

1. Delrapport for GUDP projektet Græs-Prof, Arbejdspakke 3

OPTIMERET NEDDELING FØR SKRUEPRESSE

Test af Seko-blander 2020



Rapporten er udarbejdet af:

Morten Ambye-Jensen, Lektor på Aarhus Universitet, Institut for Bio- og Kemiteknologi

Forsøg er udført i 2020 på Demoplatformen for forskning og udvikling af Grøn Bioraffinering på AU Foulum.

Forsøgene er gennemført i samarbejde med Advanced Substrate Technology A/S, der har stået for at levere og tilpasse neddelingsteknologien med Seko-blander og tilføjelse med One2Feed indføder system.

Formål med AP3

Formålet med arbejdsopgave 3 er at udvikle, demonstrere og sammenligne velegnede teknikker til at håndtere og neddele grønne biomasser forud for saftpresningen i den grønne bioraffinering. Når der høstes helt græs og kløver, skal det neddeles effektivt umiddelbart inden, det går i skruepressen, for at sikre et højt saft- og proteinudbytte henover processen. Høje udbytter er helt afgørende for at grøn bioraffinering kan blive økonomisk og klimamæssigt bæredygtigt - jo mere protein, der kan presses ud af biomasserne, jo bedre. På AU's demonstrations platform for grøn bioraffinering i Foulum afprøves tre forskellige neddelingsmetoder og sammenlignes med demoanlæggets græssnitter. Hvert år, de første tre år af projektet, testes der en ny neddelingsteknologi. Teknologiernes performance måles på energiforbrug, kontinuitet, kapacitetsudnyttelse og især saftudbytte og proteinudbyttet i pressesaften efter skruepresning. Der køres test på forskellige grønne biomasser med forskelligt vandindhold, proteinindhold, plantemæssig opbygning samt blad/stængel-forhold.

Beskrivelse af neddelingstest 2020

I det første projektår 2020 afprøves neddeling af grønne biomasser med en Seko fodermikser i samarbejde med firmaet Advanced Substrate Technology.

I 2020 blev der udført 5 neddelingstest på Seko fodermikser og sammenlignet med en stationær snitter som er designet og etableret specifikt til demoplatformen. Seko-mikseren er en Seko Samurai 7, 600/230, se figur 1. Specifikationer for maskinen kan findes her <https://sekoindustries.com/files/2018/07/Brochure-Unifeed-Seko-EN-5-2018.pdf>.



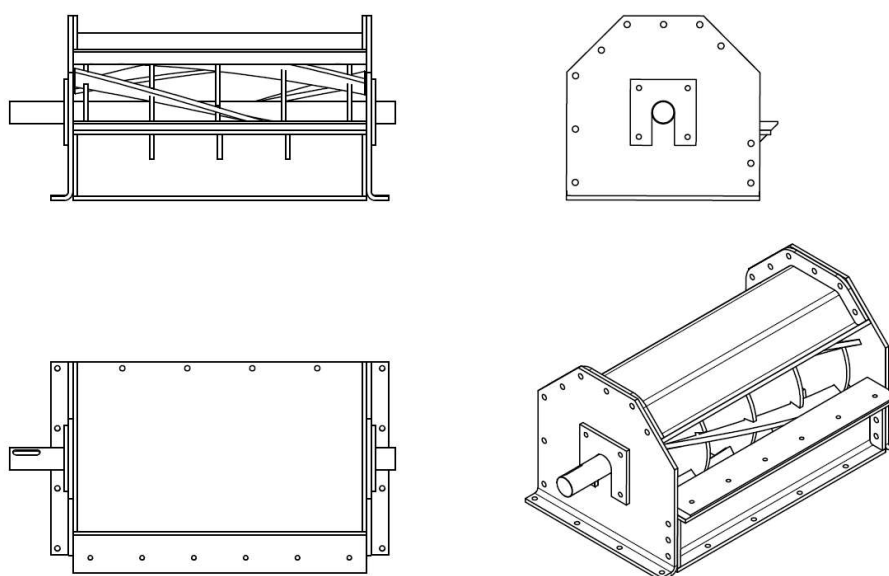
Figur 1 Billede af Seko Samurai 7, 600/230 som blev anvendt til neddelingstest 2020 på Demoplatform for grøn bioraffinering

