

Projektpresentation



Green Valleys er et EU-projekt, der i løbet af 2018-2021 etablerede en udviklingsplatform til bioraffinering. Med et anlæg i Töreboda, Västra Götaland og et i Foulum, Midtjylland, kan vi demonstrere, hvordan bioraffinering kan udnytte græsarealer til at levere bæredygtigt producerede energiprodukter og proteinfoder.

Gennem et svensk-dansk forskningssamarbejde viser vi, hvordan cirkulær grøn bioøkonomi kan udnytte landbrugets potentiale. Vi udfører system- og lønsomhedsanalyser, der viser både klima- og miljøfordelene og forretnings-mulighederne i regionalt dyrkede græsafgrøder, hvor græsset forarbejdes til bæredygtig energi og foder af høj kvalitet.

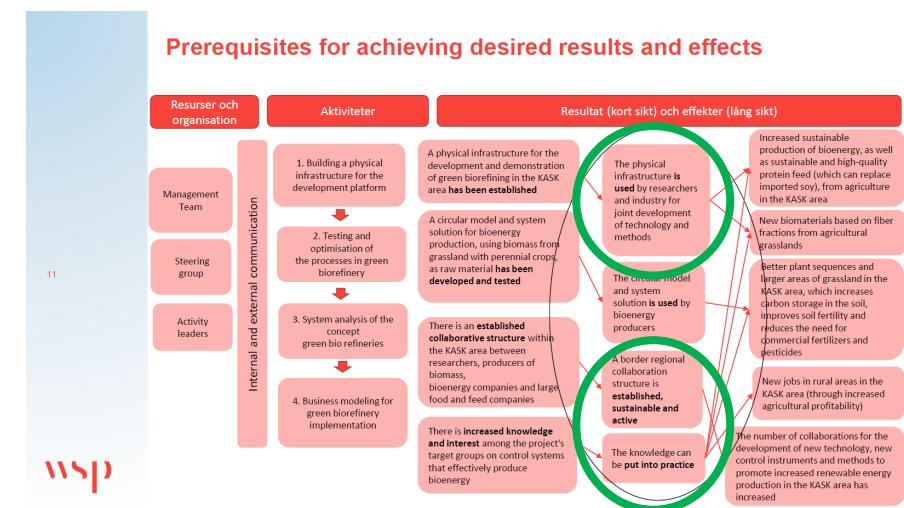
Resultat der opfylder målene:

Demoplatformen for grøn bioraffinering på AU Foulum er etableret, gennemtestet og fungere præcis som det var hensigten 😊

Platformen er omdrejningspunkt for test og udvikling af grøn bioraffinering i Danmark, og et effektivt værktøj til fremvisning og kommunikation af den nye teknologi.

Delrapport aktivitet 3 – Platform etablering

Uppbyggnad av en fysisk infrastruktur för utvecklingsplattformen



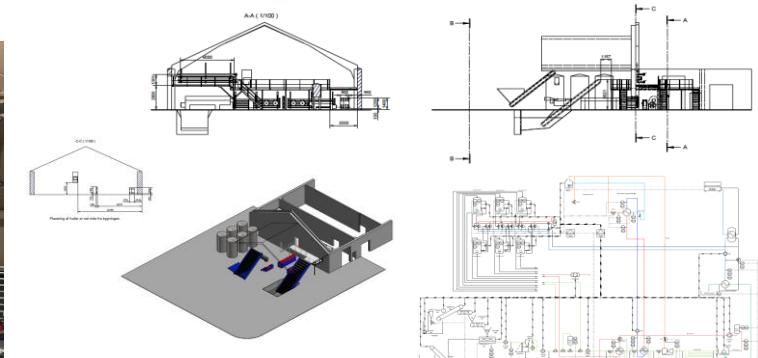
New Demonstration scale platform, 2019

For research and technology development in green biorefining

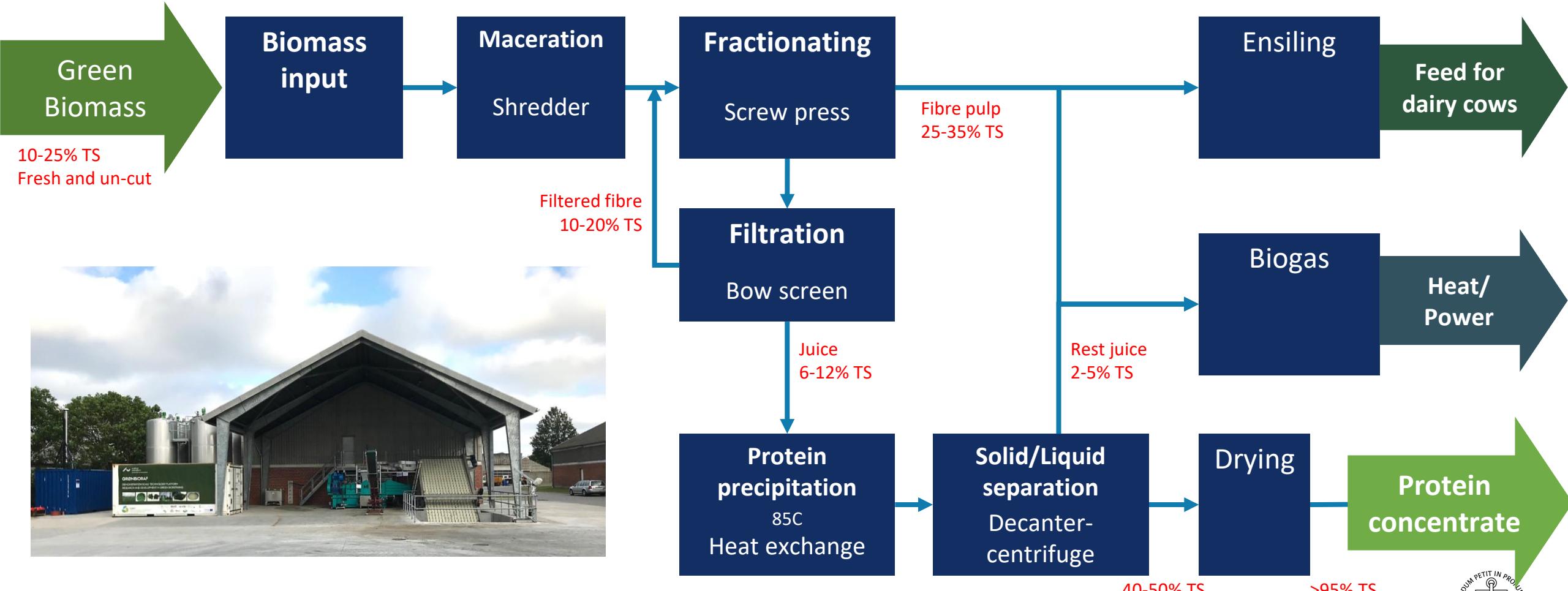
Green Valleys



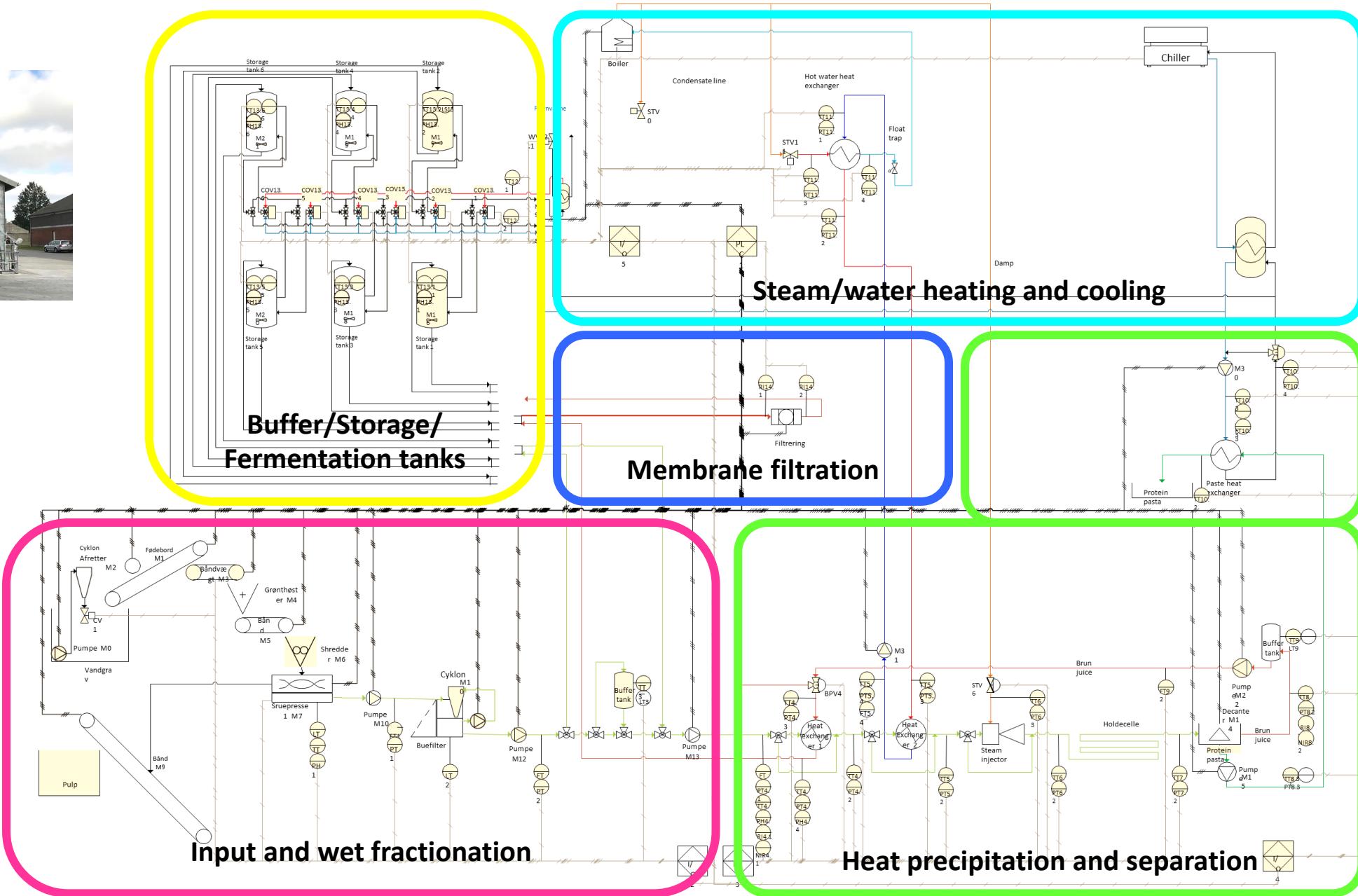
- **Input: 10 ton/hr**
- **Flexible process design**
- **Automatic control and extended datacollection**
- **Improved unit operations and processing**



