_sat 220.2 [cm/d])
  (tau -0.219 [])
  (omega 1E-9 [])
  (a -1.5 []))

(defhydraulic SB1_5_SB15 hyprop
  "B horizon with 1.5 % 15 um particles added."
  (w 0.535 0.465 [])
  (alpha 0.027 0.0225 [cm^-1])
  (n 6.629 1.771 [])
  (Theta_res 0.054 [])
  (Theta_sat 0.323 [])
  (h0 6.8 [pF])
  (K_sat 305.1 [cm/d])
  (tau -0.145 [])
  (omega 0.0000653 [])
  (a -1.5 []))

(defhydraulic SB3_SB205 hyprop
  "B horizon with 3 % 205 um particles added."
  (w 0.36 0.64 [])
  (alpha 0.027 0.0395 [cm^-1])

```

```

(n 2.507 7.357 [])
(Theta_res 0.068 [])
(Theta_sat 0.372 [])
(h0 6.8 [pF])
(K_sat 1380.9 [cm/d])
(tau 1.177 [])
(omega 0.0000193 [])
(a -1.5 []))

(defhydraulic SB1_5_SB205 hyprop
  "B horizon with 1.5 % 205? um particles added."
  (w 0.587 0.413 [])
  (alpha 0.0328 0.0329 [cm^-1])
  (n 8.107 2.555 [])
  (Theta_res 0.06 [])
  (Theta_sat 0.365 [])
  (h0 6.8 [pF])
  (K_sat 1705.9 [cm/d])
  (tau 1.131 [])
  (omega 0.0000153 [])
  (a -1.5 []))

;;; hydraulic.dai ends here

```