



Vallbaserade produkter för enkelmagade djur – ett steg närmare kommersialisering

Carina Gunnarsson, Karolina Bergström, Lovisa Eliasson, Erik Fischer, Gustav Hilmér, Petter Melin, Henrik Olsson, Johanna Olsson, Kerstin Sigfridson, Emil Thalén

Vallbaserade produkter för enkelmagade djur – ett steg närmare kommersialisering

Carina Gunnarsson¹, Karolina Bergström², Lovisa Eliasson¹, Erik Fischer¹, Gustav Hilmér³, Petter Melin¹, Henrik Olsson¹, Johanna Olsson¹, Kerstin Sigfridson⁴, Emil Thalén¹

1 RISE Research Institutes of Sweden, Uppsala. Kontakt: carina.gunnarsson@ri.se;

2 VGR, Västra Götalandsregionen, Kontakt: karolina.bergstrom@vgregion.se;

3 Hilmér Lantbruk, Mellerud. Kontakt: gustav.hilmer@hilmerlantbruk.se;

4 Lantmännen. Kontakt: kerstin.sigfridson@lantmannen.com;

Extended abstract

Forage based products for monogastric animals - a step towards commercialisation

Introduction and aim

Building on previous research and experience on grass biorefining, this project aimed to take a significant step towards commercialization by developing protein products primarily for organic poultry production and addressing the growing demand for soy-free feed solutions for monogastric animals. Additionally, the project sought to promote more sustainable crop production by offering farms without animal husbandry an innovative use for grass leys within their crop rotation, delivering them to grass biorefineries. For these objectives to become a reality, both the technological processes and economic viability needed to align.

The project focused on designing and conducting a techno-economic evaluation of two concepts for biorefining and protein extraction from grass and clover leys. To support the development of these technical systems, experiments were carried out at both laboratory and pilot scales. Furthermore, potential improvements to the concepts were explored, including the introduction of a mobile pressing unit to enhance efficiency and flexibility.

Protein extraction from mixed leys

During the summer of 2022, trials were conducted at the pilot plant for green biorefining at Sötåsen Naturbruksskola. First, second and third harvests of mixed ley (red clover, white clover, timothy, meadow fescue and English ryegrass) were processed fresh to extract a protein concentrate. In 2023, similar experiments were performed using ensiled ley stored in bunker silage at Sötåsen's Naturbruksskola and precision chopped silage stored in bales from Lantmännen's Nötcenter Viken. For each trial, a "standard run" was conducted with consistent steps from pressing to protein extraction. Additional trials explored varying pressing parameters to maximize both mass and protein yields.

The protein yield, representing the proportion of protein in the ley that ends up in the press juice after pressing, ranged between 13-20 % in our experiments. This is significantly lower than the assumed 44 % yield estimated for commercial and optimized production. Similarly, the TS (total solids) yields varied between 14 and 19 %, compared to 29 % in an optimized process. Results suggest that a lower DM (dry matter) content in both fresh ley and silage during pressing can enhance yield.

For the second and third harvests, a slower feed rate to the screw press was evaluated to improve processing efficiency and yield. This adjustment increased mass yields: in the second harvest from 14 % to 16 % and in the third harvest 19 % to 25 %. Correspondingly, protein yields in the third harvest improved from 20 % to 22 % with slower pressing. Additional experiments involved double pressing the press cake, which further boosted yields. In the third harvest, double pressing increased the mass yield from 19 % to 24 % and the protein yield from 20 % to 25 %.

The results from processing fresh ley across different harvests did not reveal significant differences in mass or protein yields, nor in the amino acid composition of the resulting protein concentrate. These findings provide valuable insights into the factors influencing yield optimization and the potential for improvement in pressing efficiency.

When pressing ensiled mixed ley, the protein yield in the press juice was observed to range between 18-25 % of the protein content in the silage prior to pressing. Trials to extend the residence time in the press, those referred to as slow pressing and double pressing, resulted in increased mass and protein yields, with the protein yield improving by 3-5 percentage points.

For fresh ley, the storage stability of both the press juice and the press cake is limited. The storage stability of juice from fresh ley was evaluated in two lab-scale experiments, which revealed that cold-stored fresh ley juice maintains its original pH for up to 4 days. In contrast, untreated juice showed a decrease in pH within 24 hours. These results indicate that press juice should be treated or used immediately to prevent the growth of problematic bacterial organisms such as *Clostridium*.

As part of the project, the potential to extend the shelf life of the press juice from fresh ley through fermentation was investigated. The principle involves adding lactic acid bacteria to rapidly lower the pH, thereby protecting the juice from most bacterial risks. The experiment was carried out in three stages. Initially, an attempt was made to investigate the microbial composition of the press juice and the conditions needed to deactivate them. In the next step, it was tested the addition of various bacterial strains after deactivating the press juice; and in the last step, one of the bacterial strains was selected for a fermentation experiment. The results indicated that fermentation can produce a microbiologically safe product. However, in order to get the samples reasonably free of fungal growth, a heat deactivation is required before fermentation and it may be that this heat deactivation in itself is sufficient to achieve a safe feed since the pH still drops relatively quickly. The addition of lactic acid bacteria did not demonstrate clear benefits.

Economic considerations in a larger process suggest that heating to 65 °C for 5 minutes is highly effective, inactivating nearly all yeast and mold while maintaining pH stability. Heating to 45 °C was insufficient. The stabilization achieved by the 65 °C treatment reduces the risk of dangerous bacterial levels, providing a cost-effective and practical approach to improving storage stability.

Concept development

A small-scale, farm-based concept using silage pressing and a large-scale system based on fresh forage processing for producing a dry protein concentrate were evaluated. The small-scale concept was modelled for a farm example, Hilmér Lantbruk, focusing on pressing 2000 tons DM of silage per year. In this system, the press juice was used as wet feed for pigs, while the press cake was utilized in the farm's biogas plant. The large-scale concept involved a facility processing 20,000 tonnes DM of fresh ley per year, with additional steps to refine the press juice into a dry protein concentrate.

The techno-economic analysis of these concepts was based on mass balances and yields derived from previous projects and Danish studies (e.g. Gunnarsson et al. 2022, Jørgensen et al., 2021). Components for each stage were selected according to concept

size, and investment costs and operating costs were calculated. The cost of ley as a raw material included cultivation, land rent/area subsidies, fertilization, harvesting, transport and ensiling (if applicable). The value of press juice was estimated using feed formulations for slaughter pigs, while the press cake and, in the large-scale concept, brown juice, were assumed to be used for biogas production. While one goal was to develop protein feed for organic poultry, grass protein concentrate was deemed less suitable due to its low methionine and cysteine content and risks like dirty eggs. Additionally, poultry cannot use wet feed, making the concentrate more practical for pig feeding.

The analysis of annual costs and revenues for the small-scale concept indicates that the income from press cake and press juice and the cost of ley are the three dominant factors. However, the estimated revenues from using press juice as feed and press cake for biogas are insufficient to cover the costs of the biorefinery and forage as raw material. Including the added value of ley in a cereal-based crop rotation improves the economic outlook. The sensitivity analysis highlights the importance of achieving high protein yields during pressing and shows that the value or price of press juice and press cake significantly impacts the system's income.

For the large-scale concept, the income from protein concentrate and the cost of ley represent the largest portions of the annual cost and revenue. The protein concentrate generates the highest revenue, dependent on achieving the expected protein yield and maintaining its value. A reduction in the value of protein concentrate - from 10 SEK/kg in organic feed to 6 SEK/kg in conventional feed – would have a significant impact on revenues. In this case, the added value of ley was not included in the calculations.

Conclusions and recommendations

- Achieving a high content in forage and a high yield of protein in the press juice during pressing is critical for system profitability. This can be improved through pre-treatments before pressing, extending residence time, or employing double pressing techniques.
- The ley represents the largest cost in the system. Its added value, such as benefits from including it in a cereal-based crop rotation, should be factored into the economic analysis.
- The press cake is the largest fraction by quantity and plays a significant role in generating income. Its utilization heavily influences business models and localization of facilities.
- Valuing grass protein as feed remains challenging due to limited knowledge about its nutritional value, digestibility and variability. Feed prices also fluctuate significantly, impacting the value of grass protein. Possible added value for the producer with a domestic protein feed should also be taken into account.
- Small-scale protein extraction via pressing silage and feeding of press juice should be possible. Small-scale systems have the potential to realise local added value and find applications that provide high value for the press cake.
- Gaining practical experience in operating grass biorefineries over extended periods is essential for developing reliable data and feasibility studies for future commercial plants.

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2024:90

ISBN: 978-91-89971-55-4

Innehåll

Extended abstract	1
Innehåll.....	5
Förord.....	7
Sammanfattning	8
1 Inledning	11
1.1 Mål och syfte.....	12
1.2 Genomförande.....	12
2 Praktiska försök i labb- och pilotskala	14
2.1 Introduktion	14
2.2 Pressningsförsök med färsk vall.....	14
2.2.1 Genomförande	14
2.2.2 Mass- och proteinutbyten i pressningen och fällning.....	16
2.2.3 Aminosyrasammansättning	17
2.3 Pressningsförsök med ensilerad vall	19
2.3.1 Genomförande	19
2.3.2 Mass- och proteinutbyten i pressningen.....	20
2.3.3 Aminosyrasammansättning	22
2.4 Lagringsstabilitet.....	23
2.4.1 Lagring av pressjuice från färsk vall vid olika pH och temp- ett förtest.....	23
2.4.2 Lagringsstabilitet hos pressjuice från färsk vall- uppföljande försök.....	25
2.4.3 Lagring pressjuice från ensilage i praktisk skala	28
2.4.4 Fermentering av pressjuice från färsk vall.....	29
3 Konceptutveckling	34
3.1 Vallproteinet som foder	34
3.2 Massbalanser och utbyten för beräkningar.....	36
4 Utvärdering av ett småskaligt koncept	37
4.1.1 Pressjuice för blötutfodring	38
4.1.2 Utformning av anläggningen	39
4.1.3 Hantering av pressjuice i samband med utfodring.....	40
4.1.4 Vallensilage som råvara	41
4.1.5 Intäkter.....	42
4.1.6 Resultat	43
4.1.7 Känslighetsanalys.....	44
4.1.8 Affärspotential.....	46
5 Utvärdering av storskaligt koncept	47
Metod och genomförande.....	47

5.1	Färsk vall som råvara	47
5.1.1	Systemet	47
5.1.2	Vallens kostnader	48
5.2	Intäkter från systemet	49
5.2.1	Proteinkoncentrat som foder	49
5.2.2	Brunjuice och presskaka för biogasproduktion	50
5.3	Beskrivning av proteinanläggningen.....	51
5.3.1	Beskrivning av anläggningen och investeringen.....	51
5.3.2	Kapitalkostnader	52
5.3.3	Driftskostnader	53
5.4	Intäkter och kostnader	54
6	Utvecklingsmöjligheter och affärsupplägg	55
6.1	Vall och växtnäring.....	55
6.2	Användning av presskakan.....	56
6.2.1	Användning till biogasproduktion	56
6.2.2	Presskakan som grovfoder till kor	58
6.2.3	Vidareförädling av presskakan till lagringsduglig foderprodukt för häst....	59
6.2.4	Presskakan som råvara för fibermassa till textilier eller papper	61
6.3	Mobil pressning.....	63
6.3.1	Introduktion.....	63
6.3.2	Förslag på design av systemet.....	63
6.3.3	Ekonomiska och praktiska förutsättningar	65
6.4	Alternativa substrat för att förlänga skördesäsongen	67
6.4.1	Mellangrödor och fånggrödor	67
6.4.2	Fältförsök med mellangrödors potential som proteinkälla	68
6.4.3	Gröna blad.....	69
6.4.4	Våtmarksgräs	71
7	Sammanfattande diskussion	72
8	Övergripande slutsatser	77
9	Referenser	77
10	Bilagor	82
	Bilaga 1. Kemiska analyser vid pressning av färsk vall och ensilage	82
	Bilaga 2. Råvaruvärdering vid foderstatsberäkning.....	87

Förord

Detta projekt har genomförts av RISE tillsammans med Naturbruksförvaltningen i Västra Götalandsregionen (VGR), Hilmér Lantbruk samt Lantmännen. Projektet har pågått 2021-2024 och under tiden har projektdeltagare både hunnit börja och sluta.

De praktiska försöken har utförts dels på RISE lab i Göteborg och dels på Naturbruksskolan Sötåsens pilotanläggning för grön bioraffinering. Från VGR har framför allt Karolina bergström och Niklas Gustafsson deltagit. Från RISE sida har arbetet planerats och hållits ihop av Emil Thalén med hjälp av Henrik Olsson och Erik Fischer. Lagringsstudierna med pressjuice från färsk vall gjordes av Lovisa Eliasson och Sonia Chiaretto och fermenteringsstudien av Petter Melin och Alexander Plovie. Undersökningen av pressjuicen från ensilage gjordes Karolina och Niklas.

Utveckling och utvärdering av koncepten har gjorts av Carina Gunnarsson, Emil Thalén och Henrik Olsson. Gustav Hilmér har deltagits i utformningen av det småskaliga konceptet. Kerstin Sigfridson, med foder till grisar som specialitet, har med input från Gustav Hilmér gjort foderstater och värderat vallproteinet till grisar. Henrik Olsson har hållit i delen om mobil pressning och Johanna Olsson har undersökt alternativa substrat. Carina har varit projektledare och försökt sammanställa allt som gjorts i projektet i denna rapport.

Sammanfattning

Mål och syfte

Med utgångspunkt i tidigare forskning och erfarenheter om proteinutvinning från vall avsåg detta projekt att ta nästa steg mot kommersialisering med syfte att ta fram proteiner till framförallt ekologisk fjäderfäproduktion samt för framtida ökande efterfrågan på sojafria foderlösningar till enkelmagade djur. Projektet syftade även till en mer hållbar växtodling för gårdar utan djur genom att finna avsättningsmöjligheter för vall i växtföljden. För att detta ska realiseras måste tekniken fungera och ekonomin gå ihop

Projektet fokuserade på att utforma och genomföra en teknisk-ekonomisk utvärdering av två koncept för bioraffinering och proteinutvinning från gräs och klövervallar. För att stödja utvecklingen av dessa tekniska system genomfördes experiment i både laboratorie- och pilotskala. Dessutom undersöktes potentiella förbättringar av koncepten, inklusive mobil pressning för att öka effektiviteten och flexibiliteten.

Proteinutvinning från blandvallar

Under sommaren 2022 genomfördes försök vid pilotanläggningen för grön bioraffinering vid Sötåsen Naturbruksskola. Ur första, andra och tredje skörden av färsk blandvall utvanns ett proteinkoncentrat. Under 2023 gjordes liknande försök med ensilerad vall från Sötåsen och Lantmännens Nötcenter Viken.

Proteinutbytet, dvs andelen protein i vallen som hamnar i pressjuicen efter pressning, varierade mellan 13-20 % i våra experiment. På samma sätt varierade utbytet av torrs substans (ts) mellan 14 och 19 %. Resultaten tyder också på att en lägre ts-halt (torrs substans) i både färsk vall och ensilage kan öka utbytet. För den andra och tredje skörden utvärderades en långsammare matningshastighet till skruvpressen för att öka graden av bearbetning och därmed utbytet. Detta ökade ts-utbytet: i den andra skörden från 14 % till 16 % och i den tredje skörden 19 % till 25 %. På motsvarande sätt förbättrades proteinutbytet i den tredje skörden från 20 % till 22 % med långsammare pressning. Vid tredje skörden testades dubbelpressning vilket ökade ts-utbytet från 19 % till 24 % och proteinutbytet från 20 % till 25 %. Inga stora skillnader kunde ses mellan de olika skördarna varken för ts- eller proteinutbyte och inte heller i aminosyrasammansättningen hos det resulterande proteinkoncentratet.

Vid pressning av ensilage varierade proteinutbytet till pressjuicen mellan 18-25 % av proteininnehållet i ensilaget före pressning. I försök med att förlänga uppehållstiden i pressen, så kallad långsam pressning och dubbelpressning ökade både ts- och proteinutbytet, där proteinutbytet förbättrades med 3-5 procentenheter.