Seko fodermikseren fungerer vha. to indad-roterende snegle i bunden af vognen der fra begge sider tvinger biomassen ned og frem mod midten af vognen, hvor der i den ene side er en hydraulisk luge, der kan åbnes, og hvor behandlet biomasse kastes ud. Sneglene har påmonterede knive som skærer i biomassen, mens den tvinges ned og frem. Når lugen er lukket, vil biomassen presses sammen på midten og flytte sig opad, hvor det skubber andet biomasse væk som derved falder ned i sneglene. På den måde bevæger biomassen sig rundt i to loop fra midten som vist på figur 2, mens det bliver gradvist mere og mere revet- og skåret i mindre stykker af sneglene og knivene.



Figur 2 Billede TV af Seko-mikserens to sneglene med påmonterede sorte knive. Billede TH af Seko-mikseren med illustration af biomassens bevægelse rundt i vognen når sneglende roterer og flytter biomasse mod lugen på midten af vognen.

Den stationære snitter er designet og konstrueret specifikt til AU demoplatformen på Foulum af egne maskinmestre. Konceptet minder om en traditionel håndskubbet græsslåmaskine med drejede skæreblade. Indførdningen på snitteren foregår ved hjælp af to transportbånd, én under og én over biomassen der klemmer sammen og leverer direkte ind til snitterens skærebord. Snitterbredden er 680mm og diameteren for de roterende blade er 700mm. Den er monteret med en 30 kW motor og roterer normalt med en omdrejningshastighed på 1000 RPM.



Figur 3 Skitse af demoplatformens stationære snitter

Sammenligningstest af de to beskrevne neddelingstyper blev udført 5 gange henover året, og hver neddelingstype blev udført så tæt op ad hinanden som muligt, typisk på hinanden følgende dage. Tabel 1 viser en oversigt over biomasser og datoer for hver neddelingstest. De forskellige tests er oftest sammenkørt med andre aktiviteter på Demonstrationsplatformen. Det er derfor ikke nødvendigvis den helt samme behandling der har været gennem de 5 forskellige test.

Tabel 1 Oversigt over testproduktioner der inkluderede sammenligning af neddelingsteknologier, samt info om andre aktiviteter der har været i gang på Demoplatformen under samme testproduktion.

Biomasse	Seko foder mikser test	Stationær snitter test	Evt. andre aktiviteter
Kløvergræs	26.05.2020	25.05.2020	Indkøring af nye varmevekslere
Rajsvingel/sukkergræs	10.06.2020	08.06.2020	Nanofiltreringsforsøg med brunsaft
Lucerne	23.06.2020	24.06.2020 & 25.06.2020	Differentieret varmebehandling med separation af 2 forskellige protein-koncentrater ("grøn" og "hvid")
Kløvergræs	23.09.2020	22.09.2020	Test af dobbeltpresning i skruepressen
Kløvergræs	29.09.2020	28.09.2020	Test af dobbeltpresning i skruepressen

Den usnittede friske biomasse er høstet med en MaxiGrass vogn <http://maksigrass.dk/>.