AU FOULUM SIMPLE FLOW DIAGRAM



PID OF THE DEMONSTRATION PLATFORM



VIDEOS FROM DEMOPLATFORMEN

DEMOPROJEKTER

<https://youtu.be/fLyP8AfIA5w> Green Biorefinery Pilot plant 2018

<https://youtu.be/IMYHuYNWdE4>

https://youtu.be/y_hX77wOYF8

<https://youtu.be/-SQOvnutkNY>



HOFMANSGAVE FREMLÆGGELSE
 7 MAY 2021

MORTEN AMBYE-JENSEN
 ASSISTANT PROFESSOR

AARHUS UNIVERSITY
DEPARTMENT OF ENGINEERING

GRØNBIORAF

DEMONSTRATION SCALE TECHNOLOGY PLATFORM
RESEARCH AND DEVELOPMENT IN GREEN BIOREFINING



CBIO
AARHUS UNIVERSITY CENTRE FOR CIRCULAR BIOECONOMY

midt Central Denmark Region **gudp** **Climate-KIC**
dlg **DANISH CROWN** **DLF** **Arla** **INBIOM** **AGRO BUSINESS PARK**
Interreg Øresund-Kattegat-Skagerrak European Regional Development Fund
Green Valleys

Hvordan sikre vi fremtidig samarbejde og udvikling?

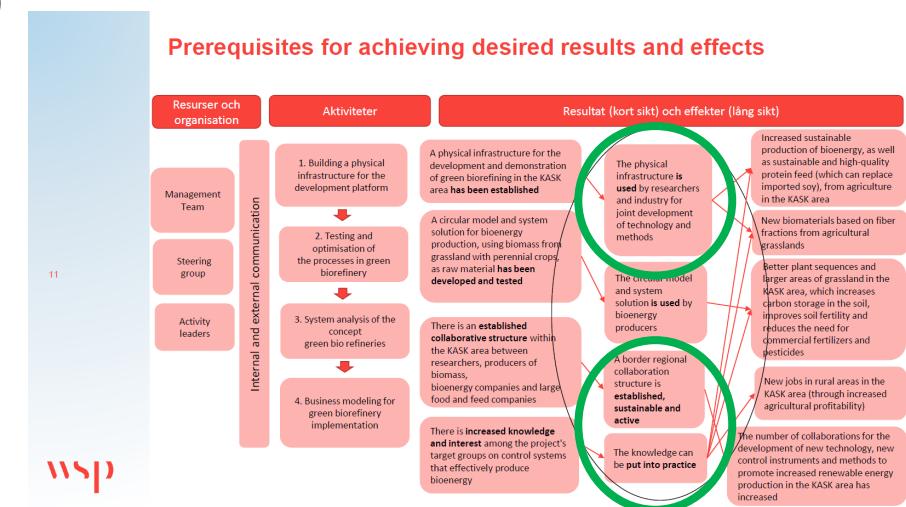
Demoplatformen for grøn bioraffinering på AU Foulum er en åben platform for forskning, udvikling og samarbejde!

Demoplatformen kan samarbejde med ALLE der har gode idéer, ønsker at bringe udviklingen fremad og dele erfaringerne.

Samarbejde kræver finansierede projekter –offentlige midler/private fonde/virksomhedsfinansierede (inddækket virksomhed)

Delrapport aktivitet 3 – Platform etablering

Uppbyggnad av en fysisk infrastruktur för utvecklingsplattformen



Successful implementering af Demoplatformen for grøn bioraffinering i Foulum

Dette bidrager positivt til
alle tre punkter...

Beskriv utifrån delaktivitetens målsättning:

- Hur utvecklingsplattformen praktiskt visualiseras eller stärker resultat.
- Hur resultaten blir en tillgång i att beskriva hur en regional circulär bioekonomi kan realiseras.
- Om och hur det gränsregionala samarbetet i delaktiviteten stärker kunskapspridning och incitament till nya initiativ/investeringar i grön bioraffinaderi och en ökad regional bioenergiproduktion.

Resultat der opfylder målene:

Demoplatformen for grøn bioraffinering på AU Foulum er blevet gennemtestet, styringen er blevet tilpasset og fremstår logisk og operationelt, og processerne som indgår i platformen er blevet optimeret én for én og i sammenhæng med hele anlægget ☺



Anlæggets fleksibilitet giver rig mulighed for test og optimering af alle aspekter af processen. De forskellige tests i 2020 inkludere

- Sammenligning af to neddelingsteknologier
- Test af høstmetoder
- Test af forskellige udfældnings metoder
- Differentieret varmebehandling og separation af grøn og hvid protein
- Membran filtrering til separation af både proteiner og kulhydrater (Ultrafiltrering og Nanofiltrering)

I 2021 er der flyttet rundt på enhedsoperationerne til input, neddeling, presning og filtrering – dette giver endnu mere fleksibilitet

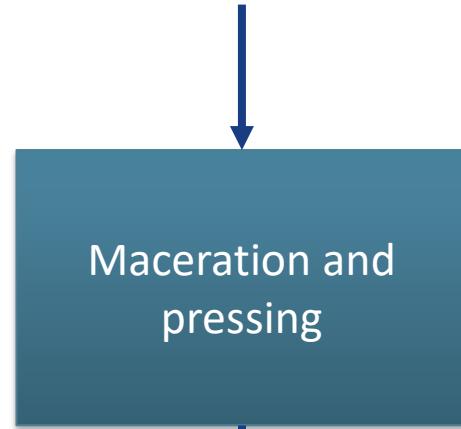
Delrapport aktivitet 4.3 – Test og optimering

Test och optimering av processerna i gröna
bioraffinaderier

Test og optimering vil fortsætte
mange år frem! ☺

MASSE BALANCE - FORKLARINGSEKSEMPEL

1000 kg	Wet biomass
190 kg DM	19% DM
38 kg CP	20% CP



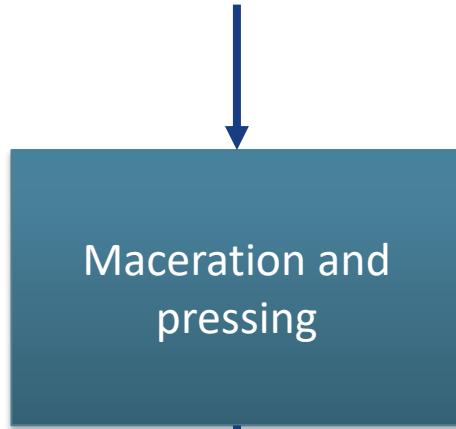
Pulp			Yield
470 kg	Wet pulp		47% (w/w)FM
146 kg DM	31% DM		77% (w/w)DM
26 kg CP	18% CP		69% (w/w)CP



Green juice		Yield
530 kg	Wet green juice	53% (w/w)FM
44 kg DM	8% DM	23% (w/w)DM
12 kg CP	27% CP	31% (w/w)CP

MASSE BALANCE - FORKLARINGSEKSEMPEL

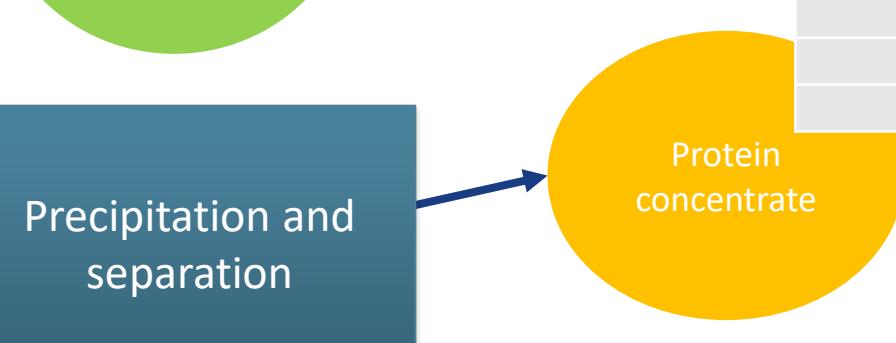
1000 kg	Wet biomass
190 kg DM	19% DM
38 kg CP	20% CP



Pulp	Yield
470 kg Wet pulp	47% (w/w) FM
146 kg DM	77% (w/w) DM
26 kg CP	69% (w/w) CP



Green juice	Yield
530 kg Wet green juice	53% (w/w) FM
44 kg DM	23% (w/w) DM
12 kg CP	31% (w/w) CP