För färsk vall är lagringsstabiliteten hos både pressjuice och presskakan begränsad. Lagringsstabiliteten för juice från färsk vall utvärderades i två experiment i laboratorieskala, som visade att kylgradad färsk pressjuice bibehåller sitt ursprungliga pH i upp till 4 dagar. Däremot visade obehandlad juice en minskning av pH inom 24 timmar. Dessa resultat indikerar att pressjuice bör behandlas eller användas omedelbart för att förhindra tillväxten av problematiska bakterieorganismer som Clostridium.

Som en del av projektet undersöktes potentialen att förlänga hållbarheten för pressjuicen från färsk vall genom fermentering. Principen går ut på att tillsätta mjölksyrabakterier för att snabbt sänka pH-värdet och därigenom skydda juicen från de flesta bakteriella risker. Försöken genomfördes i tre steg. Inledningsvis gjordes ett försök att undersöka den mikrobiella sammansättningen i pressjuicerna och vilka förhållanden som krävs för att avdöda dem. I nästa steg testades att tillsätta olika bakteriestammar efter avdödning av pressjuicen och i det sista steget valdes en av bakteriestammarna ut för ett fermenteringsförsök. Resultaten visade att fermentering kan ge en mikrobiologiskt säker produkt. För att få proverna någorlunda fria från svamptillväxt krävs dock en värmeavdödning före fermentering och det kan vara så att denna värmeavdödning i sig är tillräcklig för att uppnå ett säkert foder eftersom pH ändå sjunker relativt snabbt. Tillsatsen av mjölksyrabakterier visade inga tydliga fördelar.

Av ekonomiska skäl kan det i en större process vara möjligt att inte hetta upp till 65 °C men uppenbart är att 45 °C inte är tillräckligt men 5 minuter vid 65 °C ger goda resultat då i princip allt jäst och mögel inaktiveras som även resulterade i att pH hålls stabilt vilket i sig minskar risken för oacceptabla nivåer av farliga bakterier.

Konceptutveckling

Ett småskaligt, gårdsbaserat koncept med proteinutvinning från ensilerad vall och ett storskaligt system baserat på färsk vall för framställning av ett torrt proteinkoncentrat utvärderades. Det småskaliga konceptet utformades som ett gårdsexempel för Hilmér Lantbruk, med pressning av 2000 ton ts ensilage per år. I detta system antogs pressjuicen användas vid våtutfodring till grisar, medan presskakan användes i gårdens biogasanläggning. I det storskaliga konceptet bearbetades 20 000 ton ts färsk vall per år, med ytterligare steg för att förädla pressjuicen till ett torrt proteinkoncentrat.

Den teknoekonomiska analysen av koncepten baserades på massbalanser och utbyten från tidigare projekt och danska studier (t.ex. Gunnarsson m.fl. 2022, Jörgensen m.fl., 2021). Komponenter valdes och investeringskostnader och driftskostnader beräknades. I kostnaden för vall som råvara ingick odling, markränta/arealbidrag, gödsling, skörd, transport och ensilering (i förekommande fall). Värdet av pressjuice uppskattades med hjälp av foderstatsberäkningar för slaktgrisar, medan presskakan och i det storskaliga konceptet brunjuicen antogs användas för biogasproduktion. En målsättning i projektet var att hitta proteinfoder för framför allt ekologiska fjäderfä men baserat på de erfarenheter som finns hittills har gräsproteinkoncentrat bedömdes mindre intressant till fjäderfä än till gris pga otillräckligt innehåll av metionin och cystein samt tydliga indikationer på högre risk för smutsiga ägg. Fjäderfä kan inte heller använda blöt råvara.

Analysen av årliga kostnader och intäkter för det småskaliga konceptet visade att intäkterna från presskaka och pressjuice samt kostnaden för vall utgjorde de största posterna. Analysen visade att de beräknade intäkterna från pressjuice för foder och presskakan för biogas inte räcker för att täcka kostnaderna för bioraffinaderiet samt för vall som råvara. Genom att beakta vallens mervärde i växtföljden förbättras förutsättningarna att bli lönsamma. Slutsatser var att uppnå höga utbyten av protein i pressningsskedet samt värdet eller priset på pressjuice och presskaka båda har stor inverkan på systemets inkomster.

För det storskaliga konceptet var intäkterna högre än kostnaderna och proteinkoncentratet stod för den största andelen av intäkterna i systemet. Resultatet

förutsätter både att det utbyte av protein till pressjuicen som antagits uppnås samt att inte värdet på proteinet minskar. Om värdet på proteinkoncentratet ändrades från 10 kr/kg för en ekologisk foderstat till 6 kr/kg för en konventionell foderstat fick det stor påverkan på intäkterna. På kostnadssidan stod vollen för den dominerande kostnaden.

1 Inledning

Det finns ett stort behov av att ta fram ett mer hållbart och inhemskt producerat protein både till foder- och humankonsumtion. Speciellt ekologisk animalieproduktion och där specifikt enkelmagade djur (gris och kyckling/äggproduktion) lider idag brist på lämpliga proteinströmmar för fodertillverkning. Att utvinna protein från vall är ett sätt att möta denna efterfrågan vilket också ligger i linje med målet om ökad livsmedelssäkerhet och självförsörjningsgrad. Vall är en gröda som lämpar sig väl för odling i stora delar av Sverige och det finns många fördelar av att integrera den i växtföljden, både utifrån ett klimatmässigt och ekologiskt perspektiv.

Det finns även drivkrafter för att göra den svenska spannmålsproduktionen mer hållbar. En viktig del i detta arbete är att inkludera vall och fång- eller mellangrödor i växtföljden. För att det ska realiseras måste det finnas en avsättning för vallen även för gårdar utan djur (kor och får). Vallen kan användas som råvara för biogas eller biodrivmedelproduktion, men direkt användning av vall till biogas har visat sig vara för dyr, vilket bl.a. visades i projektet ”Färska och lagrade grödor - ett nytt sätt att organisera substratförsörjningen året runt för en biogasanläggning”. Vi har även i projektet ”Utvinning av högvärdiga komponenter för förbättrad värdekedja för vall till etanol och bioolja” visat att vallen kan användas för etanol- och biooljaproduktion, men att proteinet i vallen då är en nackdel vid uppgradering till drivmedel. Att utvinna proteiner innan återstoden används för biodrivmedel eller biomaterial är därför ett intressant system som kombinerar produktion av foder, livsmedel och biobaserade produkter som bör belysas ytterligare.

Utvinningssprocessen av protein från vallväxter, och andra gröna blad, baseras på mekanisk pressning som fraktionerar råmaterialet i en fiberfraktion och en flytande fraktion. Proteiner som extraheras i den flytande fraktionen koncentreras sedan genom proteinfällning följt av separering och torkning. Processen studerades redan på 1970-talet för foderapplikationer då ett proteinkoncentrat från lusern togs fram åt enkelmagade djur (Knuckles m.fl., 1972). Varianter av processen har studerats vidare under de senaste decennierna då intresset ökat i takt med stigande efterfrågan på nya hållbara proteinkällor och ökad självförsörjningsgrad.

Framför allt Danmark har kommit långt gällande vallbioraffinering. I Danmark är fokus på att pressa färskt gräs. Århus Universitet har en pilotanläggning och en demonstrationsanläggning. I Danmark har de två första kommersiella anläggningar varit i drift ett par år och ytterligare anläggningar har eller är på gång att startas upp. De två kommersiella anläggningarna som är etablerade är dels BioRefine på Vestjylland som har en kapacitet på 50 ton vall per timma. På BioRefine produceras 4600 ton proteinkoncentrat per år av ca 3000 ha vall. Den andra anläggningen är Aasumgaard som också är etablerad på Vestjylland med en kapacitet på ca 20 ton biomassa per timma. Denna anläggning producerar 1500 ton proteinkoncentrat per år från 700 ha vall. Grassa i Holland har en mobil pilotanläggning och planerar att bygga en kommersiell anläggning. I Finland pågår forskning om vallraffinering med fokus på att använda ensilerad vall. Även Nibio i Norge har nyligen etablerat en forskningsanläggning för grön

bioraffinering och proteinframställning utanför Steinkjer med en kapacitet på 2-4 ton biomassa per timma.

1.1 Mål och syfte

Med utgångspunkt i tidigare forskning och erfarenheter om proteinutvinning från vall avsåg detta projekt att ta nästa steg mot kommersialisering med syfte att ta fram proteiner till framförallt ekologisk fjäderfäproduktion samt för framtida ökande efterfrågan på sojafria foderlösningar till enkelmagade djur. Projektet syftade även till en mer hållbar växtodling för gårdar utan djur genom att finna avsättningsmöjligheter för vall i växtföljden. För att detta ska realiseras måste tekniken fungera och ekonomin gå ihop. Projektets mål var därför att:

- Identifiera tekniklösningar för småskaliga system med låg investeringskostnad och kan leverera ett proteinkoncentrat i våt form (AP1).
- Utforma en konceptuell design på en mobil pressanordning med kapacitet som matchar dagens vallskördesystem (AP2)
- Identifiera lämplig lösning för hantering av produkter och restströmmar för en centraliserad anläggning (AP2)
- Undersöka potentialen att använda blandvallar för proteinutvinning samt studera lagringstabiliteten hos vallfraktioner (AP3)
- Identifiera affärmodeller för samarbeten mellan gårdar (litet till mellanstort produktionssystem) där dessa modeller skulle passa in i en framtida implementering/demonstrator (AP4)
- Identifiera och utvärdera lämpliga placeringsalternativ för en centraliserad anläggning (AP4)

Efter avslutat projekt var målet att tillräckligt underlag tagits fram för att kunna gå vidare med förstudier för en större centraliserad anläggning för produktion av proteinkoncentrat till fodertillverkning. Vidare skall projektet ge tillräckligt med underlag för att gå vidare med ett teknikutvecklingsprojekt för mobil tekniklösning för pressning av vall. Slutligen skall projektet leda till en vidareutveckling av den testbädd som finns vid Naturbruksskolan Sötåsen till att den skall bli en demonstrationsmiljö för proteinutvinning på mellangårdsnivå.

1.2 Genomförande

Fokus i projektet har varit att identifiera och utvärdera tekniska koncept för storskaliga och småskaliga system. Utgångspunkten för de småskaliga systemen var att identifiera enkla tekniska lösningar för att producera proteinfoder i våt form med inriktning mot slaktsvinsproduktion. Inriktningen för de storskaliga systemen har varit att hitta ett koncept för produktion av ett torrt proteinkoncentrat lämpat att ersätta sojamjöl vid fodertillverkning.

Som stöd i arbetet med att utforma de tekniska systemen har det inom projektet genomförts både laboratorieförsök och försök i pilotskala. Det operativa arbetet har delats in i fyra arbetspaket.

AP1

Fokus för arbetspaket ett var att utforma ett produktionssystem för närproducerat proteinkoncentrat i våt form. Systemet bygger på samverkan mellan gårdar där växtodlingsgårdar ges möjlighet att införa vall i växtföljden och större nötdjursgårdar skulle kunna nyttja sin vall bättre genom att utvinna protein till enkelmagade djur. Den våta proteinfraktionen efter pressning av färsk eller ensilerad vall utfodras på grisgårdar. Fiberfraktionen kan till exempel användas som foder till nötdjur eller som substrat vid biogasproduktion. En fallstudie har gjorts för projektdeltagaren Hilmérs Lantbruk av en anläggning baserad på ensilerad vall där pressjuicen utfodras till grisar och presskakan används för biogasproduktion.

AP2

Arbetet inom ramen för arbetspaket 2 har syftat till att ta fram designunderlag för en större centraliserad anläggning för utvinning av proteinkoncentrat. Anläggningen fokuserar på färsk vall som tillförs anläggningen från vall odlad på omgivande växtodlingsgårdar. Stort fokus har legat på teknisk utformning, logistiska utmaningar, massflöden, restflöden och energibehov. Vidare undersöktes om det skulle gå att komplettera den centrala anläggningen med en mobil pressutrustning för att minska transportbehov samt underlätta användandet av presskakan vid mjölkgårdar och nötköttproducenter.

Kopplat till anläggningens utnyttjande är intressanta frågeställningar i denna del vilka möjligheter som finns för att förlänga skördesäsongen för färska grödor genom val av olika grödor och fånggrödor samt vilka möjligheten som finns att öka utnyttjandegraden på anläggningen genom annan verksamhet vintertid.

AP3

Det tredje arbetspaketet innefattade praktiska försök i både labb- och pilotskala. Tester genomfördes för att bistå AP1 och AP2 med kunskap som bedömdes saknas från tidigare forskning samt för att verifiera och utvärdera utvalda delar av produktionssystemen. Arbetet fokuserade på proteinutvinning från blandvallar, lagringsstabilitet hos olika delfraktioner som uppstår inom processen, mäta upp nyckeltal för olika processmoment samt kunskapsuppbyggnad inom projektgruppen. Ett mål med pilotförsöken har också varit att undersöka proteinutbyten och massbalanser vid pressning av färsk och ensilerad vall, hur de varierar mellan olika skördar och olika vallar samt om de är möjliga att förbättra med olika driftinställningar.

AP4

För de föreslagna koncepten i AP1 och AP2 gjordes en bedömning av kostnader och intäkter. Dessutom gjorde en gemensam/övergripande analys av utvecklings- och affärsmöjligheter.

2 Praktiska försök i labb- och pilotskala

2.1 Introduktion

En effektiv utvinningsprocess där så stor andel som möjligt av det vattenlösliga proteinet i den flytande fraktionen efter pressning återfinns i pressjuicen är nödvändigt för att nå lönsamhet. Proteinutbytet för utvinningsprocessen varierar beroende på hur de olika processtegen utformas, samt är beroende av råmaterialets kvalitet (sort, skördetidpunkt etc.). Proteinutbytet kan ökas genom till exempel ökad bearbetning innan pressning och dubbelpressning. Vid försök i labskala i projektet "Utvinning av högvärdiga komponenter för förbättrad värdekedja för vall till etanol och bioolja" uppnådde vi proteinutbyten, dvs andel av proteinet i vallen innan pressning som återfanns i pressjuicen, på 31-37 % för färsk vall och 43-49 % för ensilerad vall (Gunnarsson m.fl., 2022). Dubbelpressning, även kombinerat med enzymbehandling, ökade proteinutbytet för hela processen jämfört med enkelpressning utan att sänka proteinhalten och utan att påverka aminosyraprofilen negativt hos proteinkoncentratet (Gunnarsson m.fl., 2022). Baserat på danska erfarenheter från lab-, pilot- och demoskala har Jørgensen m.fl. (2021) uppskattat att vid pressning av färsk vall är 44 % av råproteinet i vallen rimligt att utvinna till pressjuicen i en optimerad kontinuerlig process. Med detta som bakgrund genomfördes pressningsförsök med färsk och ensilerad vall i Sötåsens pilotanläggning.

