

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

OPTIMERET NEDDELING FØR SKRUEPRESSE

Test af opblanding og neddeling med rotacut og disrupter 2021

Rapporten er udarbejdet af:

Morten Ambye-Jensen, lektor ved Institut for Bio- og Kemiteknologi, Aarhus Universitet

Forsøg er udført i 2021 på demoplatformen for forskning og udvikling af Grøn Bioraffinering på AU Viborg, forskningsenhed Foulum.

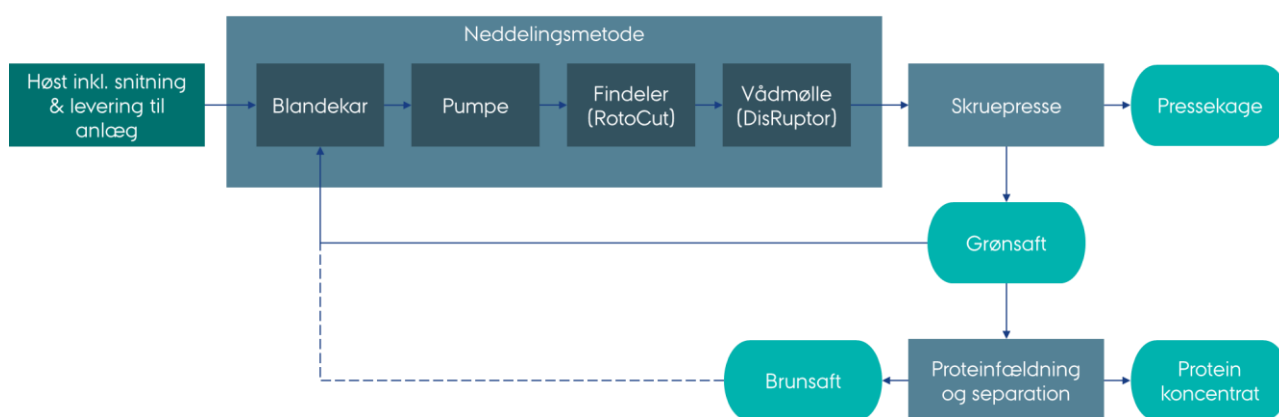
Formålet med AP3

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 græs og kløver, skal det neddeles effektivt og helst umiddelbart inden, det går i skruepressen for at sikre et højt saft- og proteinudbytte hen over 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 demoplatform for grøn bioraffinering i Foulum afprøves tre forskellige neddelingsmetoder og sammenlignes med demoanlæggets græssnitte. 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 2021

Neddelingsmetoden, der blev testet i sæsonen 2021, bestod af flere procestrin som sammen havde til formål at give en langt mere grundig neddeling end tidligere afprøvet på demoplatformen i Foulum. Disse procestrin ses på figur 1, markeret med mørkeblå, og inkluderede et blandekar (Trioliet, Solomix 1-1200) til opblanding af friskhøstet grøn biomasse i væske (enten vand eller recirkuleret grønsaft), en pumpe der pumper den opblandede væskestrøm gennem systemet, en findeler (Vogelsang RotaCut RC 3000, figur 2 tv.) og efterfølgende en vådmølle (Vogelsang DisRuptor DR7000, figur 2 th.) hvori biomassen mere mases igennem procesudstyret. Alle dele af processen er baseret på kendt udstyr fra biogas- og anden biomasse industrier, men er ikke tidligere anvendt på denne måde til neddeling af frisk grøn biomasse.



Figur 1: Simpelt flowdiagram for opsætningen som blev anvendt til neddelingstest 2021 på Demoplatform for grøn bioraffinering



Figur 2: Billede t.v. af Vogelsang RotaCut RC 3000. Billede t.h. af Vogelsang DisRuptor

Indledende forsøg gjorde det hurtigt klart, at den anvendte opblanding ikke fungerede med græs, der var høstet helt og snittet med den stationære snitter på demoplatformen, hertil var snitningen ikke effektiv nok. Derfor blev testen i 2021 baseret på biomasse, der blev snittet mere effektivt under høsten i marken. Høstmetoden med snitning blev udført ved en skårlægning med en Lely 350 og snittet med en JF FCT 900 (figur 3).