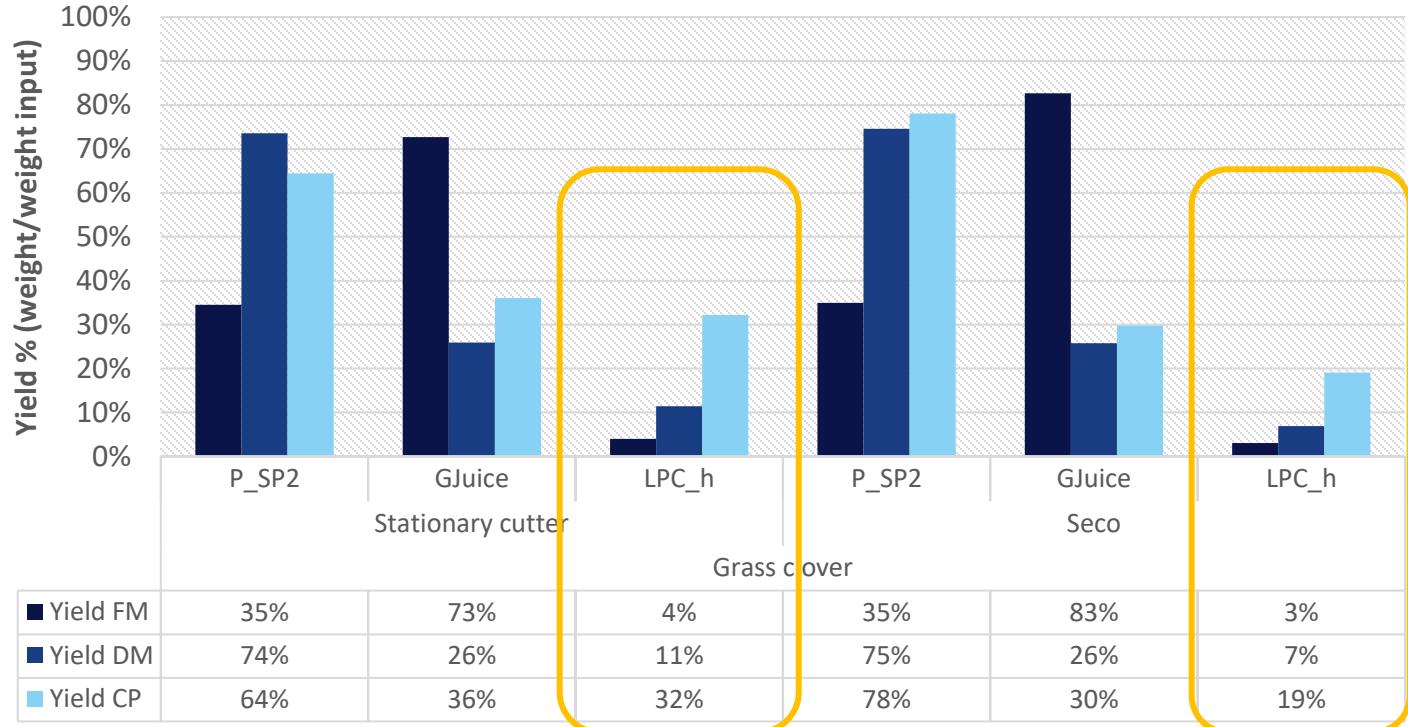


Protein concentrate	Yield
35 kg	4% (w/w) FM
16 kg DM	8% (w/w) DM
8 kg CP	21% (w/w) CP

IMPROVING YIELDS OF PROTEIN IN DEMONSTRATION SCALE TEST OF DIFFERENT TYPES OF MACERATION

The numbers are yields in %(weight/weight input material)

5. cut Grass clover, week 40

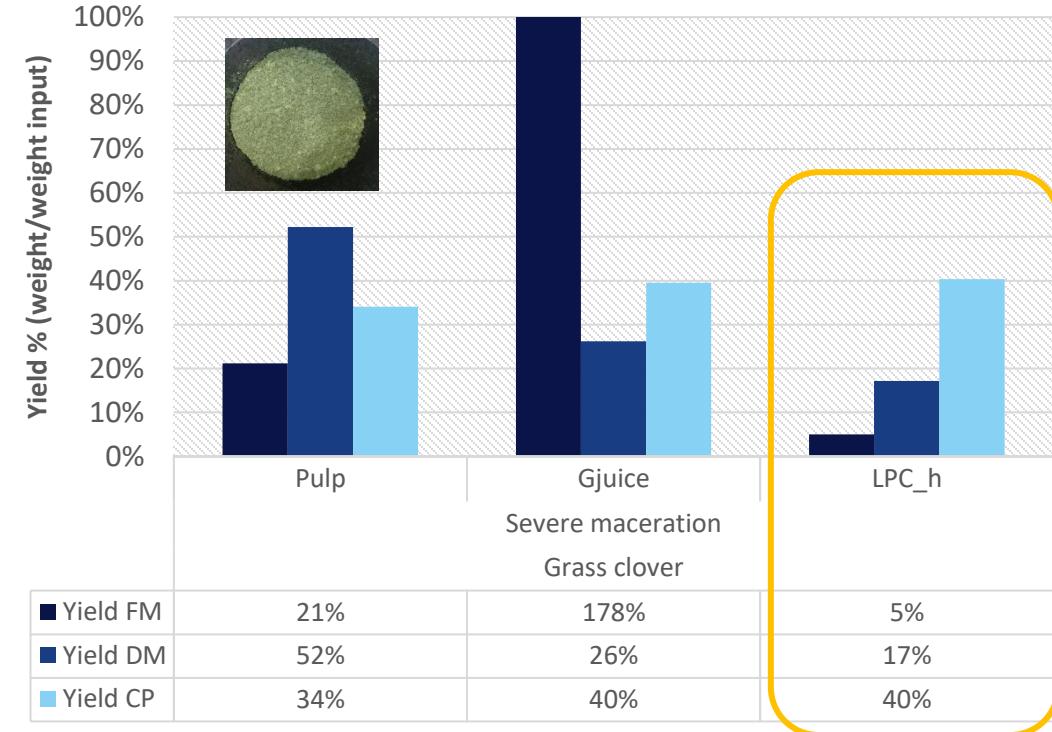


Stationary cutter

Slowly rotating feed mixer with knives

FM: Fresh matter; DM: Dry matter; CP: Crude protein

6. cut Grass clover, week 47, Severe maceration



This process includes the stationary cutter and a rotary knife cutter for meat processing. The cut biomass was mixed with water/liquid and pumped into the rotary knife cutter

Test af høstmetode og tid mellem høst og proces

Direkte opsamling,
Maxigrass 6-10cm



Skårlægger,
Snittevogn Pöttinger Jumbo, 3,5cm



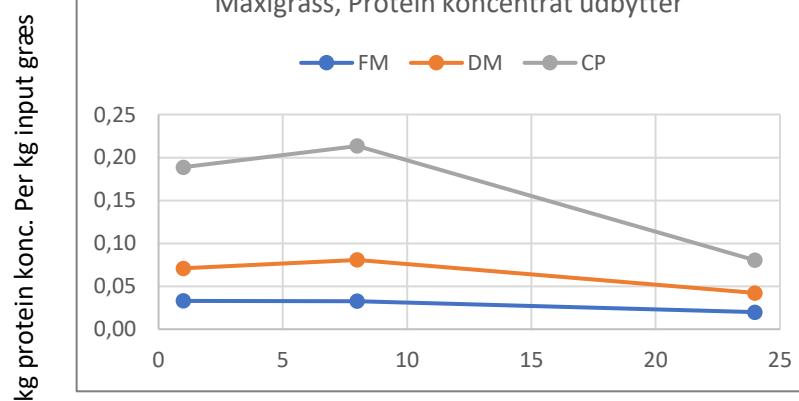
Skårlægger,
Finsnitter, 1,3cm



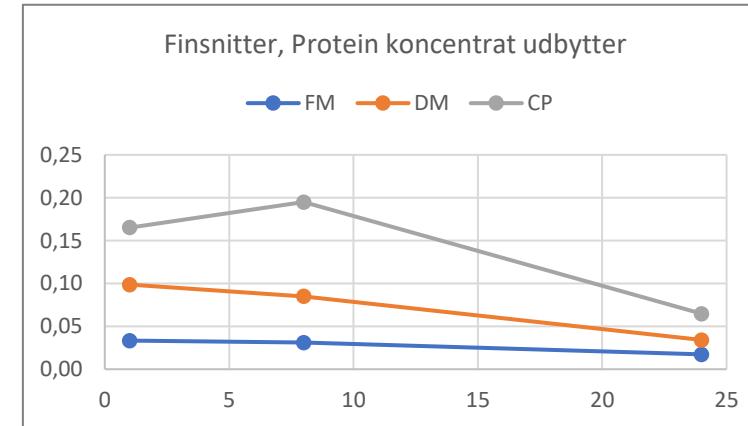
Sep 2020, Kløvergræsmark med hvidkløver, 15C, sparsom genvækst (kort græs)

Udbytter fra processering efter 1, 8, og 24 timer

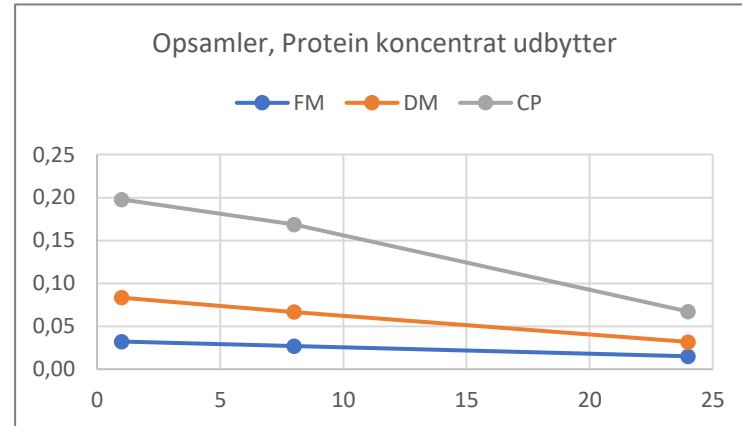
Direkte opsamling,
Maxigrass 6-10cm



Skårlægger,
Snittevogn Pøttinger Jumbo, 3,5cm



Skårlægger,
Finsnitter, 1,3cm



FM: Fresh matter (våd vægt)

DM: Dry matter (tørstof)

CP: Crude protein (råprotein)