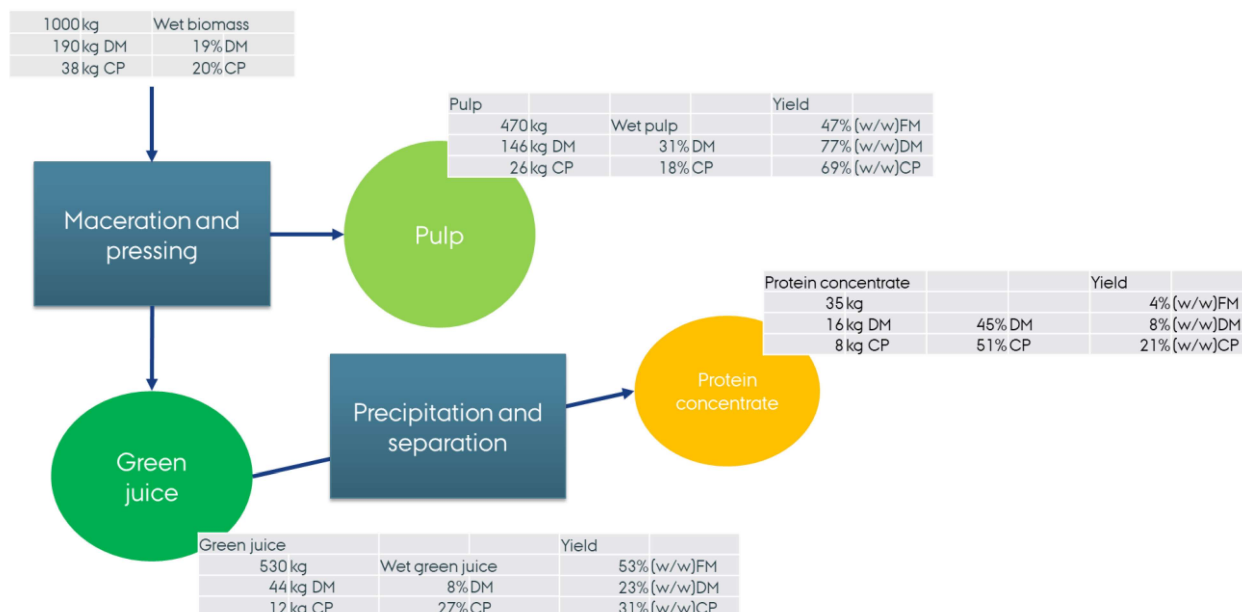
Skruepressen, hvori vådfractioneringen af alle neddelte biomasser er foretaget, er en Twin Screw Press P25 fra Cir-Tech <http://cir-tech.dk/wp-content/uploads/2019/01/Twin-press-15-v2.pdf>

Testen med Seco fodermikseren er dokumenteret i følgende video <https://www.seges.tv/video/65590700/neddeling-forste-trin-i>

De to teknologier er vældig forskellige i måden, hvorpå de opereres. Den stationære snitter er designet til at køre kontinuert sammen med demoanlæggets indfødningsystem. Seko fodermikseren er designet til at operere i batch, hvormed en vis mængde usnittede biomasse loades i mikseren og får en vis behandlingstid med lugen lukket. Efter den ønskede behandlingstid åbnes lugen, og hele mængden skal derefter leveres ned i skruepressen. De praktiske forhold der kommer med denne forskel og udformningen af Demoplatformen i Foulum giver en vist usikkerhed i forhold til behandlingen. Eksempelvis er der i Seko setuppet stor forskel på, hvor lang tid der går fra endt behandling i Seko-mikseren til, hvornår den neddelte biomasse bliver presset i skruepressen – noget af biomassen bliver presset få minutter efter og noget op til 30 minutter efter. Hvad betydning dette har er ikke til at afgøre ud fra disse forsøg.

Testen inkluderer måling af massebalancer og analyser af tørstof- og råproteinindhold i samtlige processtrømme. Resultaterne fokuserer således på udbyttet af de forskellige processtrømme (pulp, grønsaft, og proteinkoncentrat) mht. vådvægt, tørstof og råprotein.

Figur 3 giver et eksempel på en massebalance for pulp, grønsaft og proteinkoncentrat, beregnet i vådvægt (FM=fresh matter), tørstof (DM=dry matter) og råprotein (CP=crude protein). Dette eksempel kan anvendes til forståelsen af massebalanceresultaterne i rapporten. Eksemplet er en typisk massebalance der er opnået på Demoplatformen i Foulum i opstartsåret 2019 uden betydelig optimering af anlægget. Her ses at kun 8% af input tørstof og 21% af råprotein ender i proteinkoncentratet. Dette er kun ca halvdelen af hvad der skal til for at gøre forretningsmodellen økonomisk bæredygtig, og understreger at der er behov for at forbedre udbyttet af proteinkoncentrat – eksempelvis med bedre neddeling.