2.2 Pressningsförsök med färsk vall

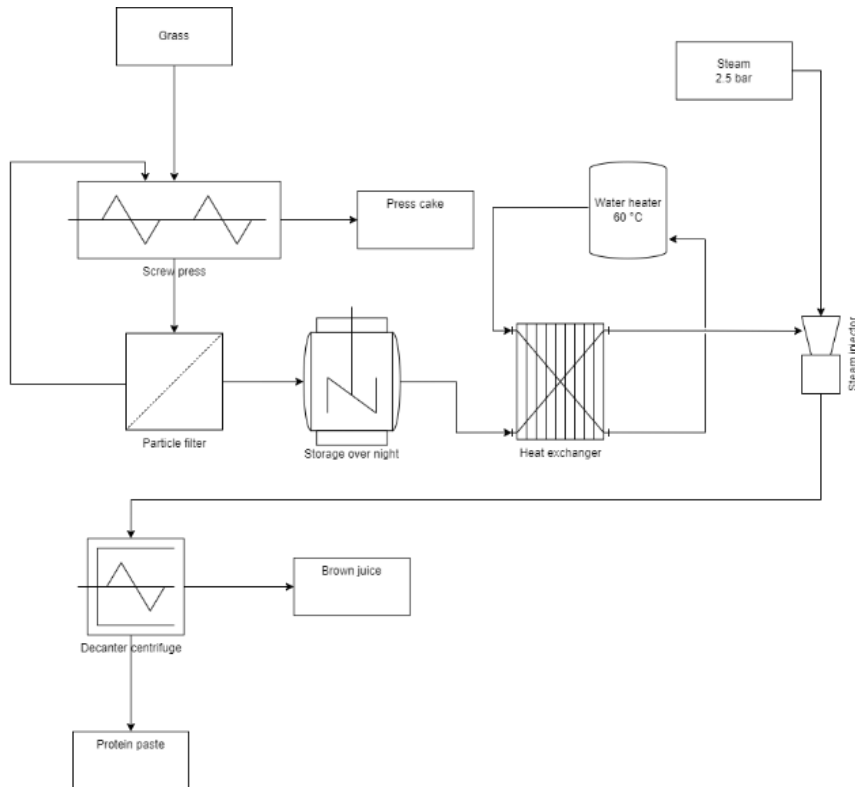
2.2.1 Genomförande

Under 2022 bedrevs tre separata pilotförsök med pressning och efterföljande proteinutfällning på naturbruksskolan Sötåsens anläggning för grön bioraffinering. Pilotanläggningens utformning var likadan vid alla tillfällena men det utfördes olika tester vid de separata tillfällena. Vid varje tillfälle genomfördes en "standardkörning" som skulle vara densamma i alla steg från pressning till proteinkoncentrat. De olika tillfällena kommer hänvisas till som första, andra och tredje skörd. Vid samtliga försök genomfördes utöver standardkörning även försök med olika inställningar för pressning.

Vid samtliga tillfällen genomfördes försöken under två dagar. Första dagen genomfördes olika pressförsök samt en upprepning av den större pressningen för att samla pressjuice inför andra dagen. Andra dagen fälldes protein ut och separerades. Vid första skörden genomfördes dock inledningsvis ett flertal olika mindre pressningsförsök för att hitta rätt inställningar på matarbord och skruvpress.

Vallen som användes i försöken var en andraårsvall etablerad med en utsädesblandning bestående av 10 % rödklöver Vicky, 7 % vitklöver Edith, 47 % timotej Switch, 18 % ängssvingel Toread and 18 % engelskt rajgräs SW Birger (Pavo 21, Lantmännen). Inför första skörden gödslades vallen med 25 ton rötrest per ha och inför tredje skörden med 15 ton rötrest per ha medan andra skörden inte gödslades alls.

Vid varje försök pressades strax över 3 ton vall varav ca 1,4 ton juice samlades och användes för proteinutvinning. En liten mängd juice vid varje försök behandlades ej pga. utrustningens begränsningar. Uppställningen för försöken visas i Figur 1.



Figur 1. Schema för den uppställning som användes vid Sötåsens pilotanläggning.

Vallen slogs med en slätterkross och lades i sträng följt av bärgning med hackvagn och transport in till anläggningen. Slätterkrossen var utrustad med en crimper, vars syfte var att bryta grässtråna efter att det klippts från marken. Hacken var en exakthack som klippte gräset till längden ca 20-30 mm. Färsk vall transporterades med traktor till ett avlastarbord med bandmatning. Det hela utfördes inom 2 timmar från att gräset slogs till att det pressades. Bordet var utrustat med vågceller och styrning över hastighet på matningen av vallen. Överst på bordet var en fördelare monterad för att förse skruvpressen med jämnare matning. Från matarbordet föll vallen ner på ett transportband som förde in vallen i skruvpressen. Skruvpressen som användes i försöket hade en kapacitet på ca 2 ton biomassa per timma (500 Twin-Press P15-22 kW, Cir-Tech A/S, Circular Technologies). Mottrycket kunde ställas för att justera "pressgraden". Efter pressning fördes presskakan med transportband till ett uppsamlingskärl. Pressjuicen filterades genom ett bågfilter för att sedan samlas i en lagringstank. Lagringstanken var försedd med kylning som höll 4 °C, efter ~16 h pumpades juicen genom en värmeväxlare försedd med 60 °C vatten som värmekälla som förvärmningssteg. Efter förvärmningen sprutades ånga in i juicen via en ånginjektor för att snabbt värma juicen till ca 80 °C. I dekantercentrifugen separerades proteinet och samlades upp i kärl direkt under centrifugen (CE 306-l71-32 System, GEA). Brunjuicen samlades i tank. Genomförda försök är sammanställda i Tabell 1.

Tabell 1. Sammanställning av genomförda körningar vid första, andra och tredje skörd

Försök	Benämning	Beskrivning	Datum
1	Första skörden, 1_1	Skörd av färsk vall, pressning och utvinning av protein.	220609-10
2	Andra skörden, 2_1	Skörd av färsk vall, pressning och utvinning av protein.	220729-30
2	Andra skörden, 2_2	Dubbelpressning av presskaka	220729-30
2	Andra skörden, 2_3	Pressning med långsammare skruv i pressen.	220729-30
3	Tredje skörden, 3_1	Skörd av färsk vall, pressning och utvinning av protein.	220901-02
3	Tredje skörden, 3_2	Dubbelpressning av presskaka	220901-02
3	Tredje skörden, 3_3	Pressning med långsammare matarbord	220901-02

I samband med försöken togs prover ut på de olika fraktionerna för bestämning av ts- och kjeldahl-kväve på RISE lab i Uppsala. Prover frystes också in för senare analys av fodervärde, aminosyrainnehåll och växtnäringvärde hos Eurofins. De kemiska analyserna framgår av Bilaga 1.

2.2.2 Mass- och proteinutbyten i pressningen och fällning

Baserat på analyser av innehåll av ts och råprotein bestämdes viktutbyten vid pressning för de tre skördarna och framgår av Tabell 2.

Tabell 2. Viktutbyten vid mekanisk pressning och proteinfällning med separation samt energiåtgång vid pressning

	Första skörd	Andra skörd	Tredje skörd
Torrsubstans (%)			
Hel vall	16,0	18,2	15,4
Pressjuice	5,9	5,7	5,6
Presskaka	35,8	30,1	33,7
Brunjuice	4,4	4,4	4,4
Proteinkoncentrat	37,7	36,4	33,9
Råprotein (% av ts)			
Hel vall	12,9	17,8	17,4
Pressjuice	15,5	15,5	16,8
Presskaka	13,4	17,1	15,0
Brunjuice	7,7	7,7	8,6
Proteinkoncentrat	43,8	46,7	51,6
Torrsubstansutbyte (% av startmaterial)			
Hel vall	100	100	100
Pressjuice	15,2	14,3	18,6
Presskaka	84,8	85,8	81,4
Brunjuice	8,9	8,4	10,2
Proteinutbyte (% av startmaterial)			
Hel vall	100	100	100
Pressjuice	17,2	13,1	20,4
Presskaka	82,8	86,9	79,6
Brunjuice	5,6	4,3	6,5
Energiåtgång (kWh/ton vall)			
Pressning	6,1	4,5	5,0

När massbalanserna sammanställdes, dvs mängden vall in till pressning jämfört med vikten på pressjuice och presskaka var förlusterna stora och svåra att förklara. En orsak till förlusterna på torrsbstans (ts)-bas kan vara att det är svårt att ta ut representativa ts-prover. En annan svårighet med pilotanläggningen på Sötåsen är att fastställa massbalansen över dekantercentrifugeringen speciellt när batcherna är begränsade i storlek. Även Santamaria-Fernandez m.fl. (2020) rapporterar att det inte gick att genomföra massbalansberäkningar för hela konceptet på grund av osäkerheter i mätningarna av de olika fraktionerna. Dekantercentrifugen har dessutom en högre kapacitet än övriga delar i processen och skulle därför behöva större mängd pressjuice för att kunna göra kvantitativa beräkningar. En del av materialet fastnade i dekantercentrifugen efter varje försök och kunde därmed inte tas med i beräkningarna. Det material som fastnade uppskattades efter tömning och rengöring. Massbalanserna enligt Tabell 2 fastställdes därför genom att utgå mängden pressjuice och presskaka och anta att summan av dessa motsvarade mängden vall in till pressning.

Såväl koncentration av ts och råprotein som mass- och råproteinutbyten var lägre än de värden vi antagit är möjliga att uppnå i en optimerad process, se Tabell 13. Torrhalten i pressjuicerna var ca 6 % vid våra försök jämfört med antagna 9 % och proteinhalten i % per ts var mellan 15-17 % för våra försök jämfört med 27 % av ts som vi antagit i optimerad process. Proteinutbytena till pressjuicen varierade vid våra försök mellan 13-20 % jämfört med antagna 44 % som bedömts kunna uppnås i kommersiell och optimerad produktion. Motsvarande ts-utbyten varierade mellan 14 och 19% jämfört med 29% för optimerad process.

Vid andra och tredje skörden utvärderades långsammare matning till skruvpressen som ett alternativ för att öka mass – och proteinutbytet vid pressning. Detta gjordes genom att minska hastigheten på matarbordet men matningen var dock inte noggrant kontrollerad. (Vid ensilagepressningarna 2023 mättes matarbordets hastighet genom periodvis avläsning på matarbordet, se Figur 4). Massutbytet ökade för båda skördarna, i andra skörden från 14 % till 16 % och i tredje skörden 19 % till 25 %. Motsvarande proteinutbyte ökade i tredje skörden från 20 % till 22 % vid långsampressning.

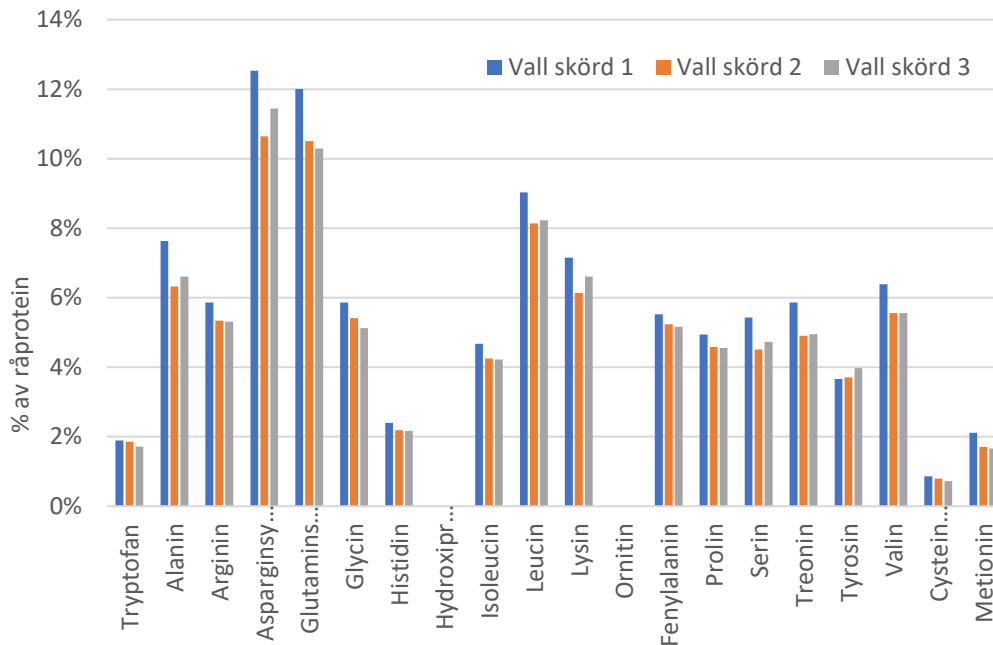
Vid både försök 2_2 och 3_2 pressades presskakan en gång till, vid de pressningarna pressades ca 5 % av torrsbstansen ut ur presskakan vilket ökade det sammanslagna utbytet. Försök 2 enkelpress 14 % ökades till 17 % med dubbelpress, försök 3 enkelpress 19 % ökade till 24 %. Motsvarande siffror för proteinutbytet i försök 3 var en ökning från 20 % till 25 % vid dubbelpressning.

2.2.3 Aminosyrasammansättning

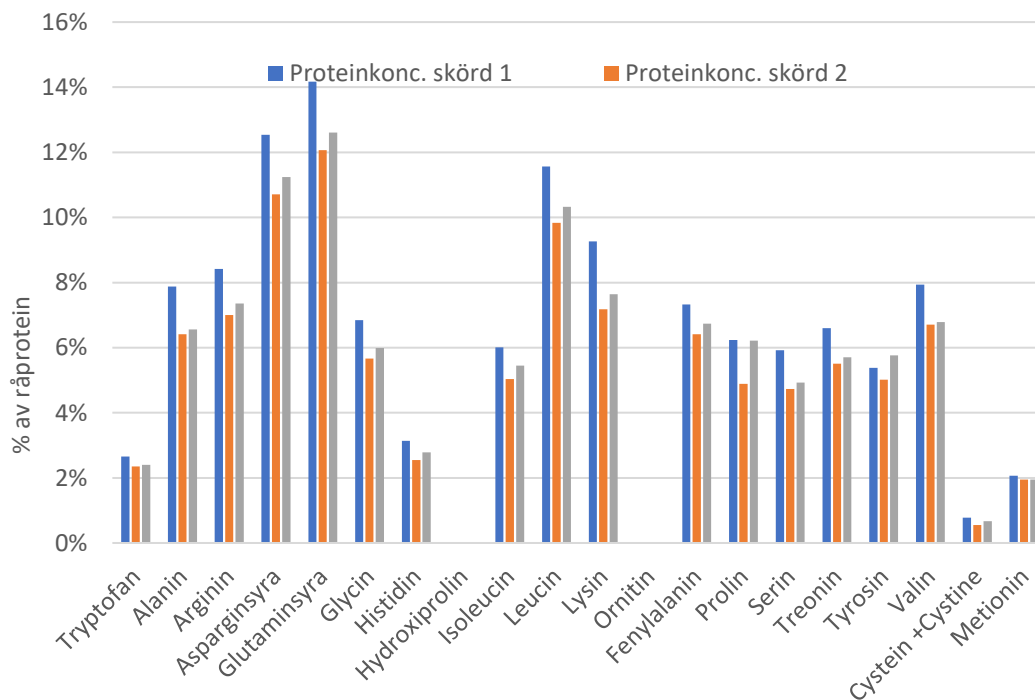
Aminosyrasammansättningen hos vallen innan pressning samt i proteinkoncentratet analyserades av Eurofins (metod EU 152/2009 och ISO 13903:2005) och framgår av Figur 2 och Figur 3. Aminosyrasammansättningen hos vallen innan pressning stämmer väl överens med den hos motsvarande proteinkoncentrat. Ingen tydlig skillnad i sammansättningen mellan skördarna kunde ses. Fastän råproteininnehållet var lägst i första skörden och ökade i andra och tredje skörd var aminosyrainnehållet generellt högst i första skörden jämfört med återväxtskördarna.

Stödkilde m.fl. (2023) jämförde aminosyrainnehållet i torkat vallproteinkoncentrat med alternativa proteinfoder såsom åkerböna, rapskaka och sojamjöl och fann att

vallproteinet hade högst innehåll av treonin, tryptofan och valin jämfört med de andra fodermedlen. Jämfört med dessa är innehållet i proteinkoncentratet i våra försök ungefär lika stora eller något högre. Deras vallprotein var skördat vid pilotanläggningen vid Aarhus Universitet och bestod av en blandning av rajgräs, lucern och rödklöver.



Figur 2. Aminosyrasammansättning hos färsk vall från första, andra och tredje skörd innan pressning.