Figur 3 Billede-eksempel af en JF FCT 900 snitter.

Dette blev gjort for både forsøg med ekstra neddeling og for forsøgene uden ekstra neddeling. Snitning i marken og tiden mellem denne snitning og selve processeringen giver anledning til mere biologisk aktivitet, der kan resultere i nedbrydning af protein samt brunfarvning, som er krydsbindinger mellem proteiner og andre plantestoffer (phenoler). I testene antages det, at denne biologiske aktivitet vil være den samme, da tiden fra snitning i marken og til processering blev holdt så konstant som muligt, og al biomasse blev processeret efter maks. 2 timer efter høst. Det er dog en pointe, at også mindre tidmæssige forskelle mellem sammenligningsforsøgene også kan påvirke resultaterne, især hvis der samtidig har været forskelle i temperatur, vandindhold og biologisk aktivitet på de pågældende dage sammenligningstestene er lavet.

Efter neddelingen blev juice og fiber fraktioneret i en skruepresse. 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>)

Sammenligningstest af de to beskrevne neddelingstyper blev udført tre gange i juni 2021, og hver neddelingstype blev udført så tæt op ad hinanden som muligt, typisk på følgende dage. Tabel 1 viser en oversigt over biomasser og datoer for hver neddelingstest.

Biomasse	Stationær snitter test	Ekstra neddeling test
Kløvergræs	02.06.2021	01.06.2021
Rajsvingel/sukkergræs	22.06.2021	24.06.2021
Kløvergræs	29.06.2021	28.06.2021

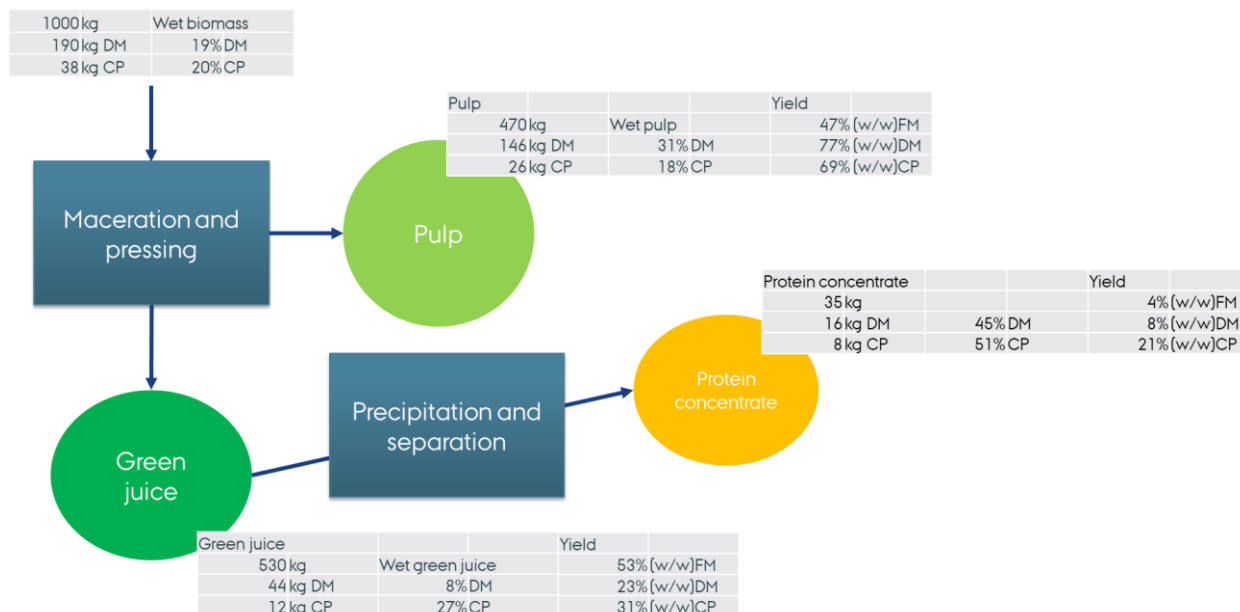
Tabel 1: Oversigt over testproduktioner der inkluderede sammenligning af neddelingsteknologier, samt info om andre aktiviteter der har været i gang på demoplatformen under samme testproduktion.