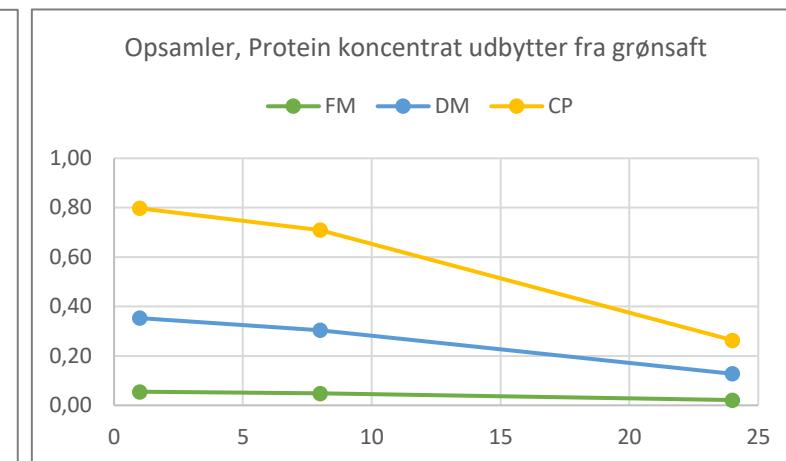
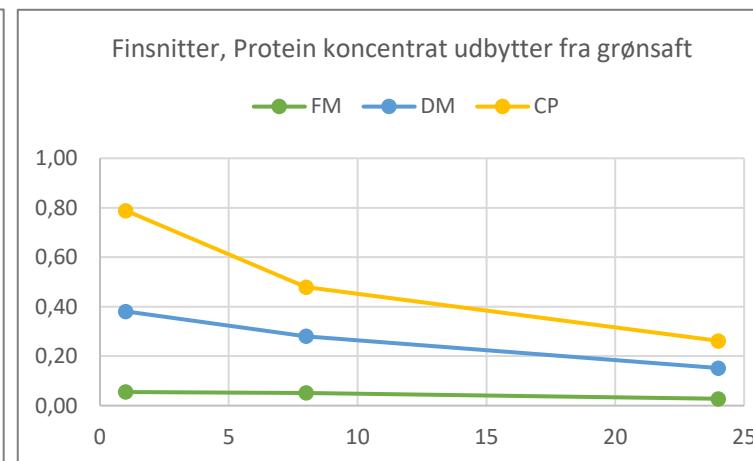
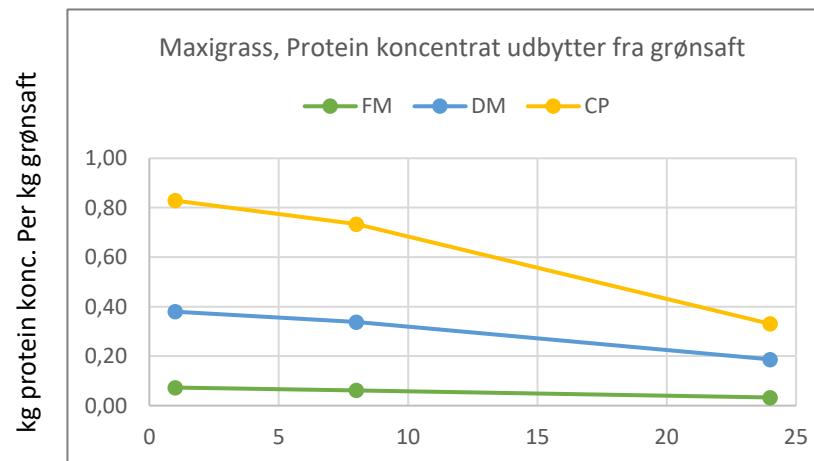
- Udbytter af proteinkoncentratet **per mængde biomasse input**
- målt i våd vægt, tørstof og råprotein af input biomassen

Udbytter fra processering efter 1, 8, og 24 timer

Direkte opsamling,
Maxigrass 6-10cm

Skårlægger,
Snittevogn Pøttinger Jumbo, 3,5cm

Skårlægger,
Finsnitter, 1,3cm



FM: Fresh matter (våd vægt)

DM: Dry matter (tørstof)

CP: Crude protein (råprotein)

- Udbytter af proteinkoncentratet **per mængde grønsaft**
- målt i våd vægt, tørstof og råprotein

Overordnet konklusion fra udbytter og protein indhold

- Det er generelt ikke markante forskelle på det totale udbytte af proteinkoncentrat for høstmetoderne.
- Det ser ud til at der presses mere saft fra de snittede høstmetoder, men til gengæld separeres der mere protein fra saften for det Maxigræs høstede
- Efter 8 timer kan vi ikke se markante generelle negative konsekvenser for udbytterne og proteinindholdet for nogen af høstmetoderne. For Maxigrass og finsnitteren ses der sågar en stigning i proteinudbyttet efter 8 timer.
- Udbytter og kvalitet falder markant efter 24 timer hvor kun under 10% af det totale protein kan findes i koncentratet.
- Dette er kun resultater fra ét forsøg, på én biomasse, under ét sæt vejrmæssige forhold !!!
- Resultaterne kan se helt anderledes ud når biomassen er længere og snitningen er mere effektiv og når temperaturen er højere
- Vi planlægger flere forsøg af denne slags i 2021

OPTIMIZATION OF PROTEIN CONCENTRATES

Example with different process configurations and different biomasses, June 2020

Acidified with HCl

Fermented

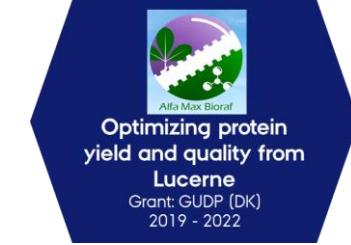
Heated to 85 ° C

Heated to 60 ° C followed by 85 ° C

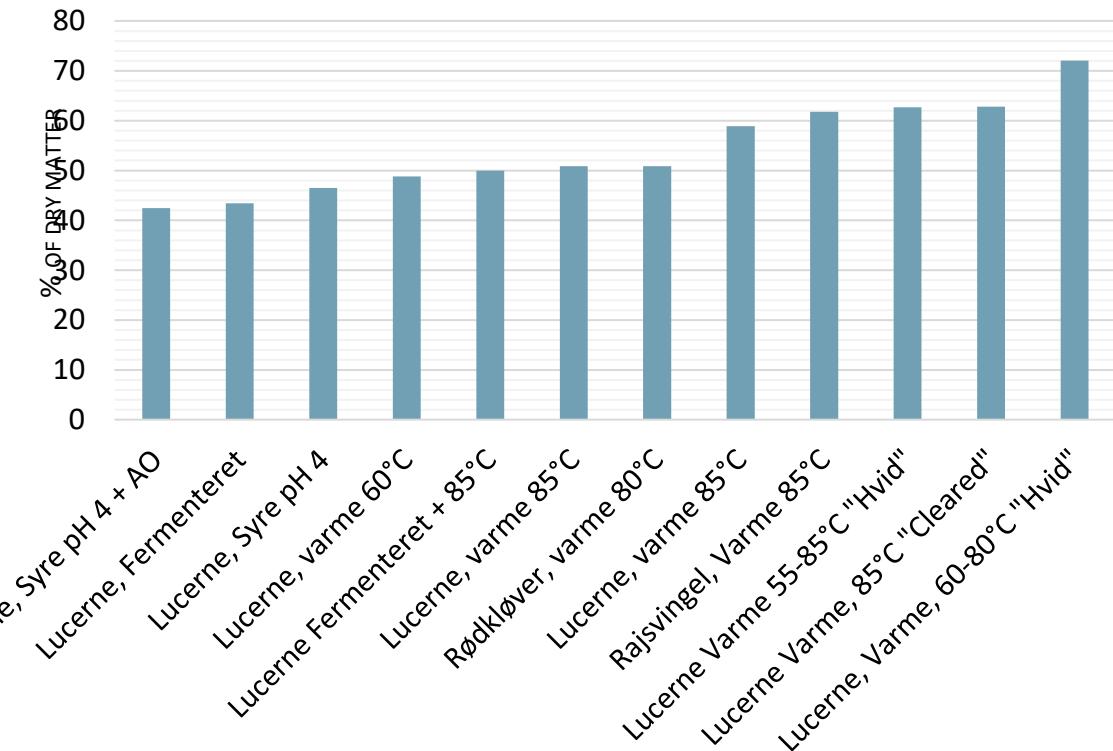
From 2020 all products are dried on site



New feed trial 2020
Svineafgiftsfonden

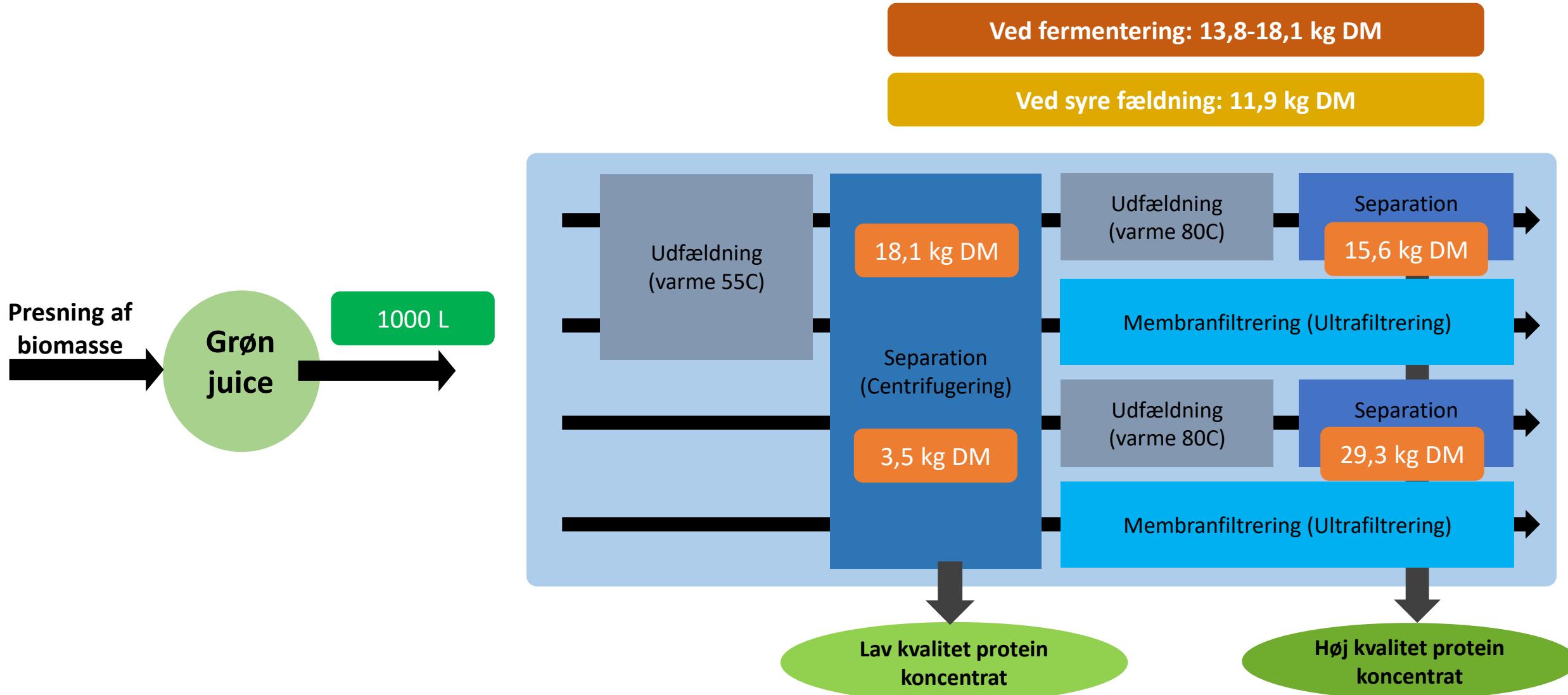


Protein content in different products 2020



Udbytter i forskellige proces-scenarier/udfældning

Resultater fra test 2020



Delrapport aktivitet 4.4 A:

Testing and optimization of biogas production of the press juice with UASB reactor.