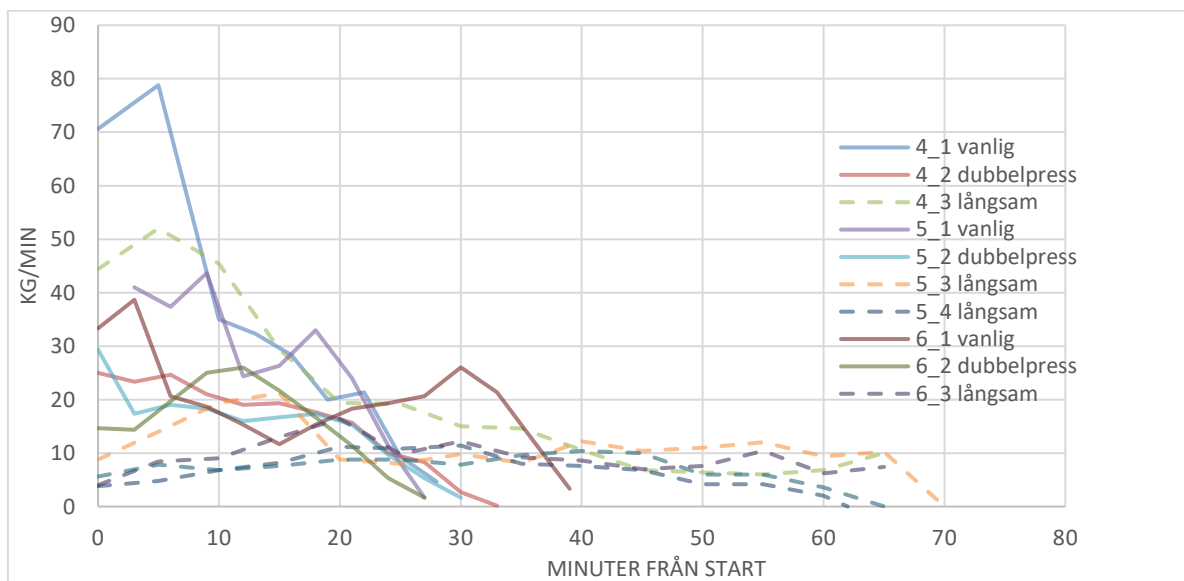
Figur 3. Aminosyrasammansättning hos proteinkoncentratet från första, andra och tredje skörd.

2.3 Pressningsförsök med ensilerad vall

2.3.1 Genomförande

Under våren 2023 pressades två olika ensilage pressades i Sötåsens bioraffinaderi för att utvärdera juicen, presskakan och de utbyten som kan uppnås i syfte att undersöka potentiella värdekedjor under vinterhalvåret då färsk vall inte finns att tillgå. Försöken med ensilerad vall utfördes under en och samma dag, då inget efterföljande steg med proteinutvinning gjordes. Den ensilerade vallen som användes i försöken kom från Lantmännens Nötcenter Viken utanför Falköping, samt från naturbruksskolan Sötåsen. Med balarna från Viken upprepades samma försök två gånger.

I syfte att öka bearbetningsgraden och därmed utbytet i pressningssteget utfördes tester att pressa presskakan två gånger samt att sänka matningshastigheten till pressen och därmed öka uppehållstiden i pressen. Långsam pressning genomfördes i praktiken genom att variera matningshastigheten på avlastarbordet för att eftersträva 50 % av matningshastigheten. Detta medför dock inte att flödet in till pressen minskar i samma grad eftersom avlastarbordets konstruktion inte ger ett jämnt flöde av biomassa, det framgår tydligt av Figur 4 där de vanliga pressningarnas hastighet sjönk tydligt mot slutet av försöken trots att även avlastarbordet gick på maxhastighet. Figur 4 illustrerar dock att med undantag från 4_1 hade de långsamma pressningarna konsekvent lägre matningshastighet.



Figur 4. Matningshastighet vid ensilagepressningar. De streckade linjerna visar de körningar som betecknas som långsamma där hastigheten på matarbordet försökte minskas med 50% jämfört med normal hastighet.

Ensilage från naturbruksskolan Sötåsen var en blandvall från tredje skörden 2022, lagrat i plansilo. Detta ensilage användes även för att hitta lämpliga inställningar och en rimlig försöksplan för de ensilagebalar som hämtades från Viken. Balarna från Lantmännens Nötcenter Viken utanför Falköping innehöll hackat ensilage från gräs/klöver- vall från skörd 2022, ensilerat utan tillsatsmedel med en ts-halt på 30-35 % och råproteinhalt på ca 18 % av ts.

Pressningarna av ensilage genomfördes på samma sätt som de pressningar som genomfördes av färsk vall sommaren 2022 (Tabell 3). Ensilaget från Sötåsen hämtades med lastmaskin från plansilo till avlastarbordet. Processen skede enligt tidigare beskrivning av försöket med färsk vall.

Tabell 3. Sammanställning av genomförda körningar vid försök med ensilerad vall

Försök	Benämning	Beskrivning	Datum
4	4_1	Press med ensilage från Sötåsens tredje skörd	230403
4	4_2	Press med presskaka från 4_1	230403
4	4_3	Press med ensilage från Sötåsens tredje skörd, långsam matning	230404
5	5_1	Press med ensilerade balar från viken	230420
5	5_2	Dubbelpress med presskaka från 5_1	230420
5	5_3	Press med ensilerade balar från Viken, långsam matning	230421
5	5_4	Dubbelpress med presskaka från 5_3, långsam matning	230421
6	6_1	Press med ensilerade balar från Viken	230428
6	6_2	Dubbelpress med presskaka från 5_1	230428
6	6_3	Press med ensilerade balar från Viken, långsam matning	230502
6	6_4	Dubbelpress med presskaka från 5_3, långsam matning	230502

2.3.2 Mass- och proteinutbyten i pressningen

Vikt- och proteinutbyten vid pressning för ensilaget från Sötåsen respektive Viken visas i Tabell 4 till Tabell 6. I Tabell 5 visas utbytet vid pressning med både Sötåsens pilotanläggning samt för jämförelse även med en liten laboratoriepress (Angle Juicer, Angelia 7500, B0836-05220020-AD03).

Tabell 4. Mass- och proteinutbyten vid mekanisk pressning, torrsustans för ensilage från Sötåsen

	Första pressning	Dubbelpressning (summa 1a och 2a pressning)	Långsampressning	Pressning med labbpress
Torrsustans (%)				
Hel vall	24,59	24,59	24,59	27
Pressjuice	13,7	10,39	10,53	13,4
Presskaka	45,82	49,53	44,80	47,9
Viktsutbyte vid pressning (% vätvikt)				
Pressjuice	41,67	50,33	48,15	53,9
Presskaka	44,14	47,49	41,01	33,2
Förlust i process	14,19	13,13	10,84	12,9
Råprotein (% av ts)				
Hel vall	15,60	15,60	15,60	-
Pressjuice	16,40	17,20	-	-
Presskaka	12,00	-	-	-
Proteinutbyte vid pressning (%)				
Pressjuice	24,41	29,09	-	-
Presskaka	63,26	-	-	-

Tabell 5. Viktsutbyten vid mekanisk pressning, torrs substans för ensilage från Viken, omgång 5_1-5_4

	Första pressning	Dubbelpressning (summa 1a och 2a pressning)	Långsampspressning	Långsam+dubbel
Torrs substans (%)				
Hel vall	32,50	32,50	36,98	36,98
Pressjuice	16,17	13,13	17,51	16,28
Presskaka	45,06	50,14	54,67	49,30
Viktsutbyte vid pressning (% vätvikt)				
Pressjuice	31,36	36,09	42,50	45,00
Presskaka	60,95	47,34	53,13	43,13
Förlust i process	7,69	16,57	4,38	11,88
Råprotein (% av ts)				
Hel vall	18,4	-	-	-
Pressjuice	29,76	29,61	-	-
Presskaka	14,9	-	-	-
Proteinutbyte vid pressning (%)				
Pressjuice	25,23	29,09	-	-
Presskaka	68,42	-	-	-

Tabell 6. Viktsutbyten vid mekanisk pressning, torrs substans för ensilage 18-25% från Viken, omgång 6_1-6_4. Uppreppning av försöken i tabell 5

	Första pressning	Dubbelpressning (summa 1a och 2a pressning)	Långsampspressning	Långsam+dubbel
Torrs substans (%)				
Hel vall	46,35	46,35	38,85	38,85
Pressjuice	16,22	16,25	20,81	20,89
Presskaka	49,89	49,30	49,32	53,41
Viktsutbyte vid pressning (% vätvikt)				
Pressjuice	32,39	37,67	27,19	30,98
Presskaka	56,07	49,20	63,14	54,51
Förlust i process	11,53	13,13	9,67	14,51
Råprotein (% av ts)				
Hel vall	18,4	-	-	-
Pressjuice	29,67	29,72	29,73	29,63
Presskaka	-	-	-	-
Proteinutbyte vid pressning (%)				
Pressjuice	18,28	21,33	23,53	26,82
Presskaka	-	-	-	-

Vid pressningarna med ensilage uppnåddes ett proteinutbyte på 18-25 %, se Tabell 4.6. Ensilaget från Sötåsen lagrat i plansilo hade lägre ts-halt än balarna från Viken och en tendens som kunde observeras var att utbytet av massa och protein vid pressning ökar med ökad vattenhalt på ensilaget.

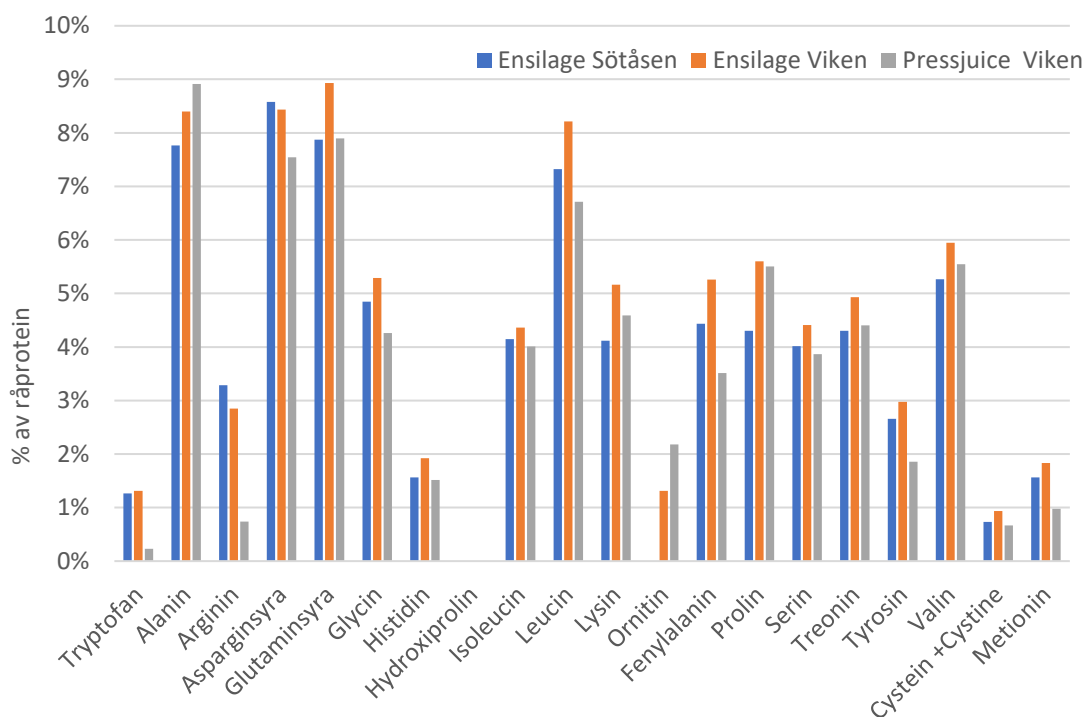
Vi kan även se att körningar för att förlänga uppehållstiden i pressen, de som benämns långsam pressning och dubbelpressning, har resulterat i ökat mass- och proteinutbyte.

Våtviktsutbytet ökade med 4-8 procentenheter och proteinutbytet ökade med 3-5 procentenheter.

Närmast att nå de önskade utbytena som vi antagit möjliga att uppnå i en optimerad process är vi för pressningarna med ensilage från Sötåsen och en förklaring till det kan vara de högre vattenhalterna i ensilaget lagrat i plansilo. Proteininnehållet i ensilaget innan pressning var däremot högre i balarna från Viken, 18 % råprotein av ts jämfört med 16 %.

2.3.3 Aminosyrasammansättning

Aminosyrasammansättningen (analyserad av Eurofins enligt metod EU 152/2009 och ISO 13903:2005) hos ensilaget från Sötåsen och både ensilage och pressjuice från Viken visas i Figur 5. Sammansättningen överensstämmer relativt väl mellan de båda ensilaget och pressjuicen. Jämfört med motsvarande analyser som gjordes på den färska vallen och proteinkoncentrat finns vissa skillnader, tex är koncentrationen av aspargin- och glutaminsyra högre i den färska vallen jämfört med den ensilerade, ca 11-12 % av råprotein jämfört med ca 8 % i den ensilerade vallen. Då olika vallar användes som startmaterial är det svårt att avgöra om detta är ett resultat av enbart ensileringsprocessen. Tidigare försök i liten skala i projektet "Utvinning av högvärdiga komponenter för förbättrad värdekedja för vall till etanol och bioolja" visade en tendens till att ensileringsprocessen minskade andelen arginin medan effekten från olika grässorter inte påverkade aminosyrasammansättningen.



Figur 5. Aminosyrasammansättning i ensilage från Sötåsen och Viken innan pressning samt i pressjuicen efter pressning av ensilage från Viken.

2.4 Lagringsstabilitet

För att ha tillgång till ett proteinfoder under hela året är en viktig del att kunna lagra produkten med bibehållen kvalitet. Vid pressning av färsk vall torkas det proteinkoncentrat som erhålls och är därmed lagringsstabil och i en form som underlättar hantering och transport. Torkning är dock en dyr och energikrävande process och alternativa processer för att få en lagringsstabil produkt är därför intressant att undersöka vidare. I projektet gjordes initiala tester med att lagra pressjuice från färsk vall vid olika pH och temperaturer. Dessutom undersöktes fermentering av pressjuicen från färsk vall som en metod för att förlänga hållbarheten. Kunskap kring lagringsstabilitet och metoder för att förlänga hållbarheten är även intressant i ett system med mobil pressning av färsk vall där pressjuicen måste transporteras in till en central anläggning för vidare bearbetning.

Vid pressning av ensilage är pressjuicen som erhålls relativt lagringsstabil på grund av att mjölksyra bildats under ensileringsprocessen vilket sänkt pH så att mikrobiell tillväxt reduceras. I detta projekt gjordes ett kompletterande test i en större behållare där lagringsstabiliteten undersöktes och observerades under en månad.

2.4.1 Lagring av pressjuice från färsk vall vid olika pH och temp- ett förtest

Med målet att identifiera relevanta lagringstider och behandlingar av pressjuicen för fortsatta tester och analyser samt för ett första underlag för antaganden vid utformning av den mobila pressen gjordes ett förtest på pressjuice från färsk vall vid uppstarten av projektet 2021.

Metod

Färsk vall (75 % gräs, 25 % klöver) från första skörden 2021-05-25 skruvpressades i pilotskala på Sötåsen. Pressjuicen till lagringstestet samlades upp efter bågfiltreringen vid 0,25 mm. Obehandlad juice lagrades i 250 ml flaskor i duplikat vid rumstemperatur 20 °C samt kyld vid 4 °C.

Som alternativ till kylförvaring testades två olika behandlingar av juicen: (1) värmebehandling och (2) pH-justerings. Den värmebehandlade juicen, behandlades i en värmeväxlare vid 55-57 °C efter bågfiltreringen. Den pH-justerade juicen samlades upp direkt efter bågfiltreringen och justerades till pH4 genom tillsats av mjölksyra. Den värmebehandlade juicen och pH-justerade juicen lagrades i 250 ml flaskor i duplikat vid rumstemperatur 20 °C. Tabell 7 summerar behandlingar och lagringsförhållanden som undersöktes vid förtestet.