Testen med ekstra neddeling er yderligere dokumenteret og forklaret i følgende video: [Græs prof AP3 test 2021](#)

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 råproteinet ender i proteinkoncentratet. Dette er kun ca. halvdelen af, hvad der skal til for at gøre forretningsmodellen økonomisk bæredygtig, og det understreger, at der er behov for at forbedre udbyttet af proteinkoncentrat – f.eks. 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 2021

Tabel 2 viser indholdet af tørstof og råprotein i samtlige procesfraktioner fra neddelingstesten. Disse er blevet anvendt til beregning af massebalancerne i de efterfølgende figurer (5-7).

Tørstof- og råproteinindholdet giver samtidig relevante informationer om, hvordan hver enkelt testproduktion er gået. For eksempel er indholdet af tørstof i pulpen et mål for, hvor godt skruypressen 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. Testen d. 01.06 og 02.06 viste, at skruypressen kan have svært ved at presse fiberpulpen lige så tør for den ekstra neddeling. Pulp var afvandet til hhv. 35,8% og 28,3% tørstof - hhv. uden og med den ekstra neddeling, og det giver altså en forskel på 7,5%. Dette skyldes, at den ekstra neddeling opslæmmer biomassen i grønsaft og dermed er fødestrømmen til skruypressen langt mere våd, end når biomassen kommer direkte i efter snitningen i marken. Dette betød, at skruypressen skulle køres langsommere for test med ekstra neddeling for at fraktionere juice og pulp lige så godt. I den efterfølgende test var der ingen forskel på tørstofindholdet i fiberpulpen, der i begge tilfælde lå på 37%. For den tredje test d. 28.06 og 29.06 var der dog igen en markant forskel på 6,9% mindre tørstof indhold i pulpen fra den ekstra neddeling.

En anden forskel, der kan fremhæves, er at alle proteinkoncentraterne, der er produceret med ekstra neddeling, resulterer i et højere råproteinindhold end i sammenligningen uden ekstra neddeling.