Resultat der opfylder målene:

Målet for delaktiviteten var at finde ud af, hvordan og hvor godt brun juice kan omsættes til biogas uden tilsætning af andre substrater.

Dette er testet og publiceret i følgende review article:

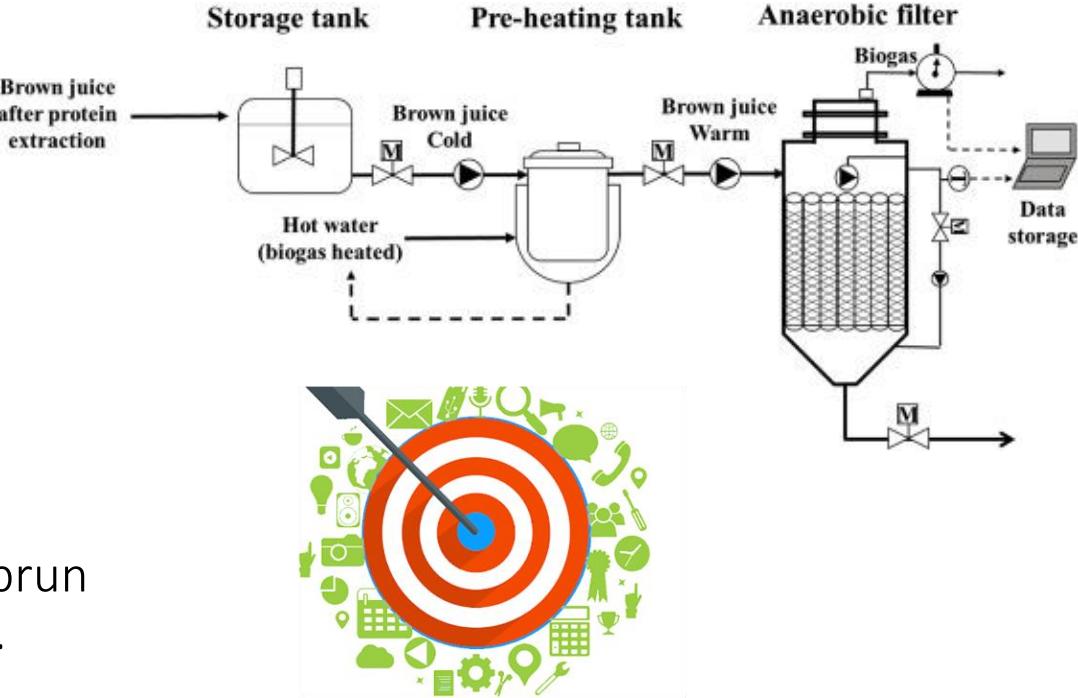
Konklusionen på studiet er følgende:

This study demonstrated that an anaerobic packed-filter reactor coupled with pre-heating tank is feasible for treating BJ to produce biogas.

The CH₄ production was 230 mL gCOD-1 d-1 corresponding to a COD removal of up to 80% at 5.5 days of HRT.

Alteration of feeding frequency from once to twice per day enhanced the AD's stability as it narrowed the temperature variation and decreased the impact on buffer capacity.

Investigation into microbiome changes in response to various parameters or process modelling will be useful in the future.



Process Safety and Environmental Protection 146 (2021) 886–892

Contents lists available at ScienceDirect
Process Safety and Environmental Protection
journal homepage: www.elsevier.com/locate/psep

IChemE

Pilot-scale anaerobic digestion of by-product liquid (brown juice) from grass protein extraction using an un-heated anaerobic filter

Lu Feng ^{a,*}, Alastair James Ward ^a, Morten Ambye-Jensen ^b, Henrik Bjarne Møller ^a

^a Department of Engineering, Aarhus University, Blüchers Allé 20, 8830, Tjele, Denmark
^b Department of Engineering, Aarhus University, Finlandsgade 22, 8200, Aarhus N, Denmark

Check for updates

ARTICLE INFO

Article history:
Received 19 August 2020
Received in revised form
27 November 2020
Accepted 21 December 2020
Available online 24 December 2020

Keywords:
Biogas
Feeding regime
Green biorefinery
Hydraulic retention time
Mesophilic

ABSTRACT

The present study investigated the feasibility of using pilot-scale anaerobic filter to treat by-product liquid (brown juice, BJ) from grass protein extraction in a green biorefinery, and produce biogas via anaerobic digestion without co-digestion substrate. Prior to feed into the un-heated anaerobic filter reactor, the BJ was warmed up to 55–60 °C in order to maintain the digestion temperature. The influence of retention time and feeding frequencies were tested in order to optimize the overall performance. The study demonstrated that anaerobic filter is feasible for converting BJ to biogas. The specific CH₄ production reached 230 mL g(COD)⁻¹ d⁻¹ while up to 80 % of influent COD was removed within a hydraulic retention time of 5.5 days. In addition, higher feeding frequencies enhanced the process stability as it narrowed the temperature variation and decreased the instant impact on buffer capacity.

© 2020 Institution of Chemical Engineers. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

Delrapport aktivitet 4.4 B:

Energy optimization and integration between
bio refinery and biogas plant



Resultat der opfylder målene:

Målet for delaktiviteten var att minimera energiförbrukningen ved hjælp af en hög processintegration mellan bioraffinaderiet och biogasanläggningen

Biogas forsøg med både brun juice og fiberfraktion



Proces modellering til optimering af energiforbruget i biorafinaderiet



4.4B

Energy optimization and integration between bio refinery and biogas plant

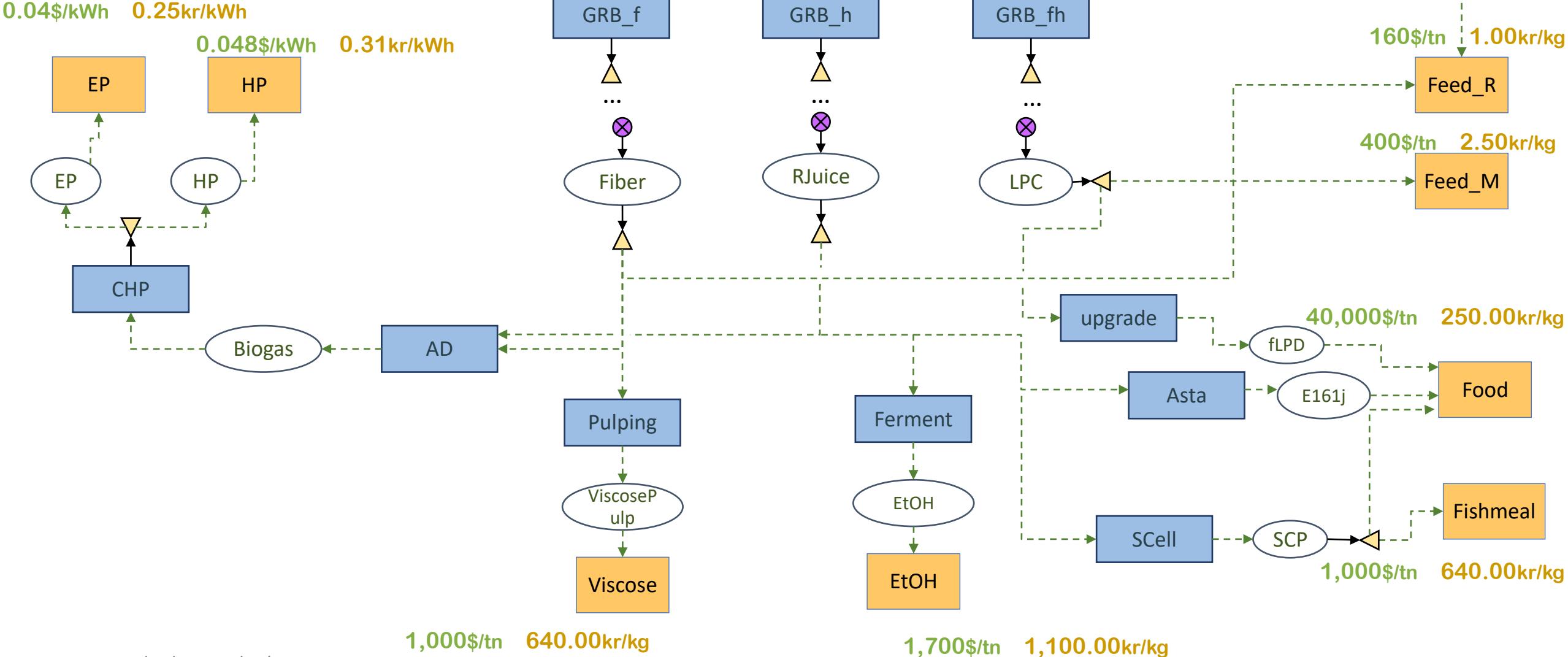
A part of a much more holistic approach that includes the entire green biorefinery, integration of many different technologies for many different products and application

Aikaterini Mountraki was creating a decision tool based on Modular Superstructures - Aikaterini got a job in JRC from Feb 2021.