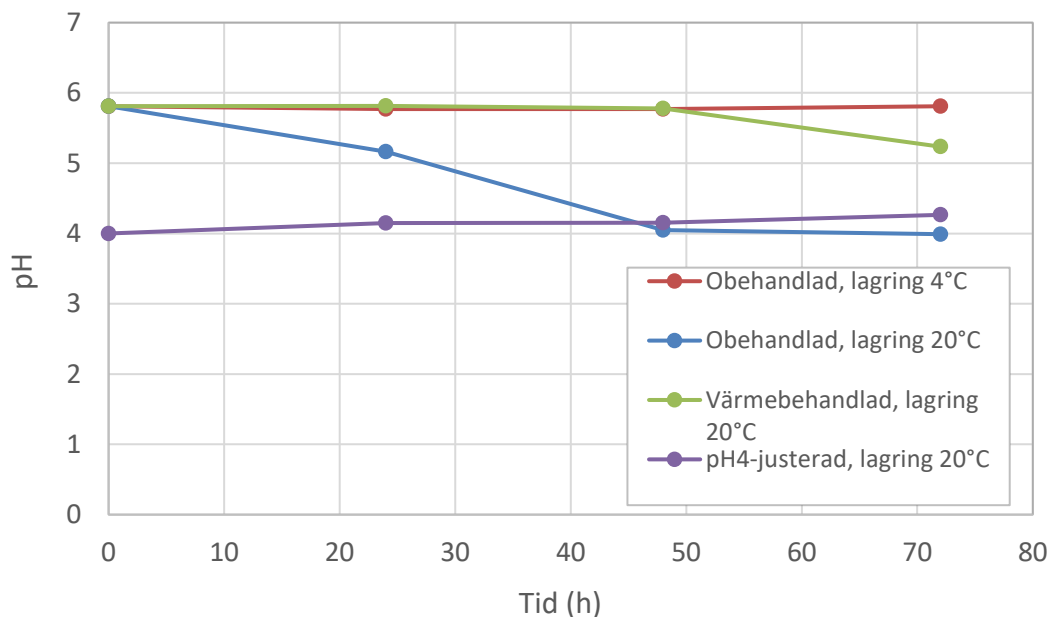
Tabell 7. Behandlingar och lagringsförhållanden för pressjuicen vid förtestet av lagringsstabilitet

Behandling efter pressning	Lagringsförhållanden
Obehandlad	Rumstemperatur, 20 °C
Obehandlad	Kyld, 4 °C
Värmebehandlad (55-57 °C)	Rumstemperatur, 20 °C
pH-justerad (pH4, mjölksyra)	Rumstemperatur, 20 °C

Pressjuicen lagrades, pH analyserades och observationer gjordes efter 24, 48 och 72 h. pH användes som ett mått för lagringsstabilitet då förändringar i pH kan ses som en indikator för mikrobiell tillväxt.

Resultat

Figur 6 visar förändringen i pH i den lagrade juicen under förtestet. pH-sänkning är ett tecken på mikrobiell tillväxt. Som väntat försämrades kvaliteten med avseende på pH på den obehandlade pressjuicen som förvarades i rumstemperatur snabbt. En pH-sänkning kunde observeras redan efter 24 h. För pressjuicen med mild värmebehandling observerades en pH-sänkning först efter 72 h. Obehandlad juice förvarad kallt hade oförändrat pH efter 72 h medan juicen där pH sänkts till 4 behöll pH-värdet med en tendens till ökande pH under förvaring i rumstemperatur under den 72 h långa lagringstiden. Detta illustreras även av Figur 7 där gasutveckling skedde efter 48 h i den obehandlade juicen som lagrats i rumstemperatur samt i den pH-justerade. Efter 72 h kunde gasutveckling observeras även i den värmebehandlade juicen. Av Figur 7 framgår också att en tydlig sedimentation skett i alla burkar utom den som förvarats kyld, vilket skulle kunna förklaras med att protein fälls ut när pH sänks till den isoelektriska punkten som i tidigare studier visat sig ligga i närheten av pH4 (Gunnarsson m.fl., 2022). För den värmebehandlade juicen skulle uppvärmningen kunna ha påverkat utfällningen av protein.



Figur 6. Förändring av pH hos obehandlad pressjuice lagrad vid 4 °C och 20 °C, samt hos värmebehandlad och pH-justerad pressjuice lagrad vid 20 °C.



Figur 7. Från vänster: obehandlad, lagring 20 °C; obehandlad lagring 4 °C; värmebehandlad, lagring 20 °C; pH-justerad, lagring 20 °C.

Vid öppning av burkarna hade den som kylförvarats ännu en fräsch gräslukt medan de övriga proverna hade en otrevlig lukt.

Vid fortsatta lagringstester undersöks en längre lagringstid då den kylförvarade juicen fortfarande visade ett oförändrat pH efter 72 h under förtestet.

2.4.2 Lagringsstabilitet hos pressjuice från färsk vall- uppföljande försök

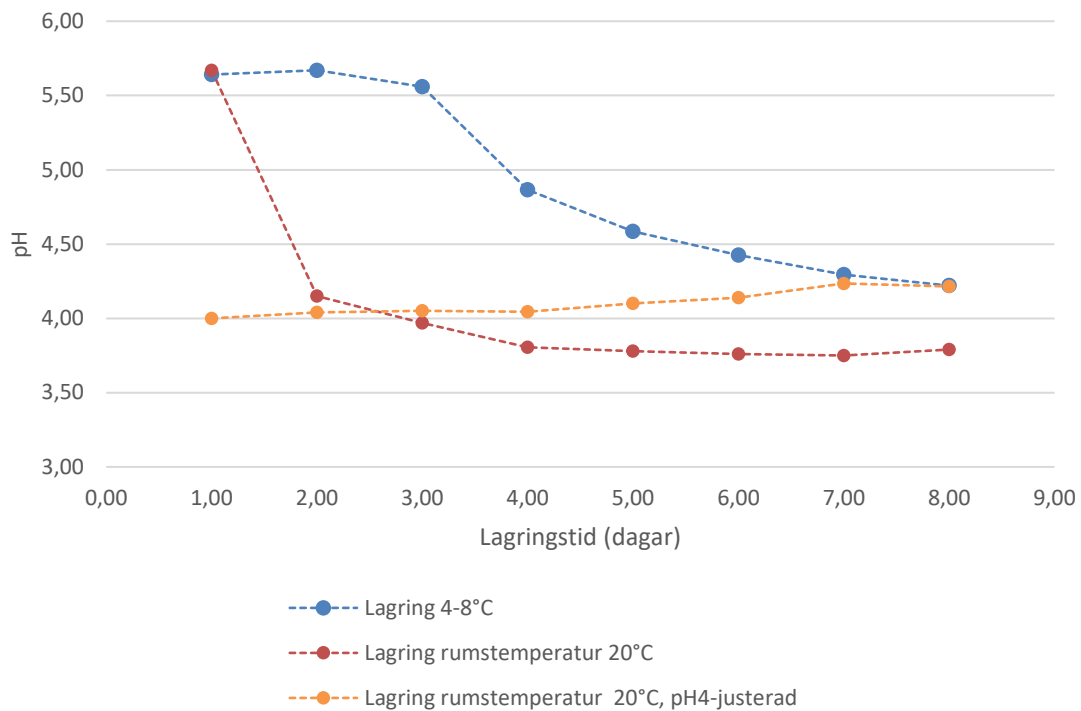
2.4.2.1 Metod

Utifrån ovan redovisade förtest gjordes ett uppföljande försök med pressjuice som lagrades vid tre olika förhållanden; kylt, rumstemperatur och efter pH-justering till pH 4,0 för att sedan lagras i rumstemperatur. Pressjuicen kom från pressningsförsöket första skörden 2022 på Sötåsen och lagrades fryst innan försöket inleddes och försöket pågick i upp till 20 dagar. Därefter analyserades pH, total mängd torrs substans och andelen torrs substans i fällning efter centrifugering.

2.4.2.2 Resultat

I dessa tester användes pH som en indikator på lagringsstabilitet och förändring av juicens ursprungliga sammansättning. Förändring i pH kan relateras till mikrobiologisk tillväxt som i vissa avseenden kan göra juicen otjänlig eller skulle kunna påverka proteinkvaliteten, men tillväxt av mjölksyrabakterier som sänker pH kan under kontrollerade former även användas som ett sätt att konservera juicen och förlänga dess hållbarhet.

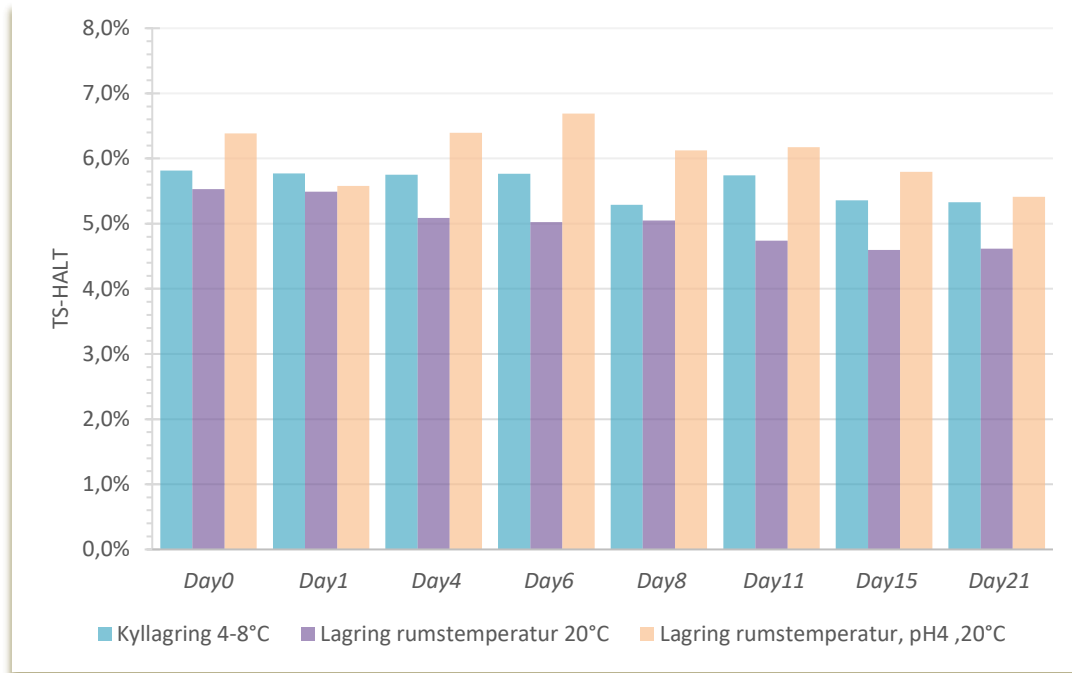
Då juicen lagras i rumstemperatur sker en tydlig minskning i pH efter redan en dag enligt Figur 8. Det går även att utläsa att den kylagrade juicen är relativt pH stabil i upp till 4 dagar och att den pH justerade juicen är stabil med en liten ökning mot slutet av studien. En tendens till ökande pH i den pH justerade pressjuicen kunde ses även under de 3 dygn som förstudien pågick.



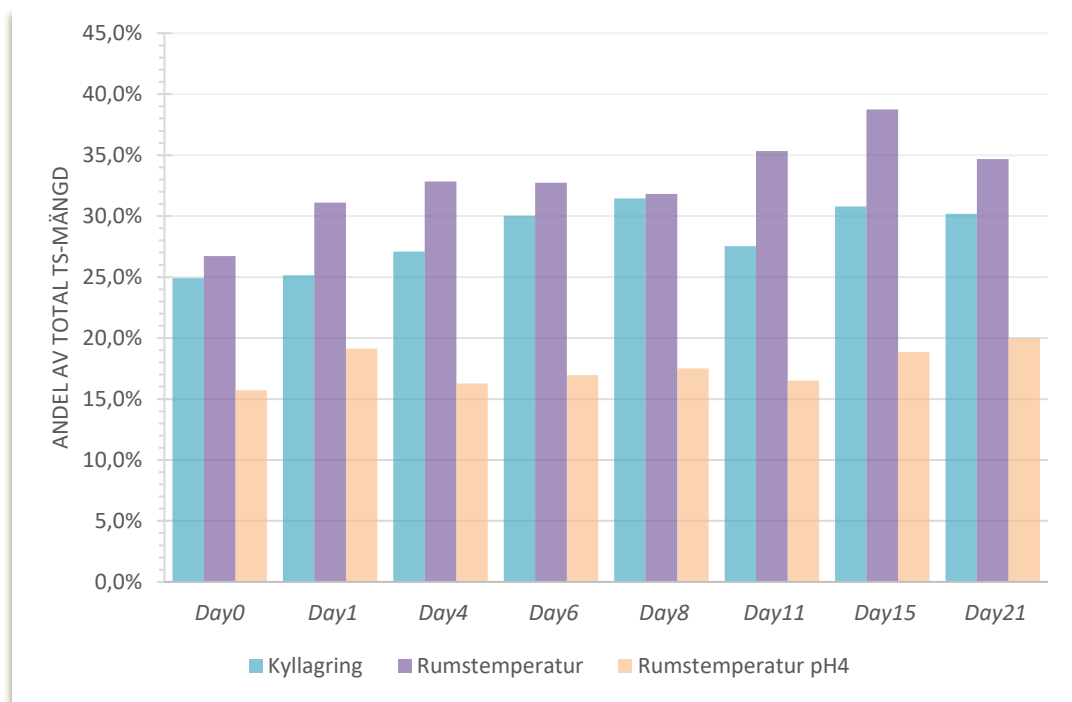
Figur 8. pH mätningar på pressjuice under lagring.

Om det under lagringen sker en mikrobiologisk process där det bildas gas kan mängden torrs substans i provet minska. Mängden torrs substans (ts) i provet samt utbytet vid fällning efter centrifugering analyserades för att se om något sker som minskar mängden material.

Som framgår av Figur 9 så minskar ts-halten något vid rumstemperaturlagring vilket tyder på gasbildning och därav oönskad mikrobiologisk process. I Figur 10 syns att andel av torrs substansen som fälls ut vid centrifugering ökar vid rumstemperaturlagring. Detta betyder inte nödvändigtvis att mer protein fälls ut, utan snarare är det kopplat till mikrobiell tillväxt.



Figur 9. Total mängd torrsubstans i juice vid lagring.



Figur 10. Andel av torrhalt som fälls ut i sediment vid centrifugering.

Resultatet från undersökningarna av lagring av pressjuice från färsk vall indikerar att kyllagrad pressjuice från färsk vall behåller sitt ursprungliga pH i upp till 4 dagar. I den obehandlade pressjuice hade pH minskat redan efter 24 timmars lagring. Den bör alltså behandlas eller användas direkt för att undvika tillväxt av bakteriella problemorganismer såsom clostridium.

2.4.3 Lagring pressjuice från ensilage i praktisk skala

Den 31 juli 2023 pressades ensilage i rundbalar från Götala Nöt och lammköttforskning på naturbruksskolan Sötåsens anläggning för grön bioraffinering. Balarna pressades genom skruvpresen enligt tidigare beskriven process och pressjuice samlades upp i 1 m³ stor IBC-behållare med skruvlock.

Provtagning av pressjuicen gjordes dag 0, 1, 2, 3, 7, 14, 21 och 28 enligt Tabell 8, genom att ett 500 mL-plastkärl fästes på en pinne och fördes ner mot botten i IBC-behållaren och drogs sedan hela vägen upp för att få ett representativt prov, se Figur 11. Totalt togs fyra prover per tillfälle enligt nedanstående schema. Efter några dagar syntes en mögeltillväxt på ytan närmast locket. Vid provtillfällena då mögel bildats skrapades detta undan för att undvika att få med mögel i provvätskan.

Observationer gjordes för lukt och färgförändringar samt synlig mögeltillväxt över tid, Figur 12. Foto och pH togs vid varje testtillfälle.

Tabell 8. Observationer (visuella och lukt) samt mätning av pH under lagring av pressjuice från ensilerad vall

Provdag	Datum	pH	Lukt	Kommentar
Dag 0	230731	4,01	Fräsch lukt	Ofiltrerad färsk pressjuice, direkt från pressen
Dag 1	230801	4,04	Söt och jäst lukt	Viss mögelansamling vid ytan
Dag 2	230802	4,00	Söt och jäst lukt	Något sötare doft än dag 1.
Dag 3	230803	4,00	Oförändrad lukt	Ca 5 mm mögeltillväxt vid ytan
Dag 7	230807	4,03	Oförändrad lukt	Något större mögeltillväxt, ca 7 mm vid ytan
Dag 14	230814	4,03	Söt, jäst doft, ingen större förändring	Ca 7 mm mögeltillväxt vid ytan
Dag 21	230821	4,01	Söt, jäst doft, ingen större förändring	Något större tillväxt mögel
Dag 28	230828	4,03	Söt, jäst doft, ingen större förändring	Något större tillväxt mögel



Figur 11. Från vänster till höger. IBC-kärl med pressjuice, provtagning samt de kärl som proverna förvarades i.