Figur 4 Eksempel på massebalance for Pulp, Grønsaft (green juice) og Proteinkoncentrat (Protein concentrate), beregnet i vådvægt (FM=fresh matter), tørstof (DM=dry matter) og råprotein (CP=crude protein). Brunsaft er ikke inkluderet i figuren. Da eksemplet antager en lukket massebalance uden tab vil de resterende mængder vådvægt, tørstof og råprotein kunne tilskrives brunsaften. Således vil 49% (w/w) FM, 15% (w/w) DM og 10% (w/w) CP ende i brunsaften.

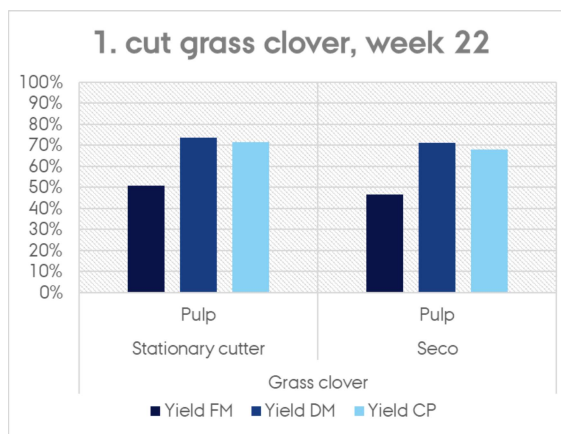
Resultater for neddelingstest

Tabel 2 viser indholdet af tørstof og råprotein i samtlige procesfraktioner fra neddelingstesten. Disse er blevet anvendt til beregning af massebalancerne i de efterfølgende grafer. Tørstof- og råproteinindholdet giver samtidig relevante informationer omkring, hvordan hver enkelt testproduktion er gået. Eksempelvis er indholdet af tørstof i pulpen et mål for hvor godt skruepressen har kunne presse væske ud af den pågældende biomasse. Samtidig kan indholdet af råprotein i proteinkoncentratet være et mål for kvaliteten af proteinkoncentraterne. Jo højere proteinindhold i koncentratet, jo bedre kvalitet i forhold til foder og fordøjelighed.

I de nedenstående afsnit vil massebalancerne for hver neddelingstest blive præsenteret og diskuteret.

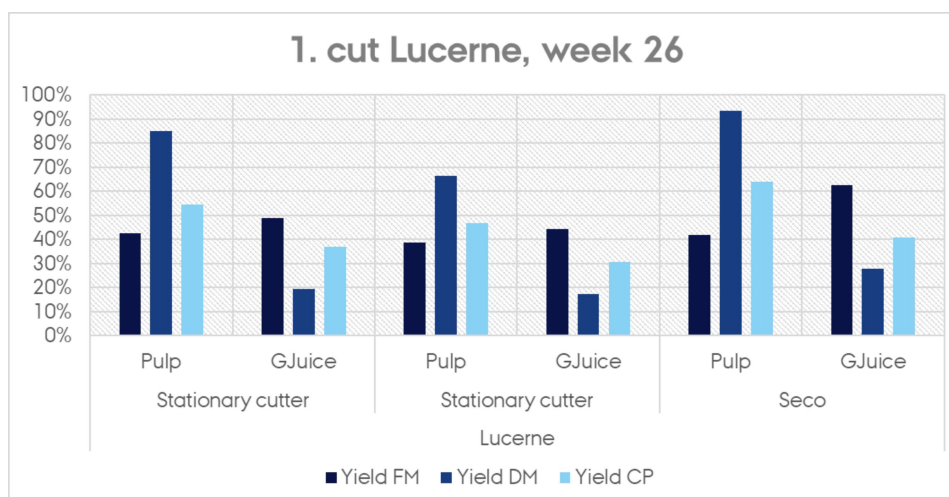
Tabel 2 Oversigt over forsøg på Demoplatformen der inkluderede neddelingstest, samt resultater for tørstof og råproteinindhold i forskellige proces fraktioner.