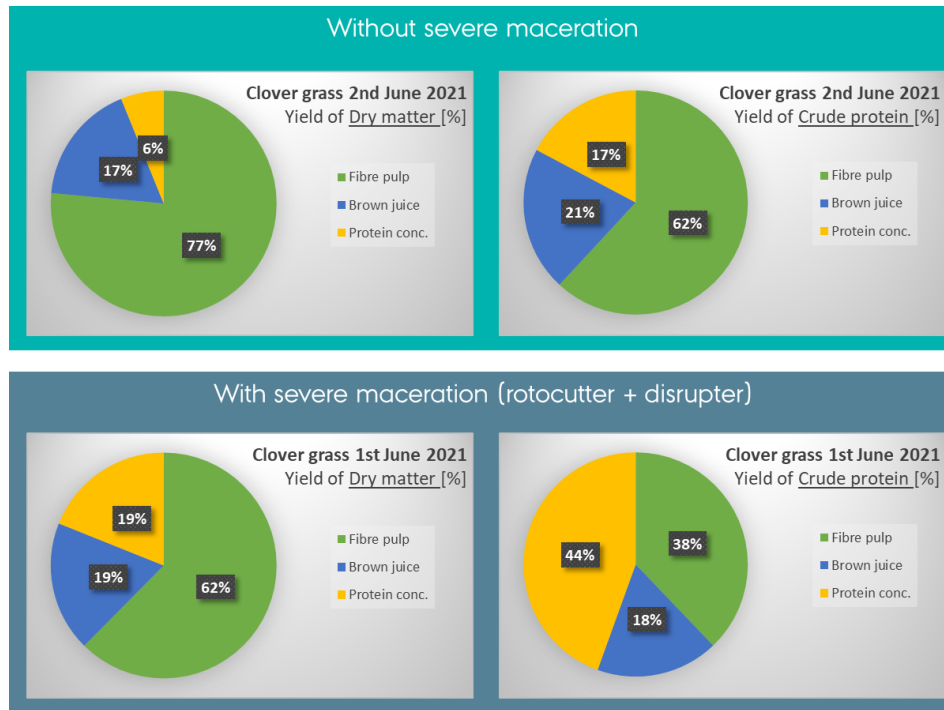
Dato	Neddeling	Biomasse	Proces fraktion	Tørstof indhold (% af våd vægt)	Råprotein i tørstof (% af tør vægt)
01.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Frisk biomasse	14,27	20,75
01.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Pulp	35,80	13,25
01.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Grønsaft	3,38	25,19
01.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	51,03	51,31
02.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Frisk biomasse	15,71	18,81
02.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Pulp	28,28	16,31
02.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Grønsaft	5,47	24,16
02.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	43,95	56,63
22.06.2021	Ekstra neddeling	Rajsvingel	Frisk biomasse	13,53	25,75
22.06.2021	Ekstra neddeling	Rajsvingel	Pulp	37,04	17,00
22.06.2021	Ekstra neddeling	Rajsvingel	Grønsaft	5,58	34,50
22.06.2021	Ekstra neddeling	Rajsvingel	Proteinkoncentrat	37,64	58,88
24.06.2021	Snitning i marken	Rajgræs	Frisk biomasse	15,35	18,69
24.06.2021	Snitning i marken	Rajgræs	Pulp	37,25	12,13
24.06.2021	Snitning i marken	Rajgræs	Grønsaft	4,18	24,16
24.06.2021	Snitning i marken	Rajgræs	Proteinkoncentrat	33,67	46,88
28.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Frisk biomasse	15,30	21,44
28.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Pulp	37,58	17,38
28.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Grønsaft	4,74	30,22
28.06.2021	Snitning i marken	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	50,26	54,13
29.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Frisk biomasse	15,63	15,06
29.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Pulp	30,71	19,13
29.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Grønsaft	7,16	27,28
29.06.2021	Ekstra neddeling	Kløvergræs	Proteinkoncentrat	42,15	56,94

Tabel 2: Oversigt over forsøg på Demoplatformen der inkluderer neddelingstest, samt resultater for tørstof (% af vådvægt) og råproteinindhold (% af tørstof) i forskellige proces fraktioner.

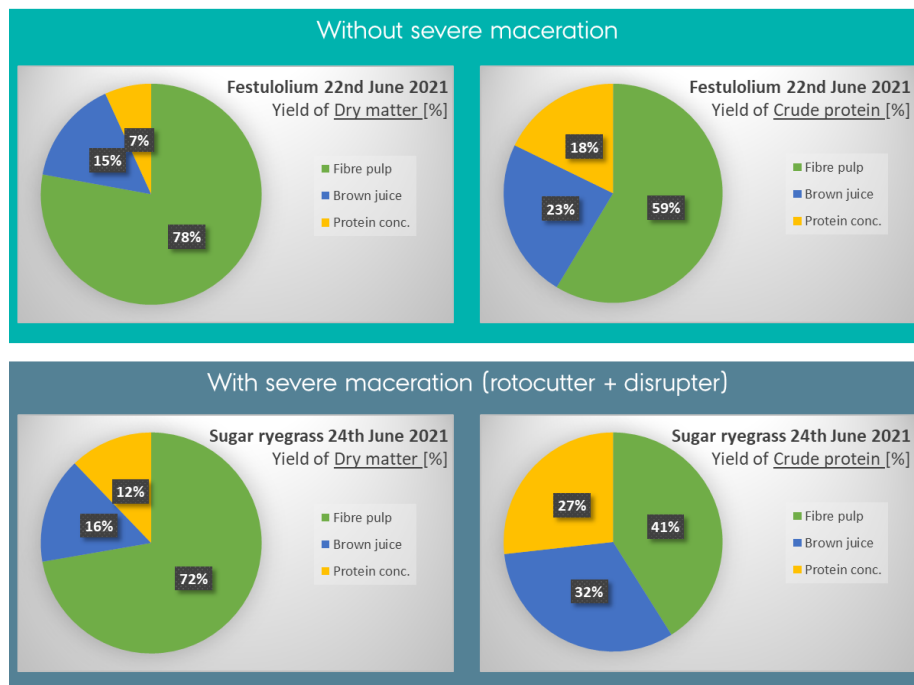
Figur 5 viser fordelingen mellem de tre produktfraktioner der kommer ud af bioraffineringsprocessen, fiberpulp, brunsaft og protein koncentrat, målt i hhv. fordelingen af tørstof og fordelingen af råprotein.