Figur 12. Från vänster till höger, mögeltillväxt vid ytan vid provtillfälle dag 7, 14, 21 och 28.

Eftersom inga mikrobiella analyser gjordes är det svårt att säga hur mögeltillväxten på ytan påverkat pressjuicens hygieniska kvalitet och lämplighet som foder. Det låga pH i juicen under lagringstiden indikerar att ingen tillväxt av mögel skett. Möglet på ytan skulle också kunna fungera som ett skydd mot angrepp.

2.4.4 Fermentering av pressjuice från färsk vall

2.4.4.1 Metod och genomförande

Fermentering genom tillsats av mjölksyrabakterier har testats som en metod för att fälla ut protein från pressjuice från färsk vall och har visat sig vara ett mindre energikrävande alternativ till värmekoagulering, se t.ex. Santamaria-Fernandez m.fl. (2019). Inom projektet undersöktes möjligheten att förlänga hållbarheten på pressjuicen genom fermentering. Principen är att man genom tillsats av mjölksyrabakterier snabbt kan sänka pH, vilket i sig innebär ett skydd mot de flesta bakteriella riskerna. Vissa mjölksyrabakterier kan också producera specifika svamphämmande metaboliter. En ytterligare tanke var att bakterierna skulle kunna underlätta nedbrytning av cellulosa och därmed frigöra näringsämnen.

Försöken genomfördes i tre steg. Inledningsvis gjordes ett försök att undersöka den mikrobiella sammansättningen i pressjuicerna och vilka förhållanden som krävs för att

avdöda dem. I nästa steg testades att tillsätta olika bakteriestammar efter avdödning av pressjuicen och i det sista steget valdes en av bakteriestammarna ut för ett fermenteringsförsök.

2.4.4.2 Resultat och diskussion

Ett första försök var att undersöka den mikrobiella bakgrundsfloran samt i vilken mån man kan avdöda den genom upphettning av pressjuicen. Förutom en kontroll så testades två olika varianter på avdödning. Dels 30 minuter vid 45 °C samt 5 minuter vid 65 °C. Pressjuice togs från tre olika batcher (från första, andra och tredje skörd 2022, se Tabell 1). Efter pressning hade juicen förvarats i frys -18 °C fram till dess att försöken utfördes. Genom odling räknades den totala koncentrationen av bakterier, totalantalet mögel och jäst, samt specifikt mjölksyrabakterier (anaerob odling). Resultaten sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell 9. Mikrobiell bakgrundsflora (TSA- total koncentration av bakterier, DRBC- totalt antal mögel och jäst och MRS- specifikt antal mjölksyrabakterier) i vall från första, andra och tredje skörd vid avdödning 30 minuter vid 45 °C, 5 minuter vid 65 °C samt kontroll

Undersökt parameter (antal mikroorganismer per g)	Kontroll	30 min, 45 °C	5 min, 65 °C
Vall från första skörd			
TSA	1,6E+06	2,7E+05	2,6E+04
DRBC	1,3E+04	1,6E+03	0,00
MRS	2,7E+06	7,0E+05	2,1E+02
Vall från andra skörd			
TSA	6,7E+06	4,9E+05	3,9E+04
DRBC	8,0E+04	4,2E+04	2,0E+01
MRS	8,6E+05	1,9E+05	1,3E+03
Vall från tredje skörd			
TSA	2,5E+04	7,1E+05	4,2E+05
DRBC	8,2E+03	6,8E+02	0,00
MRS	7,0E+04	1,4E+04	1,6E+02

Resultaten visar en bra mikrobiell avdödning vid 65 °C medan vid 45 °C var skillnaden inte nämnvärt stor jämfört med kontrollen. Resultaten påvisade även att en stor andel av befintlig bakterieflora är mjölksyrabakterier och att dessa inte helt slås ut vid 65 °C. Slutsatsen var därför att i efterföljande försök där vi tillsätter mjölksyrabakterier, inkludera endast kontroll och värmeinaktiverad vid 65 °C.

I samråd med Sacco systems, tillverkare och av starterkulturer för bland annat livsmedel och foder, valdes fyra olika mjölksyrabakteriestammar ut för att testas:

Lyofast LRB (*Lactobacillus rhamnosus*; antimikrobiell)

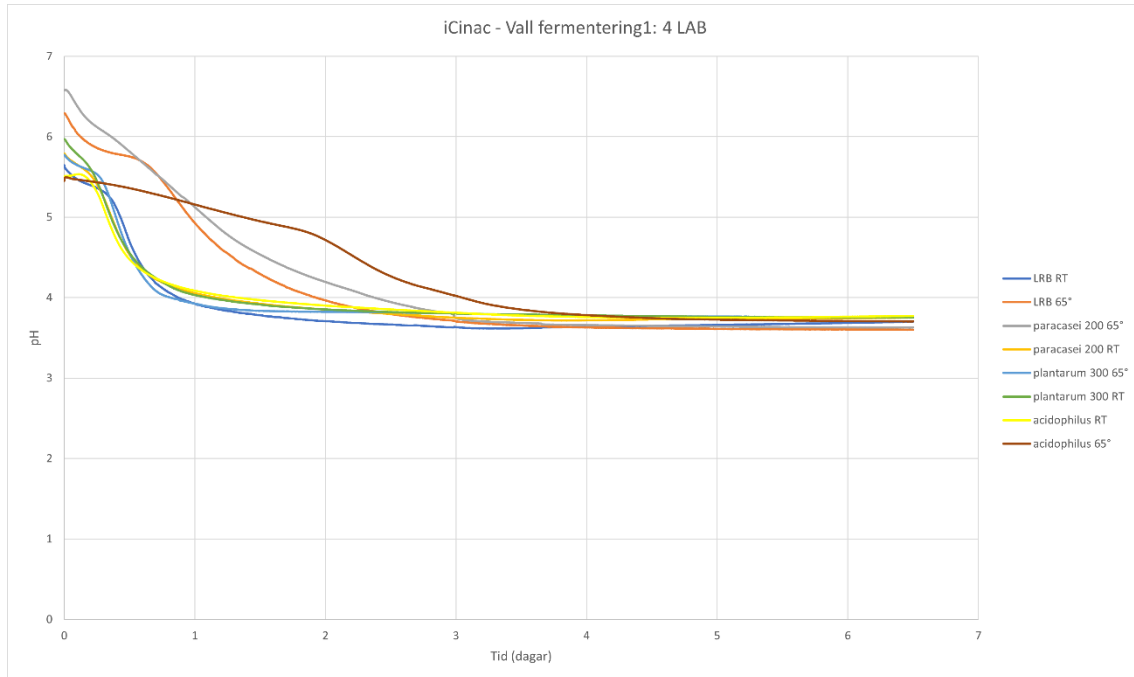
Lactobacillus paracasei 101-37, 200 BLN (tidigare testad, probiotisk)

Lyofast *Lactiplantibacillus plantarum* 14D 300 BLN (antimikrobiell)

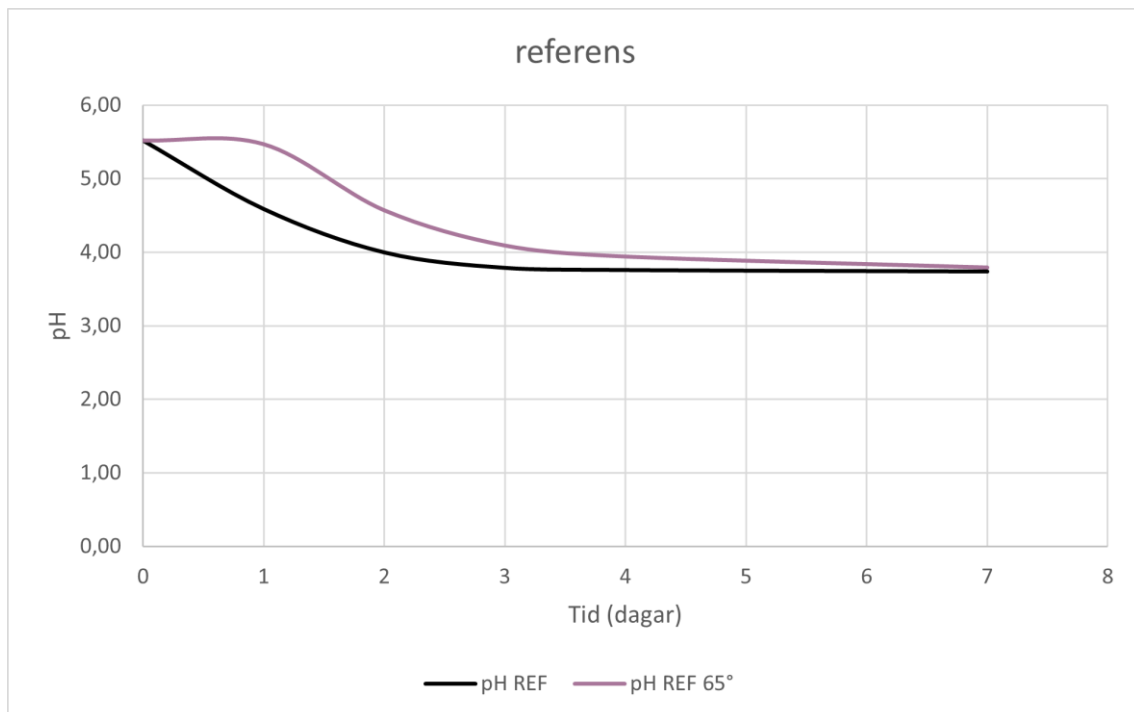
Lyofast *Lactiplantibacillus acidophilus* LA1 200 LBN (antimikrobiell, probiotisk)

Försöken genomfördes vid 25 °C under en vecka med kontinuerlig mätning av pH. På grund av instrumentets kapacitetsbegränsningar (iCinak) så mättes pH i referensproven (utan starterkultur) manuellt en gång per dag. Förändringar med avseende på pH i

pressjuicen efter inokulering med olika starterkulturer visas i Figur 13 och i kontrollen utan starterkultur i Figur 14.



Figur 13. Förändring av pH efter inokulering med olika mjölksyrabakterier.

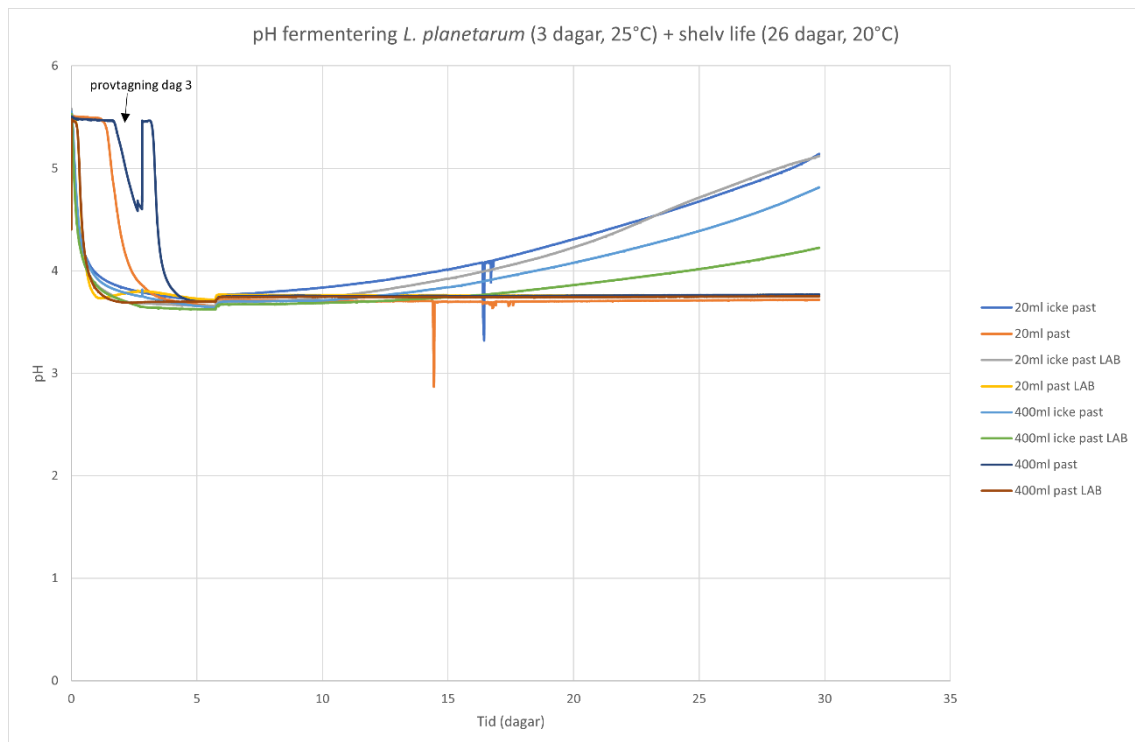


Figur 14. Utveckling av pH i kontrollen utan tillsatta mjölksyrabakterier. Noteras här att bara mättes en gång per dag varför eventuella snabba förändringar i pH inte framgår.

Resultaten visar att oavsett användning av värmeavdödning eller tillsats av starterkultur, så sjunker pH till knappt under 4. Det tar dock olika mycket tid och vid tillsats av starterkultur. För tre av de fyra stammarna, samt utan starter går det snabbare om inte

värme-inaktivering görs. Detta tyder på att sänkningen av pH i dessa fall åtminstone till stor del beror på mikroorganismer som fanns i pressjuicen från början. Att pH sjunker efter värmeavdödning även i kontrollen utan starterkultur kan antas bero på att bakterier faktiskt överlevde värmebehandlingen. För en stam, *Lactiplantibacillus plantarum* så sänktes pH snabbt även efter avdödning. I fortsatta försök låg fokus på den stammen.

Det fortsatta försöket med *L. plantarum* genomfördes med tre olika volymer, 20, 40 och 400 ml. Här testades fermentering utan värmeavdödning eller med en värmeavdödning på 65 °C under 5 minuter. Dessutom användes kontroller utan tillsatt starterkultur. Syftet med de större volymerna var ifall att de fermenterade produkterna skulle användas i kommande andra försök och det enda som kvantifierades i samtliga prov var initiala mängder bakterier där mängden mjölksyrabakterier i inokulerade prov var mellan LOG 9,1 och LOG 9,5 utan någon signifikant variation mellan proven. I samtliga prov förutom mjölksyrabakterier och svamp kvantifierades selektiva substrat även för *Listeria*, *Enterobacteriaceae*, *Clostridium* och *Bacillus*. Prov togs direkt efter start och efter 3 dagar då fermenteringen på 25 °C avslutades, efter 1 veckas lagring samt efter 4 veckors lagring. Då det inte var någon variation mellan provvolymerna redovisas allt i klump där högsta och lägsta observation redovisas (Se Tabell 10 - Tabell 12). För 40 ml togs bara prover innan och efter fermentering, och för 400 ml togs inget prov efter en vecka. Lagringen genomfördes i 8 °C respektive 20 °C och i det senare fallet fortsatte pH att mätas (Figur 15) och där kunde en ökning av pH observeras i opastöriserade prov och då sannolikt på grund av tillväxt av svamp.



Figur 15. Utveckling av pH under fermentering samt lagring vid 20 °C.