Thalles Andrade will take over this task

(among other R&D tasks within modelling and biorefinery integration)

GRB Value Chain



GREEN Biorefinery integration



Process design and optimization
Nonlinear programming problem



Process validation
Thermodynamic models and components specification

Objective Function:

$$\max \text{Profit} = \text{Revenue} - \text{Cost}^C - \text{Cost}^M - \text{Cost}^W - \text{Cost}^E$$

Revenue: To Consumer Units

$$\text{Revenue} = \sum_m \sum_{j \in J^B} \sum_n sp_j \cdot F_{mj}^{IN}$$

Capital Cost: Process Units

$$\text{Cost}^C = \sum_m \text{Cost}_m$$

Material Cost: From Supply Units

$$\text{Cost}^M = \sum_m \sum_{i \in I^S} \sum_n pp_n \cdot \bar{F}_{min}^{OUT}$$

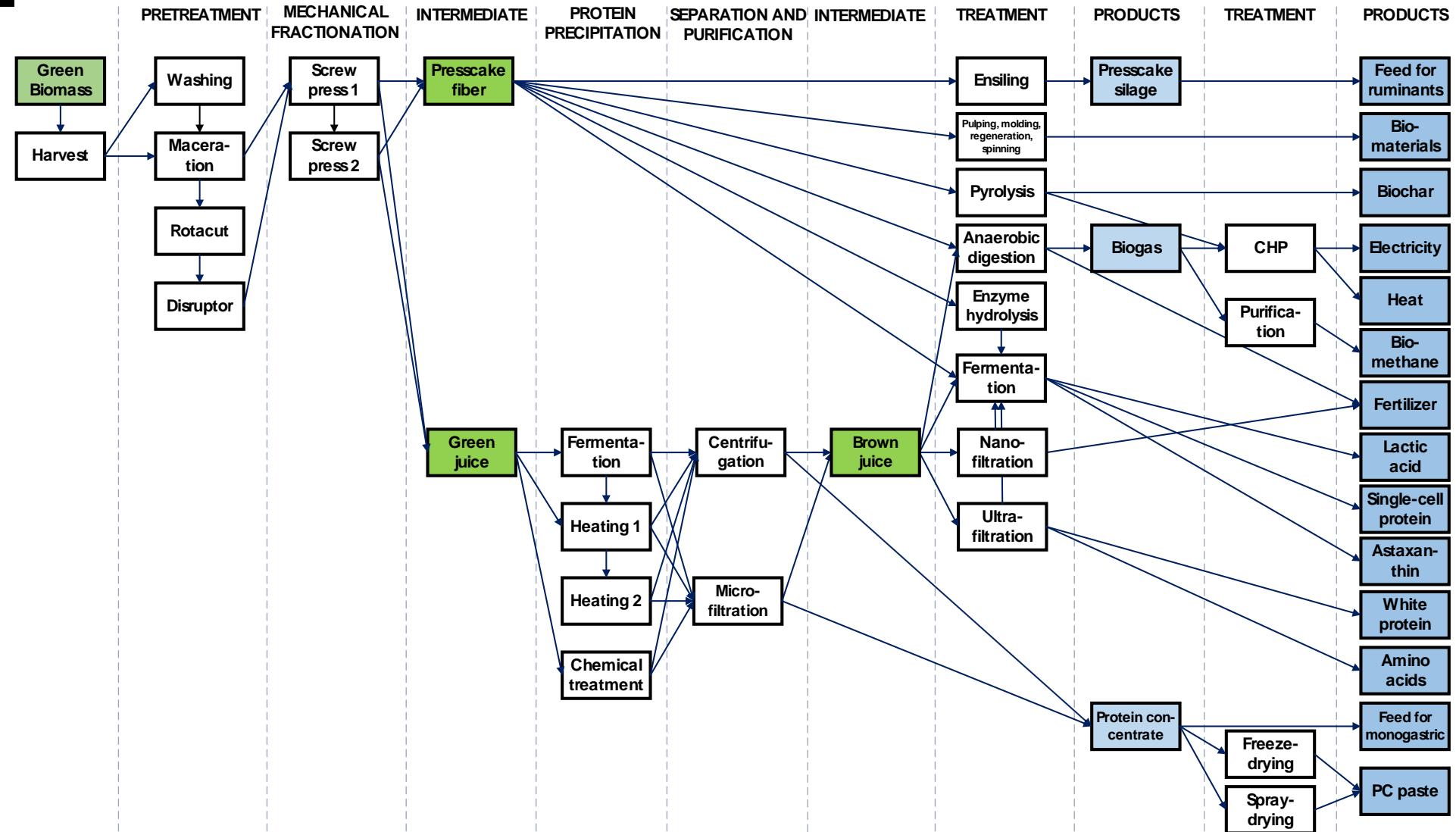
Waste Cost: To Treatment Units

$$\text{Cost}^W = \sum_m \sum_{j \in J^W} \sum_n tp_n \cdot \bar{F}_{mjn}^{IN}$$

Energy Cost: Hot & Cold Utilities

$$\text{Cost}^E = \sum_n pp_n \sum_m (Q_{mn}^H + Q_{mn}^C)$$

GREEN Biorefinery superstructure



Delrapport aktivitet 4.4 B:

Energy optimization and integration between bio refinery and biogas plant



Resultat der opfylder målene:

Målet for delaktiviteten var att minimera energiförbrukningen ved hjälp af en hög processintegration mellan bioraffinaderiet och biogasanläggningen

Biogas forsøg med både brun juice og fiberfraktion



Proces modellering til optimering af energiforbruget i biorafinaderiet

- Den holistiske modellering med biorefinery superstructures vil fortsætte efter projektets afslutning.
- AU BCE vil levere en mere konkret energibalance med og uden biogas integration.
- Interessante spørgsmål der kan besvares:
 - Hvor stor en andel af brunsuft/fiberfraktion skal der bruges til biogas, for at give energi nok til bioraffineringen?
 - Hvor meget mere energi kan der producers hvis (i) alt brunsuft anvendes til biogas (ii) alt fiber anvendes til biogas (iii) begge fraktioner anvendes til biogas

Delrapport aktivitet 4.4 C:

Production of bioethanol from the fiber fraction



Resultat der opfylder målene:

Målet for delaktiviteten var att testa och optimera produktionen av bioetanol ifrån fiberfraktionen.

For at fiberfraktionen kan fermenteres til ethanol skal den behandles med en forbehandling og en enzymhydrolyse.

Dette blev udført i 2019 og resultaterne er inkluderet i sidste års afrapportering.

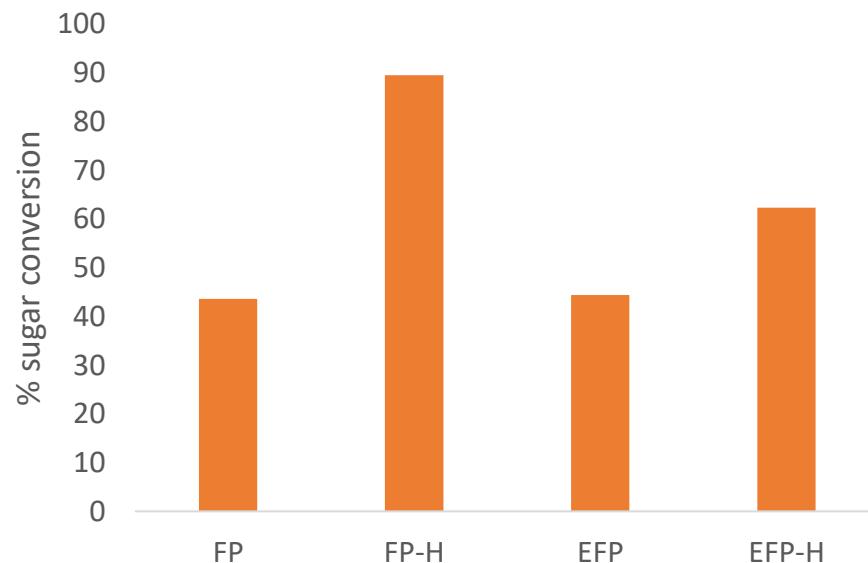
I 2020 var det planen at arbejde med optimering af denne forbehandling og enzymhydrolyse for at få mere end de 85,5% potentiel etanol der blev opnået. Disse aktiviteter har dog været begrænset af at Chia Wen Hsieh (Postdoc på AU ENG) forlod AU i sommeren 2020. Derfor er der ikke færdiggjort nye forsøg på optimering af forbehandling og enzymhydrolyse.

Kamaljit Moirangthem arbejder videre på dette i løbet af foråret og sommeren 2021.

Sugar release from fiber fraction

Feedstock	Pretreatment conditions	Abbr	Cellulose	Hemi-cellulose	Structural inorganics	Crude protein	Lignin
Lucerne pulp	None	FP	21.1	11.4	14.9	16.6	13.8
	190°C hydrothermal	FP-H	44.9	5.4	11.4	16.3	36.5
Lucerne pulp silage	Anaerobic environment for 4 weeks at room temperature	EFP	21.6	9.2	22.0	9.8	16.1
	190°C hydrothermal	EFP-H	46.3	7.6	9.2	13.1	35.2

* Enzymatic hydrolysis with Cellic CTec3 (Novozymes)



Potential bioethanol yields

85.5% glucose conversion from fresh pulp hydrothermal pretreatment

- Equivalent 0.19 g glucose produced/ g DM loading
- Expected 0.097 g ethanol produced/ g DM

GRASS FIBERS PROCESSING

Composition

Moisture, Ash,
Extractives - TPC,
CHNS, Lignin,
Total sugars (Opti.)