Det ses tydeligt, at andelen der går til hovedproduktet proteinkoncentrat (markeret med gul), stiger markant for testen med den ekstra neddeling. Målt i tørstof stiger udbyttet af proteinkoncentrat fra 6% til 19% af den mængde tørstof, der fødes ind i anlægget, og målt i råprotein stiger det fra 17% til 44%.

Dette giver udbytter, der er hhv. 3,16 og 2,59 gange højere end uden yderligere neddeling. Det er hertil værd at nævne, at udbyttet for testen uden ekstra neddeling ligger i den lave ende af, hvad der er opnået på demoplatformen i Græs-Prof testene i 2020, hvor udbyttet af råprotein varierede fra 14-32%, og udbyttet for testen med ekstra neddeling er det hidtil bedste udbytte, der er målt på demoplatformen siden 2019. Det ses samtidig, at det ekstra proteinkoncentrat kommer på bekostning af hhv. tørstof- og råprotein-udbyttet for fiberpulpen og at tabet af begge til brunsaften er nogenlunde ens for de to behandlinger.



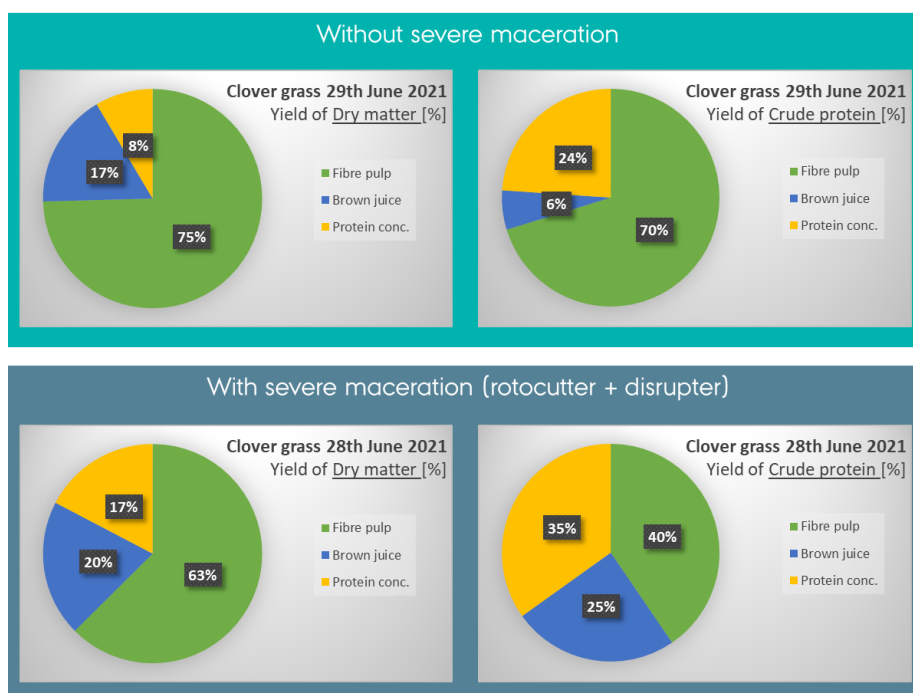
Figur 5: Udbyttefordelingen målt i tørstof (DM=Dry Matter) og råprotein (CP=Crude Protein) procent (masse ud/masse ind) for første neddelingstest d. 01.06.21 og 02.06.21 udført på kløvergræs. Øverst vises testen uden ekstra neddeling og nederst vises testen med ekstra neddeling.