Tabell 10. LOG-mjölksyrabakterier efter förvaring

Prov	Start	Slut (dag 3)	Lagrings-temperatur	1 vecka	4 veckor
RT	8,5-8,6	9,1-9,4	8 °C	9,3	8,8-8,9
			20 °C	8,6	8,6-9,0
65 °C	8,3-8,4	9,3-9,5	8 °C	9,0	8,0-8,3
			20 °C	8,8	8,0-8,3

Tabell 11. LOG-totalmängd jäst- och mögelsvamp efter förvaring

Prov	Start	Slut (dag 3)	Lagrings-temperatur	1 vecka	4 veckor
RT (kontroll)	3,0-3,5	3,3	8 °C	3,8	6,5
			20 °C	6,7	>7
65 °C (kontroll)	0,0-1,0	0,0	8 °C	0,0	0,0
			20 °C	0,0	0,0
RT (LAB)	3,5-3,7	3,6	8 °C	3,8	6,7
			20 °C	5,4	6,4
65 °C (LAB)	0,0-1,0	0,0	8 °C	0,0	0,0
			20 °C	0,0	0,0

Tabell 12. LOG-totalmängd *Listeria sp.* efter förvaring

Prov	Start	Slut (dag 3)	Lagrings-temperatur	1 vecka	4 veckor
RT (kontroll)	3,4-3,5	0,0-3,3	8 °C	2,4	2,4
			20 °C	2,2	>4
65 °C (kontroll)	0,0-2,5	2,6-2,8	8 °C	2,3	2,3-2,5
			20 °C	2,3	2,0-2,1
RT (LAB)	3,5-3,6	2,5-2,8	8 °C	2,3	2,4
			20 °C	2,3	2,0-2,1
65 °C (LAB)	0,0-2,0	2,6-2,8	8 °C	2,3	2,3-2,4
			20 °C	2,3	1,7-2,1

Inga *Clostridium sp.* eller Enterobacteriaceae kunde identifieras. På enstaka plattor kunde man se *Bacillus sp.* Men dåligt underlag för kvantifiering och flera kolonier såg inte ut som *Bacillus*. Efter identifiering med MALDI-Tof kunde dock några stammar identifieras som *Bacillus mycoides* eller *Bacillus cereus*. Då toxiciteten hos dessa bakterier är koncentrationsberoende så bedöms det inte föreligga någon fara med *Bacillus*. En jäst som växte snabbt vid 8 °C identifierades som *Pichia fermentans* och den stammen har sparats och deponerats till CCUG.

2.4.4.3 Sammanfattning av resultat från fermentering och lagring

Resultaten tyder på att det är möjligt att få en produkt som är att betrakta som säker med avseende på mikrobiologiska risker. Genom att tillsätta mjölksyrabakterier sänks pH snabbare vilket i sig indikerar en säkrare produkt. Däremot kan man inte, utifrån observerade data, påvisa någon betydelse i praktiken. Det är möjligt att om försök genomförs i större skala att tillsats av starterkultur och därmed snabbare pH-sänkning ändå är en fördel. Försöken kan inte heller svara på om det finns fördelar med avseende på frigörande av näringsämnen kopplade till tillsats av mjölksyrabakterier då detta inte

har testats. Det är möjligt att det man kan justera värmeavdödningen men helt klart är att 30 minuter vid 45 °C inte är tillräckligt.

Förvisso innebär tillsats av starterkultur att pH sänks snabbare vilket är av vikt för att minska mängden farliga bakterier. För att få proverna någorlunda fria från svamptillväxt krävs det dock en värmeavdödning innan fermentering och det kan vara så att denna värmeavdödning i sig är tillräcklig för att få till ett säkert foder eftersom pH ändå sjunker relativt snabbt. Av ekonomiska skäl kan det i en större process vara möjligt att inte hetta upp till 65 °C men uppenbart är att 45 °C inte är tillräckligt men 5 minuter vid 65 °C ger goda resultat då i princip allt jäst och mögel inaktiveras som även resulterade i att pH hålls stabilt vilket i sig minskar risken för oacceptabla nivåer av farliga bakterier.

3 Konceptutveckling

I denna del utvecklade och utvärderade vi ett småskaligt gårdsbaserat koncept baserat på pressning av ensilage och ett storskaligt baserat på färsk vall för att producera ett torrt proteinkoncentrat.

3.1 Vallproteinet som foder

En målsättning i projektet var att hitta proteinfoder för framför allt ekologiska fjäderfä men baserat på de erfarenheter som finns hittills har gräsproteinkoncentrat bedömdes mindre intressant till fjäderfä än till gris pga. otillräckligt innehåll av metionin och cystein samt tydliga indikationer på högre risk för smutsiga ägg. Fjäderfä kan inte heller använda blöt råvara.

Eftersom Danmark är ett av de länder som kommit längst vad gäller utveckling av vallbioraffinering och de i princip helt satsat på proteinutvinning från färsk vall för att få ett torrt proteinkoncentrat som slutprodukt finns mest erfarenheter från detta system. Det torra koncentratet kan ingå som ett fodermedel vid foderstasberäkningar till såväl kyckling, värphöns och grisar. Vallprotein har ungefär lika hög andel essentiella aminosyror som soja (Steenfeldt och Hammerhøj, 2015). Enligt Santamaria-Fernandez och Lübeck (2020) har vallproteinkoncentrat en liknande aminosyraprofil oavsett vallsort och fällningsmetod vilket är en fördel när det ska användas som en kommersialiserad foderprodukt.

För att undvika import från länder utanför EU finns framför allt inom ekologisk produktion finns efterfrågan på inhemskt producerat proteinfoder. Dessutom får syntetiska aminosyror inte tillsättas till foderblandningen vilket gör det svårt att utforma en välbalanserad foderstat där behoven av alla essentiella aminosyror tillgodoses.

För att kunna göra foderstater med vallprotein behövs smältbarhetskoefficienter vilket saknas för pressjuice från vall. Stödkilde m.fl. (2019) har gjort smältbarhetsförsök med råttor på vallproteinkoncentrat och fann att koncentrat från lucern hade högre smältbarhet jämfört med klöver och rajgräs. SLU (Perez Davila, 2023) har genomfört smältbarhetsförsök på grisar med pressjuice från pressning av färsk och ensilerad blandvall. ATTD (apparent total tract digestability) dvs den uppfattade smältbarheten i hela tarmkanalen hos råproteinet var 60,5 och 70,8 % för respektive pressjuice från färsk och ensilerad vall. Pressjuicerna togs fram i Sötåsens pilotanläggning och vällen innan pressning hade en proteinhalt på 17-18 % av ts. Pressjuicernas proteininnehåll var dock

lågt, 14-15 % av ts. Resultatet visar att pressjuice från både färsk och ensilerad vall hade acceptabla smältbarhet av protein och aminosyror men mer forskning behövs för att få fram standardiserade smältbarhetskoefficienter.

Erfarenheter av utfodring med vallproteinkoncentrat från färsk vall

I det danska projektet MultiPlant gjordes utfodringsförsök med inblandning av vallproteinkoncentrat till ekologiska kycklingar (broilers). Kycklingarna utfodrades med ekologiskt slaktkycklingfoder innehållande antingen 0, 8, 16 eller 24 % gräsklöverprotein, vilket motsvarar en ersättning av 0, 13, 26 eller 39 % av det traditionella proteinet med vallprotein. Alla dieter uppfyllde slaktkycklingarnas närings- och energibehov. Råproteinhalten i proteinkoncentratet var 36 % och med en metioninhalt som var högre än i sojamjöl. Försöket pågick från kläckning och fram till slakt och under hela perioden registrerades tillväxt och foderintag. Resultatet visar att med 8 % inblandning av vallprotein påverkades inte foderintag och slaktvikt medan högre inblandning resulterade i lägre slaktvikt och fodereffektivitet hos kycklingarna. (Stödkilde m.fl., 2020).

I det danska projektet Organofinery genomfördes foderförsök med vallproteinkoncentrat till ekologiska värphöns. Vallprotein med 35 % proteininnehåll blandades in i fodret med 4 %, 8 % och 12 % samt en referens med 0 %. Inga skillnader kunde ses på äggproduktionen, äggvikt och foderintag. Fodret som inkluderade vallprotein gav signifikant gulare (och rödare) äggula (Steenfeldt m.fl., 2018). Enligt danska erfarenheter har vissa problem uppstått när besättningar med värphöns börjat använda vallprotein. När vallproteinkoncentratet överstiger 2 % av foderstaten har hönornas avföring blivit klistrig och att det har även påverkat hönornas äggläggning och trivsel (Fog, pers komm, 2024).

Enligt försök utförda i Danmark fungerar vallproteinkoncentrat väl för utfodring av grisar. Det har en aminosyraprofil jämförbar med soja men ett högre innehåll av methionin. Tillgången på kommersiellt tillverkat vallproteinkoncentrat är begränsad och därmed även storskaligt genomförda försök (Stödkilde m.fl., 2023). Ett småskaligt utfodringsförsök utfört av Stödkilde m.fl. (2021) med slaktsvin i ekologisk produktion visade inga negativa effekter på djurens tillväxt av att låta vallproteinkoncentrat från blandvall bestående av gräs och klöver utgöra upp 15 % av fodret i foderstaten. Vallproteinet ersatte huvudsakligen sojapresskaka, i den sista uppfödningssperioden från 65 kg fram till slakt ingick ingen soja alls vid den högsta vallproteininblandningen 15 %. Vallproteinet ökade köttets innehåll av fettsyror vilket kan påverka köttets oxidering och smak negativt men kan motverkas av tillsats av antioxidanter.

Irländska utfodringsförsök med inblandning av vallproteinkoncentrat från rajgräs under 31 dagar fram till slakt visade att foderstaten med vallprotein presterade bättre än den sojabaserade foderstaten. Inga negativa effekter kunde ses på dagligt foderintag, viktökning och foderomvandlingsförmåga (feed conversion rate) jämfört med kontroll. Proteinkoncentratet togs fram med hjälp av Grassas koncept för proteinutvinning och ersatte 27 % av sojamjölet, 25 % av korn och 8 % av vete i foderstaten (Ravindran m.fl., 2021).

Enligt Stödkilde m.fl. (2023) är det mest realistiska alternativet för att ersätta importerat sojabaserat protein med lokalt producerat protein att använda en blandning av lokalproducerade proteinråvaror som åkerböna, rapskaka och vallprotein. I ett

utfodringsförsök med slaktgrisar (från 30-105 kg) undersökte de effekten på grisarnas produktion, sensorisk kvalitet och klimatpåverkan av tre foderstater med olika proteinråvaror, en med importerad soja- och solrosmjöl, en där dessa ersattes med vallprotein balanserat med åkerböna och rapskaka och en där den ersattes med bara åkerböna och rapskaka. Det var ingen signifikant skillnad i daglig tillväxt mellan foderstaterna. Eftersom vallproteinet inte finns tillgängligt kommersiellt i stora mängder kan det inte konkurrera ekonomiskt med de andra foderstaterna.

Erfarenheter av utfodring med pressjuice från pressning av ensilerad vall

Under ensileringen bryts proteiner ner till fria aminosyror och peptider vilket försvårar utvinningen av ett proteinkoncentrat. De kan dock tas upp av enkelmagade djur vilket gör att direkt utfodring av pressjuice i blötutfodringsystem intressant (Rinne, 2024). I Finland genomfördes försök med utfodring av pressjuice från ensilage till slaktgrisar från 62 kg fram till slakt. En fördel med att utfodra pressjuice från ensilage är att innehållet av organiska syror sänker pH-värdet och förbättrar juicens lagringsstabilitet. Pressjuicen hade en ts-halt på 7 % och råproteinhalt på 28 % av ts och erhöles från pressning av timotej och ängssvingel. Foderstaten med pressjuice innehöll maximalt 3 liter pressjuice per gris och dag. Inga skillnader kunde observeras i vare sig daglig tillväxt, foderomvandlingsförmåga, slaktvikt och köttprocent eller maghälsa (Keto m.fl., 2021). Att tänka på är att variationer i ensilagekvaliteten påverkar juicens sammansättning och kan behöva åtgärdas eller tas hänsyn till vid utfodringen. Rinne m.fl. (2018) utfodrade pressjuice med en råproteinhalt av 17 % av ts från ensilage bestående av timotej och ängssvingel och visade att grisarna fann juicen smaklig. Försöken genomfördes på en kommersiell gård under 5 dagar och grisarna fick 2,6-4,1 liter pressjuice per dag motsvarande 12 % av energiintaget och 23 % av råproteinintaget. Daglig tillväxt var bra men försöksperioden för kort för att dra några slutsatser. Det höga kaliuminnehållet kan begränsa pressjuicegivan till grisar. På Sötåsen har Presto Åkerfeldt m.fl. (2022) genomfört ett åtta veckor långt utfodringsförsök med smågrisar direkt efter avskiljning från suggan i ekologisk produktion där mängden pressjuice i givan skulle ersätta 10 % av råproteinet i foderstaten. Juicen som innehöll 16 % råprotein av ts kom från pressning av en ensilerad blandvall bestående av gräs samt röd- och vitklöver. Efter pressning förvarades juicen kallt i max 5 dagar innan utfodring. Inga signifikanta skillnader kunde ses i daglig tillväxt eller foderomvandlingsförmåga. Grisarna som utfodrades med pressjuice var smutsigare på rygg och huvud troligen beroende på att grisarna spillde juice när de åt.

3.2 Massbalanser och utbyten för beräkningar

Pressjuicens kvalitet påverkar foderstaten. Antaganden har gjorts i Danmark om utbyten och massbalanser som är rimliga att uppnå vid pressning av färsk vall i en uppskalad kommersiell process (Jørgensen m.fl., 2021). Vid pressning av ensilerad vall är dock erfarenheterna mindre och osäkerheterna större om vilken kvalitet på pressjuice som är rimlig att antas uppnå i en fullskalig produktion. Baserat på egna och andras erfarenheter antogs utbyten och massbalanser för de beräkningar som görs i projektet enligt Tabell 13.

Tabell 13. Antagen kvalitet samt mass- och proteinutbyten i de olika processtegen vid proteinutvinning från färsk och ensilerad vall som är möjligt att uppnå i en optimerad process

Vallen	Färsk	Ensilage
Ts-halt, %	18	30
Råprotein, % av ts	18	18
Pressutbyten till pressjuice, % av innehåll i hel vall		
Våt vikt	58,5	57
Ts	29	21
Råprotein	44	44
Pressjuicen		
Ts-halt, %	9	11
Råprotein, % av ts	27	38
Presskaka		
Ts-halt, %	31	55
Råprotein, % av ts	14	13
Brunjuice		
Ts-halt, %	4,2	
Råprotein, % av ts	4,1	
Proteinkoncentrat		
Ts-halt, %	48	
Råprotein, % av ts	45	

4 Utvärdering av ett småskaligt koncept

Det småskaliga konceptet fokuserades på ett system som använder ensilerad vall eftersom detta ger ett mycket enklare system både vad gäller planering och hantering av vallen vid skörd samt för den hantering och utrustning som krävs vid pressning/proteinutvinning. Pressjuicen från pressning av ensilage används som foder till grisar i ett blötutfodringssystem där ensilaget pressas i takt med förbrukning vilket minskar behovet av lagring av pressjuicen. Dessutom har pressjuicen från ensilage lågt pH på grund av ensileringsprocessen vilket också förbättras dess lagringsstabilitet och minskar riskerna för hygienproblem vid utfodring. För presskakan finns flera möjligheter, användning i egen biogasanläggning, som foder till idisslare genom samverkan med gård med nötkreatur eller kanske genom att förädla presskakan vidare på gården. En intressant möjlighet som skulle kunna vara ett komplement till de tidigare nämnda är att plasta in presskakan i balar som kan säljas som foder till tex hästar.

Analysen utfördes som en fallstudie för ett system anpassat till Hilmér Lantbruk i Mellerud, med goda förutsättningar för gårdsbaserad proteinutvinning från vall. Hilmer Lantbruk bedriver grisproduktion fördelat på ett antal gårdar och brukningsenheter och har även en biogasanläggning för gödselrötning. Grisarna utfodras med system för blötutfodring. Vallbioraffinaderiet dimensionerades för en årlig kapacitet på ca 2000 ton ts ensilage.

4.1.1 Pressjuice för blötutfodring

Med massbalanser och pressningsutbyten enligt Tabell 13 och 10 % ensileringsförluster resulterade i specifikationer enligt Tabell 14. Vid en vallavkastning på 9 ton ts/ha behövs 248 ha.