Feedstock



Raw, 1 press
2 press, Combination

Upstream

Setup

ASE (up to 200 °C);
Sand bath
(above 200° C)

Pretreatment

Hydrothermal
Mild acid/Alkali
Ionic Liquids
Combination

Setup

Cellulases Ctec3/2
Hemicellulases Htec3
Pectinases

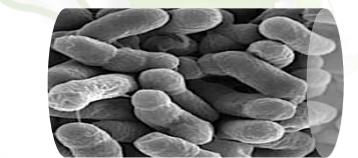
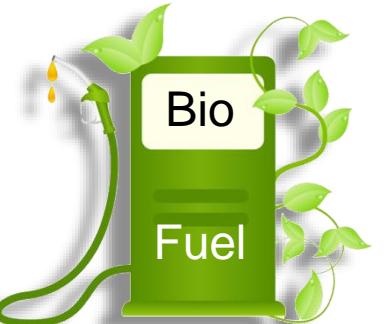
Hydrolysis

Enzyme condition
Combinations
Biomass

Midstream



Fermentation



SingleCell Protein

Astaxanthin



Bio Chemicals

Downstream

GRASS FIBERS PROCESSING

Expected outcomes

- Compositional data of the different biomass
- Comparison of different pretreatment(s) and condition(s)
- Impact of pretreatments on enzymatic digestibility
- Impact of mixed feedstock
- Impact of harvest and no. of press
- Optimal process for biomass combinations for fermentable sugars

Delrapport aktivitet 4.4 D:

Biorefining of sugar grass for biogas production or bioethanol



Resultat der opfylder målene:

Målet for delaktiviteten var att testa bioraffineringen av särskilt utvalda sockergrässorter och analysera produktionsförändringarna i såväl bioraffinaderierna, biogasanläggningarna och bioetanolproduktionen.

Dette er en del af den holistiske modellering med biorefinery superstructures.

Sukkergræs er processeret 5 gange hen over sæsonen 2020.

Samtidig er der lavet mange forsøg med værdiskabelse af brunsften herfra eller fra festullodium/rajsvingel.

Gossaye Weldegiorgis Tirunehe har abejdet med nanofiltrering for at producere et koncentrat til fermenterings-substrat og et permeat til gødning og vanding

Flere MSc projekter har kigget på fermentering af brunsften til hhv. Ethanol, Astaxanthin og Single Cell Protein

På denne måde er der produceret en masse data, som skal anvendes til den holistiske modellering

MSc om bioethanol fra brunsuft

Figur 3: Resultater fra ethanol fermenteringsforsøg med forskellige brunsuft substrater. Resultaterne er taget fra Bodil Hinge Jepsens speciale rapport.

Modelling and Experimental Evaluation of Brown Juice Fermentation to Ethanol

Department of Engineering, Aarhus University

Bodil Hinge Jepsen
January 5, 2021

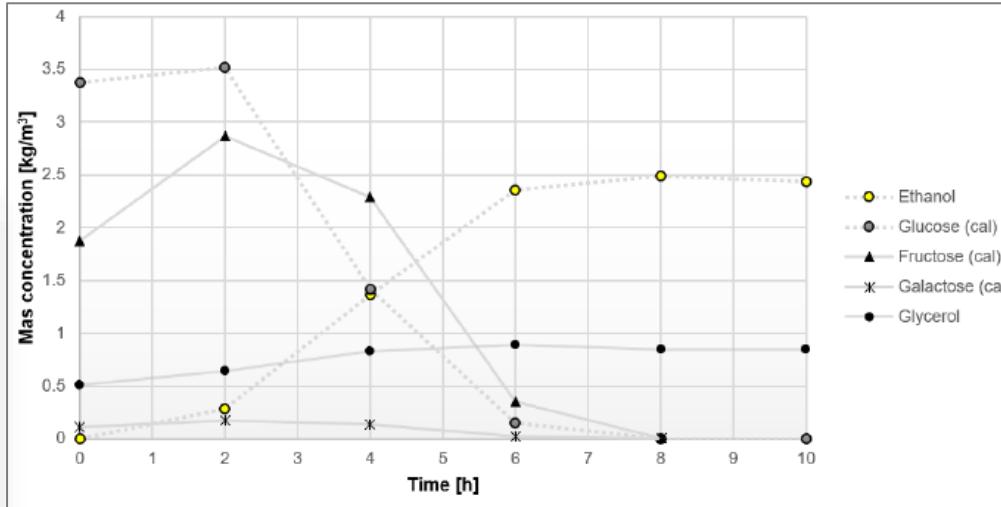


Figure 4.1.1: The result curve from the fermentation of raw BJ.

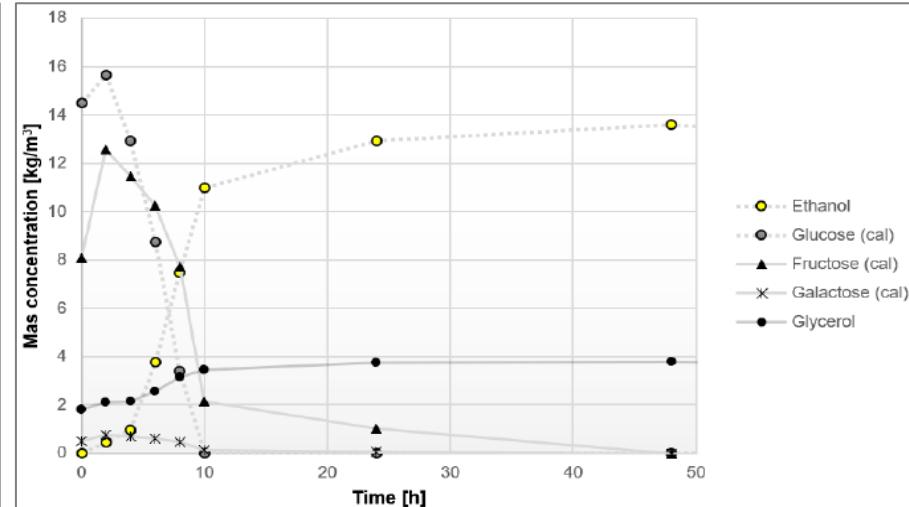


Figure 4.1.2: The result curve from the fermentation of nanofiltrated BJ.

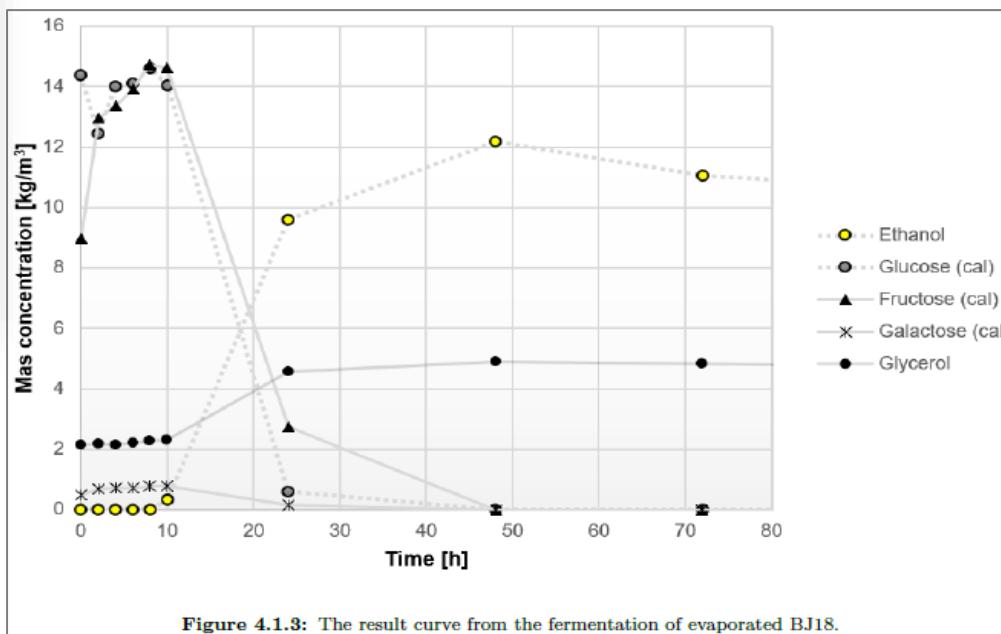


Figure 4.1.3: The result curve from the fermentation of evaporated BJ18.

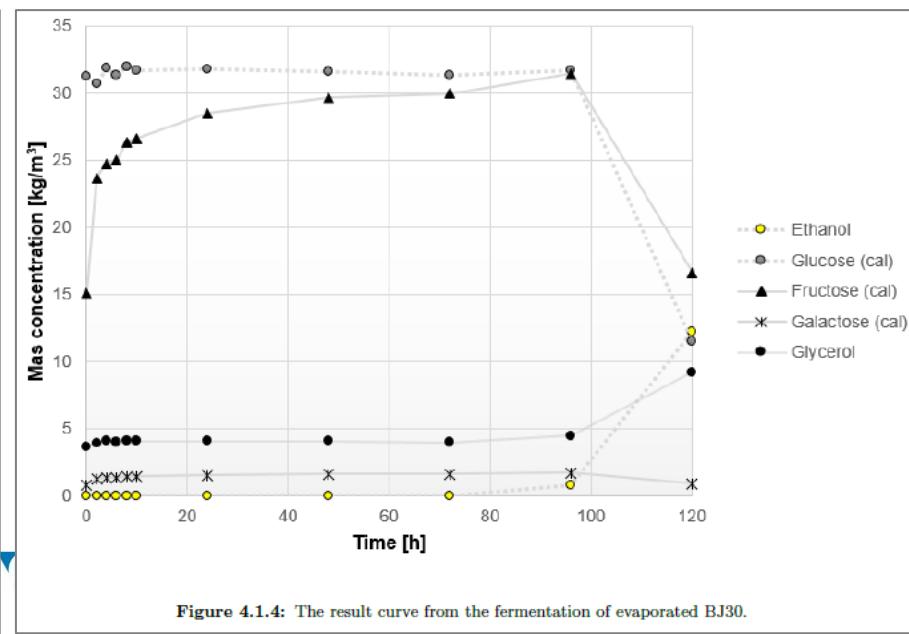


Figure 4.1.4: The result curve from the fermentation of evaporated BJ30.