Dato	Neddeling	Biomasse	Proces fraktion	Tørstof indhold	Råprotein i tørstof
25-05-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Frisk biomasse	22%	10%
25-05-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Pulp	31%	10%
25-05-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Grønsaft	10%	11%
26-05-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Frisk biomasse	20%	9%
26-05-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Pulp	30%	8%
26-05-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Grønsaft	9%	10%
08-06-2020	Stationær snitter	Rajsvingel	Frisk biomasse	17%	24%
08-06-2020	Stationær snitter	Rajsvingel	Pulp	39%	17%
08-06-2020	Stationær snitter	Rajsvingel	Grønsaft	6%	32%
08-06-2020	Stationær snitter	Rajsvingel	Proteinkoncentrat	35%	64%
10-06-2020	Seko mikser	Rajsvingel	Frisk biomasse	19%	21%
10-06-2020	Seko mikser	Rajsvingel	Pulp	36%	18%
10-06-2020	Seko mikser	Rajsvingel	Grønsaft	8%	26%
10-06-2020	Seko mikser	Rajsvingel	Proteinkoncentrat	43%	64%
11-06-2020	Seko mikser	Sukkergræs	Frisk biomasse	19%	20%
11-06-2020	Seko mikser	Sukkergræs	Pulp	34%	18%
11-06-2020	Seko mikser	Sukkergræs	Grønsaft	7%	20%
11-06-2020	Seko mikser	Sukkergræs	Proteinkoncentrat	45%	57%
23-06-2020	Seko mikser	Lucerne	Frisk biomasse	18%	17%
23-06-2020	Seko mikser	Lucerne	Pulp	40%	12%
23-06-2020	Seko mikser	Lucerne	Grønsaft	8%	26%
23-06-2020	Seko mikser	Lucerne	Proteinkoncentrat (grøn - preheat ved 55C)	34%	46%
23-06-2020	Seko mikser	Lucerne	Proteinkoncentrat (hvid - efterfølgende 85C)	50%	69%
24-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Frisk biomasse	22%	15%
24-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Pulp	43%	10%
24-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Grønsaft	9%	28%
24-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Proteinkoncentrat (grøn - clearat uden preheat)	17%	31%
24-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Proteinkoncentrat (hvid - efterfølgende 85C)	49%	59%
25-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Frisk biomasse	22%	16%
25-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Pulp	37%	11%
25-06-2020	Stationær snitter	Lucerne	Grønsaft	9%	28%
22-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Frisk biomasse	14%	18%
22-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Pulp - 2x presning	32%	18%
22-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Grønsaft	5%	24%
22-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	40%	55%
23-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Frisk biomasse	13%	19%
23-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Pulp - 2x presning	33%	20%
23-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Grønsaft	5%	22%
23-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	44%	54%
28-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Frisk biomasse	17%	19%
28-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Pulp - 2x presning	35%	20%
28-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Grønsaft	5%	22%
28-09-2020	Seko mikser	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	38%	52%
29-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Frisk biomasse	16%	20%
29-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Pulp - 2x presning	33%	17%
29-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Grønsaft	6%	27%
29-09-2020	Stationær snitter	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	45%	55%



Figur 5 Udbytter i % (masse ud/masse ind) af Pulp i første neddelingstest 25.- og 26.05.2020, beregnet i vådvægt (FM=fresh matter), tørstof (DM=dry matter) og råprotein (CP=crude protein). Testen inkluderede kun massebalance for pulp.