Figur 6: Udbyttefordelingen målt i tørstof (DM=Dry Matter) og råprotein (CP=Crude Protein) procent (masse ud/masse ind) for første neddelingstest d. 22.06.21 og 24.06.21 udført på hhv. rajsvingel (festulolium) og rajgræs (sugar grass). Øverst vises testen uden ekstra neddeling og nederst vises testen med ekstra neddeling.

Figur 6 viser udbytteresultaterne for den anden test.

For denne test blev der pålagt et kompromis i og med at biomassen ikke var den samme for de to tests. Begge var dog græs i ren bestand hhv. rajsvingel (*festulolium*) og en rajgræssort fremavlet til højt sukkerindhold (sugar grass). Dette skyldtes, at tilgængeligheden af biomasse på den pågældende rajsvingelmark ikke kunne understøtte to kørsler, hvilket blev klart under processeringen af første del af testen. Testen var således ikke 100% optimal, og forskellene i udbytter kan også skyldes at ekstraherbarheden af protein fra de to forskellige græsser er forskellig. Derimod viser tidligere og senere forsøg at disse to græsser opfører sig relativt ens gennem bioraffineringen.



Figur 7: Udbyttefordelingen målt i tørstof (DM=Dry Matter) og råprotein (CP=Crude Protein) procent (masse ud/masse ind) for første neddelingstest d. 28.06.21 og 29.06.21 udført på kløvergræs. Øverst vises testen uden ekstra neddeling, og nederst vises testen med ekstra neddeling.

Testen på figur 6 viser igen at den ekstra neddeling resulterer i højere udbytter. Dog er stigningen langt fra lige så høj som for den første test (figur 5). Proteinkoncentratudbyttet stiger fra 7% til 12% for tørstof og 18% til 27% for råprotein. Altså hhv. en lille fordobling og stigning med en faktor 1,5.

Igen ses det, at det højere udbytte primært stammer fra en bedre ekstraktion af tørstof og råprotein fra fiberpulpen, men samtidig ses det, at der er en betydeligt tab af råprotein til brunsaften, som stiger fra 23% til 32% for testen med ekstra neddeling. Den markant mindre effekt af ekstra neddeling for testen kan derfor skyldes en større proteinnedbrydning under den ekstra neddelings proces. Det kan dog ligeledes skyldes, at der var tale om ren græs uden kløver, og samtidig at græssorten ikke var den samme i de to forsøg.

På figur 7 ses resultatet fra den tredje test af neddeling. Denne test blev lavet på 2. slæt af kløvergræs.

Udbytteresultaterne viser endnu en gang, at den ekstra neddeling er vældig effektiv til at øge mængden af både tørstof og råprotein, som ender i proteinkoncentratet. Udbyttet af råprotein i proteinkoncentratet for testen uden ekstra

neddeling, er faktisk ret pænt (24%), til trods for at tabet af råprotein til brunsaften er langt mindre end tidligere set, kun 6% ender her.

Alligevel øger den ekstra neddeling udbyttet fra hhv. 8% til 17% for tørstof og 24% til 35% for råprotein, hvilket svarer til en forøgelse på en faktor 2,1 og 1,5. Igen kommer det ekstra proteinkoncentratudbytte fra fiberpulpen, der reduceres i udbytte, og som i test to (figur 6) stiger tabet af råprotein til brunsaften markant ved ekstra neddeling. Kunne tabet til brunsaften reduceres til samme niveau som for testen uden neddeling (6%) ville udbyttet af råprotein i proteinkoncentratet være over 50%.