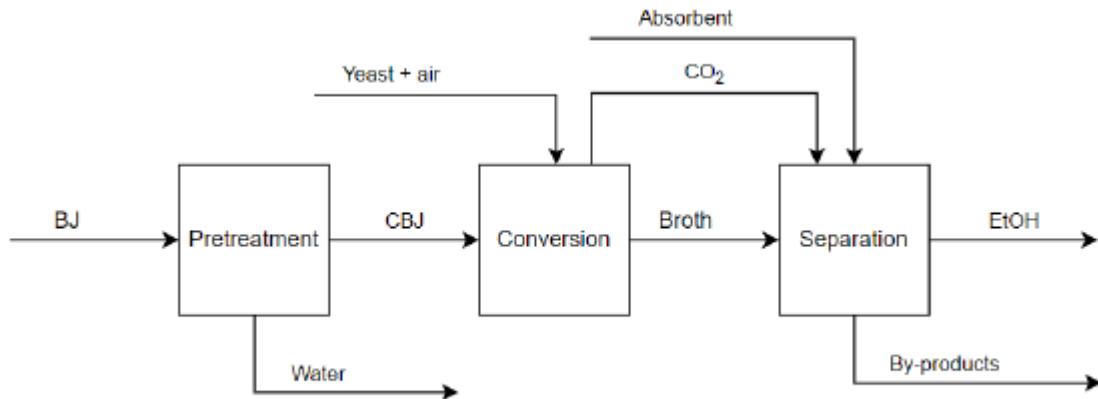


Figure 3.2.1: Flow sheet of the overall process.

Figur 4 viser resultaterne fra den efterfølgende teknøkonomiske analyse.

Studiet af ethanol produktion fra brunsften konkludere overordnet at det ikke kan betale sig økonomisk at fjerne den store mængde vand der er i brunsften, for at producere et produkt med så relativ lav værdi som bioethanol har.

Table 4.5.2: Overview of the costs in mio. USD estimated in the techno economic analysis and the financial metrics. The analysis is based on the equipment cost from APEA.

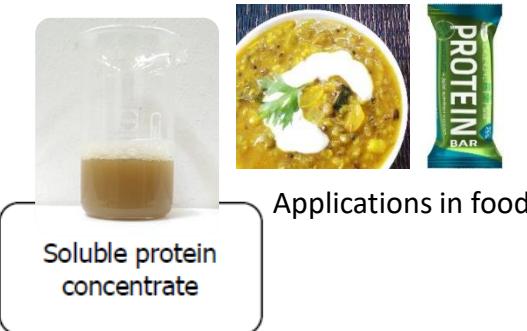
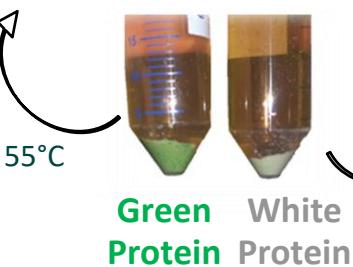
	Raw BJ	Nanofiltrated BJ	Evaporated BJ18	Evaporated BJ30
Equipment cost delivered	0.30	0.30	0.31	0.28
Direct costs	0.90	0.90	0.94	0.84
Indirect costs	0.38	0.38	0.39	0.35
Fixed capital investment	1.28	1.28	1.33	1.20
Working capital	0.22	0.22	0.23	0.21
Total capital investment	1.50	1.50	1.56	1.40
Production rate [kg/h]	3.34	13.90	3.69	3.92
Utilities cost				
3000 h	0.003	0.005	0.01	0.02
8000 h	0.01	0.01	0.04	0.04
Total product cost				
3000 h	0.02	0.03	0.10	0.11
8000 h	0.05	0.09	0.27	0.28
Revenue				
3000 h	0.01	0.04	0.01	0.01
8000 h	0.02	0.10	0.03	0.03
Product cost pr unit [\$/kg EtOH]				
3000 h	1.97	0.80	9.00	8.94
8000 h	1.97	0.80	9.00	8.94
ROI [%]				
3000 h	-222	-195	-373	-403
8000 h	-259	-185	-661	-741
NPV [mio. \$]				
3000 h	-1.57	-1.48	-2.15	-2.03
8000 h	-1.69	-1.45	-3.14	-3.07
IRR [%]				
3000 h	-	-13	-	-
8000 h	-	-10	-	-

Figur 4: Teknøkonomiske resultater fra Bodil Hinge Jepsens speciale. Der er regnet på fire scenarier svarende til at bruge de fire brunsuft substrater vist i figur 3. (rå, nanofiltreret, inddampet til 18g/L og inddampet til 30g/L)

UTILIZATION OF SOLUBLE COMPOUNDS IN THE RESIDUAL JUICE



CBIO
AARHUS UNIVERSITY CENTRE FOR
CIRCULAR BIOECONOMY



Retentate



Permeate

Ultrafiltration



Retentate

Nanofiltration



Permeate



Fermentation

Astaxanthin

Single-cell Protein

Field



GMO yeast developed and provided by Irina Borodina, DTU BioSustain



Fermentation of BJ to astaxanthin



Screening of yeasts and further studies with *C. utilis*

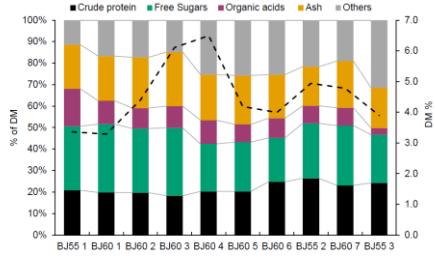


Fermentation of BJ to single cell protein



Demonstrating Ferti-irrigation with permeate

AU Agroecology



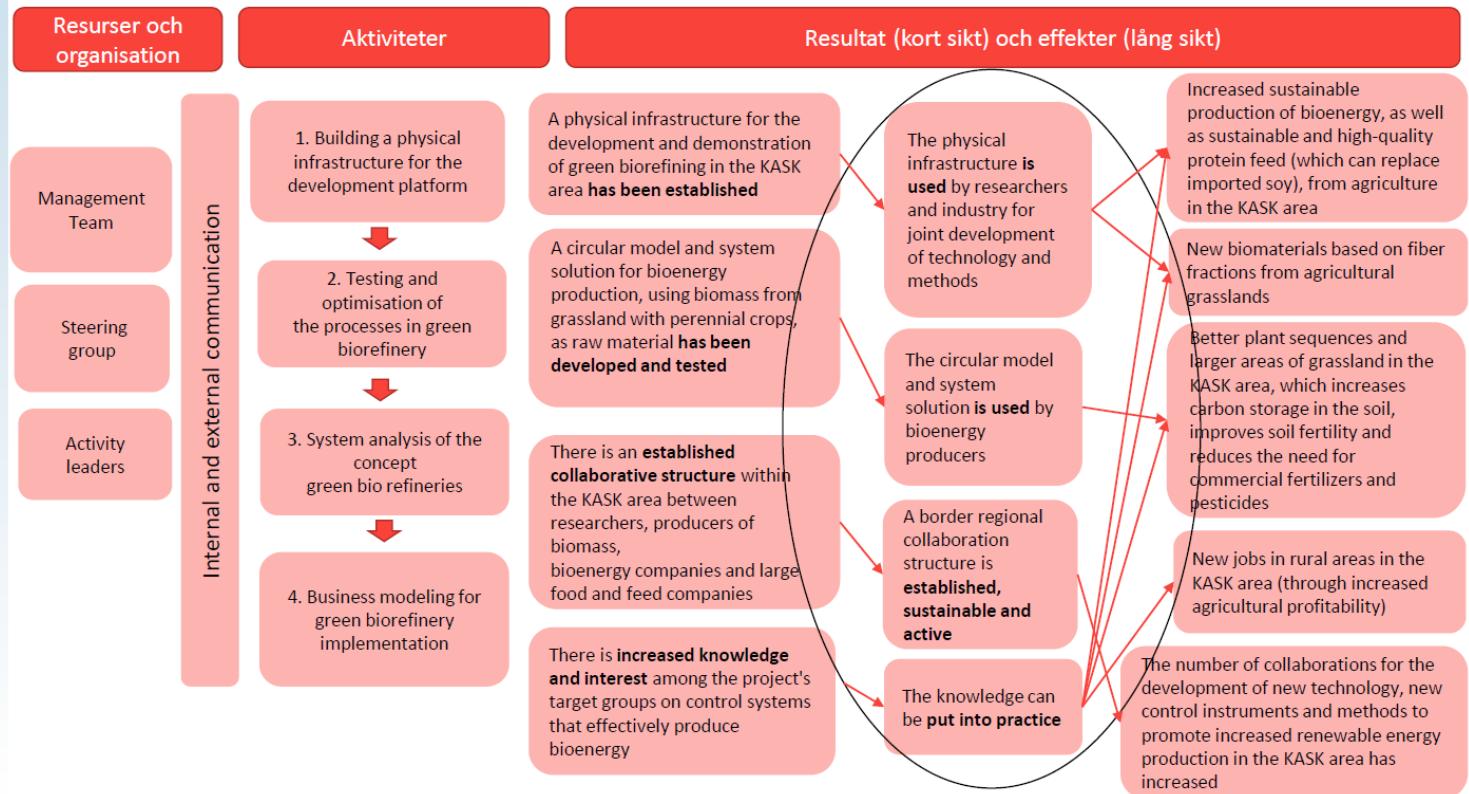
Ultrafiltration of brown juice (60°C) – 10kDa UF membrane							
VCF	Brix% R	DM% R	CP% R	Flux (l/m²/h)	Brix% P	DM%P	CP% P
1.0	5.5	4.5	19.9	83.0	3.6	2.8	17.2
2.0	6.6	5.6	21.4	55.0	4.2	3.3	17.2
5.0	11.3	10.0	27.0	44.0	5.4	4.2	17.8
7.4	13.6	11.7	28.6	35.0	4.7	3.8	17.4

WS WORKSHOP
18 MAY 2021

Nanofiltration	Total Sugars g/l
Feed	11.05
Permeate	0.11
Concentrate	49.71

Nutrient	Feed (mg/l)	Concentrate (mg/l)	Permeate (mg/l)
Potassium	3870	9100	2400
Ammonium	1,8	49	10,8
Phosphorous	297,2	1152	26,3

Prerequisites for achieving desired results and effects



Chalmers beskrivning av systemanalys för gräsbaserad bioraffinaderi