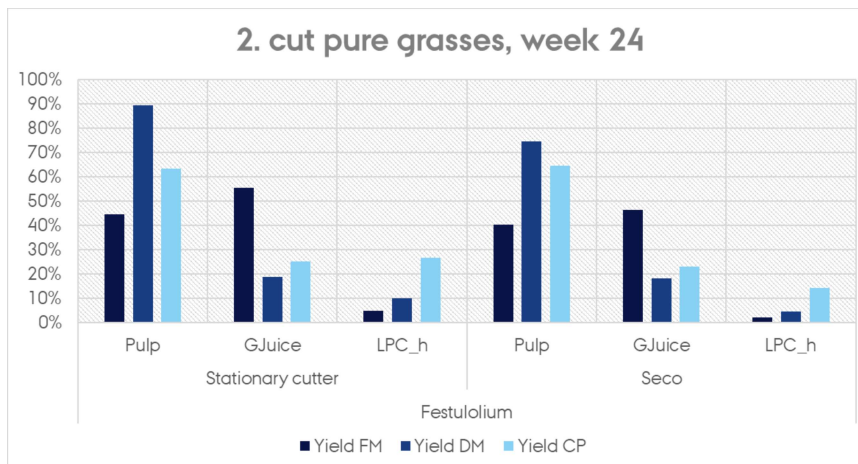
Den første test af Seko mikseren blev udført på 1. slæt kløvergræs og massebalancen blev kun kvantificeret i forhold til pulpen, da teknikerressourcerne primært blev anvendt til at optimere den nye opsætning og juicen skulle anvendes til indkøring af nye varmevekslere. Resultatet på figur 5 viser en lille forskel i mængden af pulp hvormed Seko mikseren gav anledning til en anelse mindre pulp, målt både i mængden af frisk vægt, tørstof og råprotein, end den stationære mikser.



Figur 6 Udbytter i % (masse ud/masse ind) af Pulp og Grønsaft (Gjuice) i tredje neddelingstest 23.- 24.- og 25.06.2020, beregnet i vådvægt (FM=fresh matter), tørstof (DM=dry matter) og råprotein (CP=crude protein).

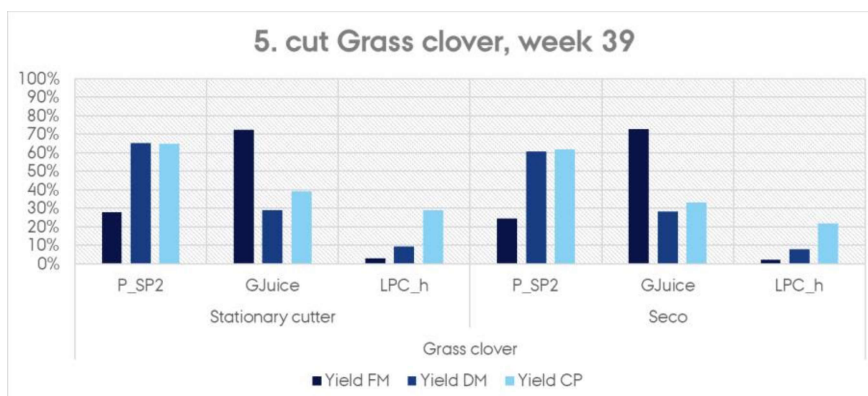
Figur 6 viser udbytteresultaterne for testen foretaget på 1. slæt lucerne. Her blev ikke målt på proteinkoncentratet da lucerne juicen skulle anvendes til forsøg med forskellige metoder til protein udfældning i projektet AlfaMaxBioraf. Fra pulp- og juice-resultaterne kan det ses at der er stor variation i massebalance data. Tørstofudbyttet i pulpen er hhv. 84%, 66% og 92% i de tre test med stationær, stationær og seko fodermikser. Hvis der kigges på juiceudbyttet, er det dog Seko fodermikser-forsøget der giver anledning til den største mængde tørstof og råprotein hvor hhv. 28% og 40% ender i juicen. Tørstofudbyttet for Seko mikseren overestimeres således til 120% (92%+28%), hvilket ikke kan lade sig gøre, og det er svært at sige om det er TS-data i pulp eller i juice, der afviger mest fra virkeligheden. Det blev iagttaget under testen, at Seko mikseren var god til at neddele og mose lucerne biomassen, og især bladfraktionen herfra, hvorimod den stationære snitning i mindre grad fik neddelt bladfraktionen. Dette kan være en mulig forklaring på et højere juiceudbytte i Seko mikseren for dette forsøg. Det er dog meget

svært at lave nogle stærke konklusioner på data fra dette forsøg pga. den store variation og usikkerhed i massebalancen.