Diskussion

Alle tre tests fra 2021 viser en markant forbedring af proteinkoncentratudbyttet. Både andelen af tørstof og andelen af råprotein, der ender i proteinkoncentratet, øges, og dette vel at mærke med hhv. mindst en hel og en halv gang mere. Det er derfor tydeligt, at den ekstra neddeling har en positiv effekt for udbyttet, og resultaterne viser enstemmigt, at det øgede udbytte kommer af en bedre ekstraktion og separation fra den grønne biomasse, hvormed der ender mindre tørstof og mindre råprotein i fiberpulpen.

Samtidig viser koncentrationen af råprotein i proteinkoncentratet sig at stige for alle ekstra neddelingstests, hvilket er et tegn på, at det ekstra mængde tørstof, der ender i grønsaften og fældes med i proteinkoncentratet, ikke fortynder produktet i forhold til protein. Dette kunne dog godt frygtes i tilfælde af, at den ekstra tørstofekstraktion ikke bestod af proteiner, men af andre plantestoffer såsom kulhydrater, lipider eller andre cellevægskomponenter, der gennem voldsom neddelingen nemmere ender i grønsaften.

Den ekstra neddeling ser dog ud til at kunne øge tabet af råprotein til brunsaften ret betydeligt. Dette sås mest tydeligt i den tredje test (figur 7). Tabet af protein til brunsaften giver god mening, da den ekstra neddeling inkluderede en recirkulering af grønsaften for at kunne opblende biomassen og få en pumpbar strøm.

Denne recirkulering giver længere opholdstid for grønsaften og samtidig kan temperaturen i denne recirkulering stige en smule gennem pumper og neddelingsudstyret. Ved højere temperatur øges den enzymatiske nedbrydning af protein. Temperaturstigningerne blev ikke målt in-line i neddelingsprocessen, men manuelle målinger viste stigninger fra 20-25 grader. Tabet af protein til brunsaften kan reduceres ved at forkorte opholdstiden for den recirkulerede grønsaft eller, som i det ideelle proces-setup, anvende membranfiltreret brunsaft til denne opblanding i stedet for grønsaften. Dette er dog ikke en mulighed endnu på demoplatformen i Foulum. En anden vigtig erfaring fra forsøgene med ekstra neddeling viste, at effektiviteten for snitningen inden opblandingen samt opblandingsudstyret var helt afgørende for at få skabt en strøm, der kunne pumpes videre ind i rotocutteren og disrupteren. Optimering af denne del af proces-setuppet for dette års tests kunne ikke nås, i og med at alt var lånt udstyr. Det forventes, at optimering af hele processen vil kunne fjerne behovet for at snitte i marken og dermed give langt bedre kontrol over parametrene i forsøget samt reducere procestiden fra input til centrifugeret proteinprodukt og dermed mindske risiko for tab.

Da testen blev foretaget på lånt udstyr og ikke var helt optimalt dimensioneret til formålet, gav det ikke mening at regne helt nøjagtigt på energiforbruget. De elektriske enheder til den ekstra neddeling gav samlet et ekstra motorbehov på

30kW. Med det markant forøgede udbytte bør denne metode dog ikke øge energiforbruget per produceret kg proteinkoncentrat sammenlignet med standardprocessen. Dette bør måles mere nøjagtigt på et bedre integreret proces-setup.

Konklusion

Neddelingsmetoden med opblanding af biomassen til en pumpbar væskestrøm og efterfølgende neddeling i kendt teknologi fra bl.a. biogasindustrien tegner til at have stort potentiale for at øge udbytterne af proteinkoncentratet. Der er dog stort behov for betydelig optimering af selve installeringen af denne neddelingsmetode og derefter yderligere forsøg med metoden for at påvise og indfri dette potentiale.