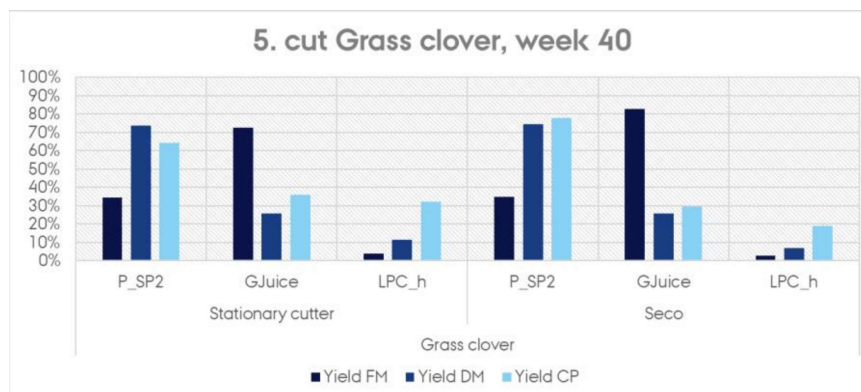


Figur 7 Udbytter af Pulp, Grønsaft (Gjuice) og proteinkoncentrat (LPC_h) i anden neddelingstest 22.- og 23.09.2020, beregnet i vådvægt (FM=fresh matter), tørstof (DM=dry matter) og råprotein (CP=crude protein).

Figur 7 viser udbytteresultatet fra test på ren rajsvingel græs. Dette forsøg var det første der inkluderede udbytterne for proteinkoncentratet. Som i lucerneforsøget i figur 6 er der stadig usikkerheder og variationer i tørstof-massebalancen for pulp og juice. Her overestimeres udbyttet af TS fra den stationære snitter til 107% (89%+18%) og underestimeres til 91% (74%+17%) for Seko mikseren. Det var dog et tydeligt resultat, at der kom mere proteinkoncentrat ud af det rajsvingel, der var snittet, end det der var neddelt i Seko-mikseren. Tørstofudbyttet i proteinkoncentratet var således hhv. 10% og 5%, og råproteinudbyttet hhv. 27% og 14% - altså næsten en fordobling af udbyttet for snitteren.



Figur 8 Udbytter af Pulp, Grønsaft (Gjuice) og Proteinkoncentrat (LPC_h) i fjerde neddelingstest 10.- og 11.06.2020, beregnet i vådvægt (FM=fresh matter), tørstof (DM=dry matter) og råprotein (CP=crude protein).



Figur 9 Udbytter af Pulp, Grønsaft (Gjuice) og Proteinkoncentrat (LPC_h) i femte neddelingstest 28.- og 29.09.2020, beregnet i vådvægt (FM=fresh matter), tørstof (DM=dry matter) og råprotein (CP=crude protein).

Figur 8 og 9 viser udbytteresultater fra de to sidste sammenligningstest i efteråret 2020. Disse tests blev foretaget på samme kløvergræsblending (DLF nr 42) fra midt til slut september. Begge test inkluderede dobbeltpresning, som var tilføjet for at hæve udbytterne af protein i juice og koncentrat, der generelt havde vist sig at ligge for lavt på Demoplatformen. Resultaterne viser, at der i uge 39 forsøget (figur 8) stadig er usikkerheder i forbindelse med at "lukke" massebalancen for tørstof i pulp og juice. Her underestimeres mængden af tørstof ud af skruepressen for både stationær snitning og Seko mikseren. I uge 40 testen passer tørstof massebalancen i pulp og juice og ender på 100% i begge tilfælde. Det er en pointe at procesoperatørerne og laboranterne på demoplatformen er blevet bedre hen over sæsonen 2020 til at køre processen, notere massebalance data, undgå spild og udtage prøver så ens som muligt.

Der ses ikke store forskelle mellem udbytterne for pulp og juice mellem snitning og Seko mikser, men i begge test (figur 8 og 9) resulterer snitningen i mere proteinkoncentrat og højere råprotein-udbytter sammenlignet med Seko mikseren.

Grunden til højere proteinkoncentrat-udbytter for snitningen i både ren græs og kløvergræs, kan ikke bestemmes direkte ud fra disse forsøg. Mulige forklaringer kan inkludere, at snitningen har været effektiv nok neddeling af græs og kløvergræs, og at den direkte kontinuerede processering har minimeret biologisk nedbrydning af proteinerne i juicen, hvilket sker over tid. Til sammenligning har Seko mikseren ligeledes opnået effektiv neddeling, men den batchvise processering, resulterende i længere opholdstider for neddelt biomasse, kan have øget den biologiske nedbrydning af protein.

Tilføjelse af nyt indfødningsystem

I forbindelse med neddelingstesten blev der – efter oplæg fra Advanced Substrate Technology - opstillet forsøg med et mere kontrollérbart indfødningsystem på Demoplatformen. Målet hermed var at få et system, der kunne modtage et fuldt læs fra MaXigrass høstvognen samt veje mængden af biomassen mens den kontrolleret fødes ind i anlægget. Hermed vil tab og afvigelser på input massebalance-data minimeres, og den praktiske arbejdsindsats reduceres, i og med at der ikke længere skulle læsses med traktor og skovl. Samtidig vil det være muligt at modtage både snittet og helt høstet biomasse, hvilket ikke var muligt før, samt muliggøre hurtigere omstilling med vask eller ingen vask – af biomassen.

Indføder-systemet er fra One2Feed og fungerer ved hjælp af walking floor samt et stejlt vinklet fødebord med medbringerer og afriverhjul.

Dette system viste i 2020 gode praktiske resultater, og den er siden blevet justeret til og installeret permanent på Demoplatformen fra sommeren 2021.



Diskussion

Der er stor forskel på de to forskellige neddelingsteknologier, der er blevet testet i 2020.

Seko mikseren har langsomt roterende snegle med knive, der ser ud til at være vældig effektiv på mange slags biomasser. Den opererer i batch, og har derfor relativ lang opholdstid for det af biomassen der bliver neddelt i starten af operationen. Seko mikseren er ikke optimalt i kontinuert drift, medmindre den ombygges. Den lange opholdstid kan give udfordringer med biologisk nedbrydning og krydsbinding af proteinerne, hvilket kan resultere i lavere udbytter og dårligere kvalitet. Ved evt. nedbrydning vil mindre protein kunne fældes fra juicen og effektivt separeres over i proteinkoncentratet. Ved evt. krydsbinding under neddelingen vil proteinet i højere grad risikere at blive i fiber-pulp fraktionen. Dette var dog på ingen måde testet i dette forsøg og vil kræve nye langt mere detaljerede forsøg at bestemme, hvad årsagen til de lavere udbytter er. Til gengæld gør langsomt roterende batch-operationen og den alsidige neddelingsteknologi, at Seko metoden er utrolig robust, og praktisk nem at få stillet an. Ydermere er det en kendt landbrugsmaskine, som landbruget nemt kan flytte rundt og teste på grøn bioraffinering i mindre skala eller evt. mobile saftpresser-systemer.

Konklusion

Seko fodermikseren og den stationære snitter ser ud til at neddele forskellige grønne biomasse i stort set samme grad, dog med undtagelse af lucerne som lod til at blive bedre bearbejdet med Seko end med snitteren. Udbytterne af grøn juice ved brug af Seko mikseren blev vist til både at være højere og lavere end for den stationære snitter. Variationer og usikkerheder på målingen af massebalancerne giver en udfordring i forhold til at fortolke resultaterne for pulp og juice. Udbytterne for proteinkoncentratet viste sig, i alle tre test, hvor denne del blev inddraget, at være mindre for Seko mikseren, både i vådvægt, i tørstof og for råprotein. Det formodes at det lavere udbytte hænger sammen med nedbrydning og krydsbinding af protein under den længere opholdstid for neddelt biomasse, der opstår ved at Seko mikserens neddeler i batch.

Indføder-systemet er fra One2Feed fungerede godt og gav gode praktiske resultater. Den er siden blevet justeret til og installeret permanent på Demoplatformen fra sommeren 2021.