Tabell 14. Mängder vall att skörda samt ensilage, pressjuice och presskaka i beräkningarna för det småskaliga systemet baserat på pressning av ensilage

Specifikation	Mängd per år		Mängd per dag	
	Ton ts	Ton vv	Ton ts	Ton vv
Ensilage att pressa	2000	6667	5,5	18
Vall att skörda	2222	7407		
Pressjuice	418	3800	1,1	10,4
Presskaka	1582	2867	4,3	7,9

4.1.1.1 Foderstater och pressjuiceåtgång

Baserat på Hilmers befintliga foderstater och fodermedel gjordes en foderstatsoptimering när pressjuice inkluderas i foderstaten (Tabell 15). Optimeringen gjordes med programvaran BestMix®. Följande förutsättningar gällde för beräkningen:

- 30 % rp av ts i pressjuicen
- 10-15 % av energi från pressjuicen
- 40-60 % pressjuice i receptet
- Prisnivåer: soja (45 % rp) 7,20 kr/kg, vete 2,72 kr/kg och korn 2,65 kr/kg

Tabell 15. Beräkningar av foderstater för slaktgrisar utan samt med två olika nivåer av inblandning av pressjuice

Foderstat	Bas	40 % pressjuice	60 % pressjuice
Energi från pressjuice (% av MJ)	0	10	15
Pressjuice i receptet (%)	0	40	60
Sojamjöl i receptet (%)	5,3	1,9	1,2
Korn i receptet (%)	8,2	7,9	7,3
Vete i receptet (%)	16,4	15,7	14,6
Vatten i receptet (%)	69,0	33,6	15,9
Premix i receptet (%)	1,0	1,0	1,0
Kostnad (kr/MJ NE)	0,39	0,38	0,39
Kostnad premix (kr/kg)	8,75	13,56	12,05
Kostnad pressjuice (kr/kg)	0	0,50	0,50
Kostnad per gris (kr/gris vid 2800 MJ NE/slaktgris)	897	877	894

Pressjuicen räcker för att utfodra ca 13 000 slaktgrisar per år. Baserat på foderstater enligt Tabell 15 uppskattades värdet på pressjuicen till 0,50 kr/kg vilket användes i ekonomiska beräkningar.

Priset i Tabell 15 avser maximala pris på grönjuicen för att ska gå in frivilligt i foderstaten vid en dosering av antingen 10 eller 15 % av energi (motsvarar 40 respektive 60 % av foderstaten) i receptet och ge samma pris per MJ energi som den sojabaserade foderstaten

utan grönjuice. Det är teoretiskt möjligt att nå en dosering på ca 20 % av energin (78 % av foderstaten). Därefter blir vattenhalten för hög i fodret.

Grönjuicens värde i optimeringen påverkas av flera faktorer, främst av kostnaden för övriga tillgängliga råvaror men naturligtvis även på grönjuicens näringsinnehåll. Här finns fortfarande en viss osäkerhet eftersom det saknas säker och övergripande information om både näringsvärde och dess variation. Beräkningarna i denna rapport bygger på en analys av grönjuice från Green Valleyprojektet på Sötåsen 2021 i kombination med EvaPigs® värdering av torkat gräs. Råvaruvärderingen finns i bilaga 2.

4.1.2 Utformning av anläggningen

För att förse grisarna med önskad mängd pressjuice utformades ett vallbioraffineri, lämpliga maskiner och komponenter valdes ut och kostnader beräknades.

Inmatning av ensilage

Ensilaget hämtas från silo med lastmaskin och lastas till en mottagningsficka. Om avståndet mellan lager och mottagning är länge är ett alternativ att en vagn körs till silon och fylls med ensilage och sedan vidare till mottagningen där det tippas/fylls i mottagningsficka. Det finns flera alternativ för val av matarbord och/eller mottagningsfickor, se exempel i Figur 16. I arbetet ingår även att dagligen täcka av ensilaget i silon.



Figur 16. Exempel på mottagningsficka för ensilage. T.V. ett exempel från Jordberga Biogasanläggning och T.H. avlastarbordet på naturbruksskolan Sötåsens pilotanläggning för grön bioraffinering.

Från mottagningsfickan transporteras gräset till skruvpresen. Transportbandet kan vara utrustat med rulle/återkastare i toppen för jämnare fördelning av ensilaget och minskad risk för klumpar av ensilage in till pressen.

I fallstudien pressas 18 ton, motsvarande ca 48 m³, ensilage per dag för att täcka det dagliga behovet av pressjuice. Eftersom gården inte använder lastmaskin normalt i den dagliga driften var önskemålet att endast behöva utföra momentet att fylla på ensilage en gång per dag vilket gör att mottagningsbehållaren behöver ha större volym. I beräkningarna antogs ett mottagningsystem med en volym 55 m³.

Pressning och utmatning

I beräkningarna valdes en skruvpress med en kapacitet på 8-20 m³ per timme (motsvarande ca 3-7 ton/h vid en densitet på 0,38 ton/m³) och med denna uppskattas pressningen ta ca 5,5 h per dag. Ensilaget pressas och pressjuicen samlas upp i ett mindre buffertkärl bredvid pressen. Juicen pumpas därefter till en större bufferttank. I detta fall ska juicen dels gå till foderberedning på samma gård och/eller transporteras till enheter lokaliserade på annan gård.

Om presskakan ska till biogas så skruvas den lämpligen direkt till biogasanläggningens inmatningssystem och innebär inget extra arbetsbehov. Ett alternativ är att den först samlas på en betongplatta där den kan hämtas med lastmaskin. Detta fungerar också om presskakan ska användas utanför gården. I Hilmérs fall har biogasanläggningen inget befintligt system för inmatning av fasta substrat.

En person med lastmaskin behövs för att fylla mottagningsfickan med ensilage från lagret samt eventuellt för att hantera pressjuice och presskaka. Ytterligare en person behöver finnas tillgänglig under själva pressningen för tillsyn oavsett om driften automatiseras optimalt. Eftersom Hilmer även har en biogasanläggning som kräver tillsyn har antaganden gjorts att arbetet kan samordnas. Beräkningarna i grundfallet är därför antagna till totalt 3 arbetstimmar per dag, varav hälften på fördelat på proteinanläggningen och resten på biogasanläggningen. Dessutom är en arbetstimme per dag med lastmaskin inkluderad i beräkningarna.

4.1.3 Hantering av pressjuice i samband med utfodring

Ensilaget kommer att pressas i takt med behovet av pressjuice för utfodring till gårdens grisar, varför behovet av lagring av pressjuicen inte är så stor. Gården hanterar idag andra fodermedel i flytande form och utfodring sker med hjälp av blötutfodringssystem vilket underlättar när pressjuicen ska börja användas. Förslagsvis samlas juicen i en behållare vid pressning och pumpas därefter vidare till en behållare för mellanlagring inför utfodring.

4.1.3.1 Anläggningskostnader

Totala investeringskostnaderna uppskattades till 4,9 miljoner kronor, se Tabell 16. De årliga kostnaderna samt förutsättningar för beräkningarna framgår av Tabell 17.

Tabell 16. Investeringskostnader för den gårdsbaserade anläggning för proteinutvinning från ensilerad vall

Investering	Kostnad (kr)	Specifikation
Skruvpress	1 500 000	8-20 m ³ /h
Bio feeder för mottagning inmatning	2 200 000	55 m ³
Transportband	100 000	
Bufferttank pressjuice	150 000	
El och styr	150 000	
Installation och driftsättning	100 000	
Byggnad	500 000	
Oförutsedda kostnader	200 000	
Summa	4 900 000	

Tabell 17. Årliga kostnader för den gårdsbaserade anläggning för proteinutvinning från ensilerad vall samt förutsättningar för beräkningarna

Investeringskostnad	4 900 000	Kr
Avskrivningstid	10	År
Ränta	6	%
Annuitetsfaktor	0,13587	
Underhåll	4	% av investering
Arbete	1,5	h/dag
Arbete	310	Kr/h
Lastmaskin	1	h/dag
Kostnad lastmaskin, maskin och drivmedel	498	Kr/h
Elförbrukning	11,1	kWh/ton ts
Elpris	2	Kr/kWh
Kapital, avskrivning	665 753	Kr/år
Underhåll	196 000	Kr/år
El	33 300	Kr/år
Drift, arbete+maskin	351 495	Kr/år
Summa	1 246 548	Kr/år

4.1.4 Vallensilage som råvara

Vid en avkastning på 9 ton ts/ha krävs en vallareal på 248 ha för den önskade mängden pressjuice. Vallensilaget antogs vara treårigt och utgöra 30 % av växtföljden.

Odling

I beräkning av odlingskostnader för vallen är utsäde, gödsling samt en markhyra/markränta på 3500 kr/ha och ett arealstöd på 1650 kr/ha inkluderat. Gödsling antogs ske med rötrest enligt Tabell 18 med ett innehåll av 3,4 kg totalkväve/ton, 1 kg fosfor/ton och 2 kg kalium/ton enligt uppgifter från Gustav Hilmér. Gödslingen kompletterades med konstgödsel för att nå upp till rekommenderade givor vid 9 ton ts/ha för en blandvall vid tre skördar och 30 % klöverhalt enligt Jordbruksverkets riktlinjer för gödsling (Jordbruksverket, 2022).

Tabell 18. Kostnader kopplade till odling och gödsling av vallen

Rötrest						
Gödsling rötrest	60	kr/ton				
Spridning	30	kr/ton				
Lagring	10	kr/ton				
Giva	35	ton/ha				
Kostnad	3500	kr/ha				
Komplettering konstgödsel						
Kväve	58	Kr/ha	6	Kg/ha	9,71	Kr/kg
Kalium	480	Kr/ha	50	Kg/ha	9,59	Kr/kg
Spridning	193	Kr/ha				
Utsäde vallfrö	750	Kr/ha				
Markränta	3500	Kr/ha				
Arealstöd	-1650	Kr/ha				
Summa	6831	Kr/ha				
	759	Kr/ton ts				

Skörd och transport av vall

För skörd av vallen antas ett system bestående av en tredelad traktorburen slåtermaskin som slår gräset och lägger det i en sträng följt av en självgående exakthack som efter förtorkning bärgar vallen från strängen och hackar den. För transport av vallen till gården gjordes beräkningar för två olika alternativ. I det första alternativet kör en traktor parallellt med exakthacken och samlar upp vallen från exakthacken. När vagnen är full kommer en annan traktor med vagn och tar över uppsamlandet. När vagnen är full kör den till gården där vallen tippas av i anslutning till ensileringen. Det andra alternativet är att köra med lastbil. Den hackade vallen läggs då i en traktordragen vagn/container som kör parallellt med exakthacken. När den är full kör traktorn till fältkanten för att lasta av containern. En lastbil lastar containrarna och kör till anläggningen där den tömmer containrarna innan den återvänder till fältet. För mer detaljer om antaganden för beräkningarna se Gunnarsson m.fl. (2017). Maskinerna är desamma som idag används för storskalig skörd av vall till foderensilage.

Maskinkostnaderna beräknades baserat på timtaxor vid högt maskinutnyttjande från Maskinkalkylgruppen (2023). Med 30 % vall i växtföljden dvs att det på 30 % av gårdens åkerareal odlas vall uppskattades det maximala transportavståndet vara 10 km. Hastigheten för traktortransporten på väg sattes till 30 km/h. Arbetskostnaden sattes till 320 kr/h och dieselpriiset till 15 kr/l enligt Maskinkalkylgruppen (2023).

Ensilering

För ensilering antogs en kostnad som tidigare använts för lagring i plansilo i Gunnarsson m.fl. (2017) i en studie av färska och lagrade grödor för biogasproduktion. Kostnaden uppgår till 0,15 kr/kg ts och är då uppräknad med 50 % pga. ökade kostnader sedan studien gjordes. I kostnaden inkluderas kostnaden för plansilo samt arbete och material (plast) för täckning.

4.1.4.1 Total råvarukostnad vall

Den genomsnittliga råvarukostnaden för vallen framgår av Tabell 19.

Tabell 19. Beräknad total råvarukostnad för vallen

Kr/ton ts	0-5 km	5-10 km
Odling (gödsling, utsäde, markhyra)	759	759
Skörd och transport med traktor	552	649
Skörd och transport med lastbil	595	619
Ensilering	153	153
Summa med traktortransport	1464	1561
Summa med lastbilstransport	1507	1531

4.1.5 Intäkter

Pressjuice

Pressjuicen användes vid blötutfodring till grisar och för den sattes i grundfallet en intäkt på 0,50 kr/kg pressjuice, se Tabell 15.

Presskaka

I grundfallet antogs presskakan användas för biogasproduktion. Beräkningar utförda inom projektet "Jordbruksbaserat bioraffinaderi - kombination av lokal och regional skala" (Olsson m.fl., 2023) uppskattade biogasproduktionen från presskakan genom att beräkna storleken på förlorad biogasproduktion via pressjuicen då den ensilerade vallgrödan utnyttjas för proteinfoderutvinning, jämfört med om den ensilerade vallgrödan rötats utan proteinutvinning. Beräknad biogasproduktion utgick från antagen fördelning av vallgrödans innehåll av kolhydrater och protein till fraktionen pressjuice. Detta resulterade i en intäkt från presskaka på 1 921 922 kr/år, se Tabell 20.

Tabell 20. Beräkningar av intäkt från rötning av presskaka

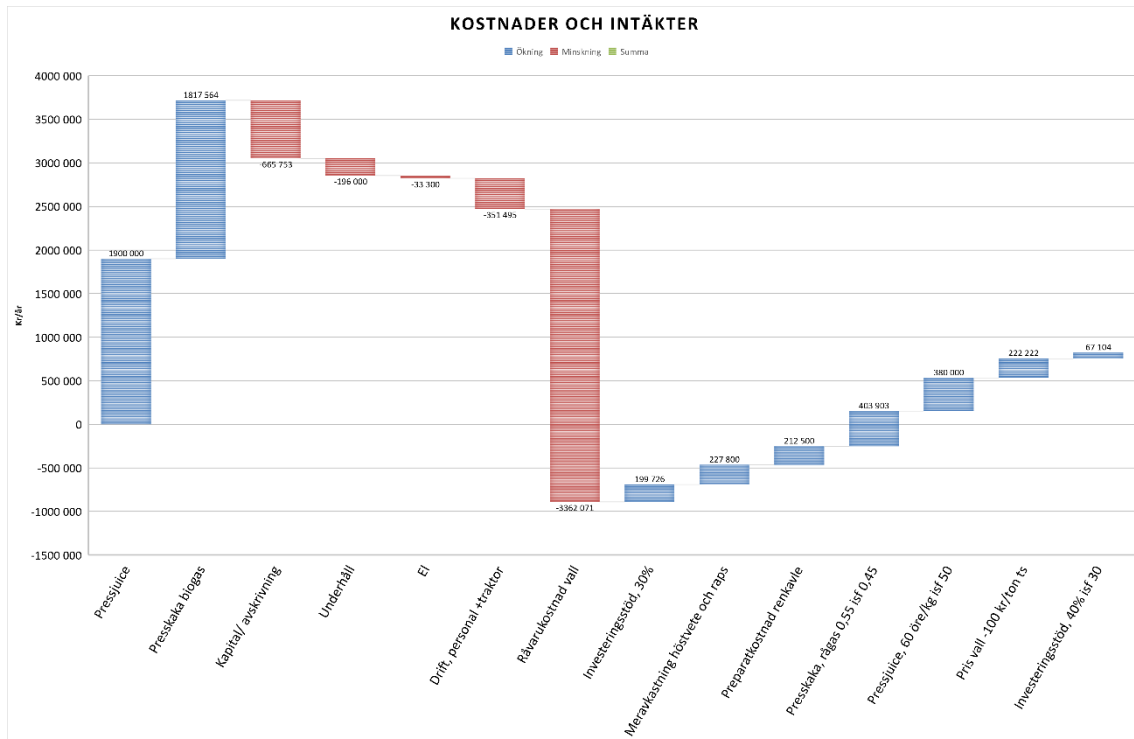
Metanutbyte (NI/kg VS)	264
VS-halt (% av ts)	97
Metanutbyte (Nm ³ /ton ts)	256
Metanhalt (%)	56
Energiinnehåll metan (kWh/nm ³)	9,97
Metanutbyte (kWh/ton ts)	2553
Mängd presskaka (ton ts/år)	1582
Pris rågas (kr/kWh)	0,45
Intäkt rågas (kr/ton ts)	1149

4.1.6 Resultat

De beräkningar som gjordes av uppskattade direkta kostnader för anläggningen samt råvara och intäkter från de två produkterna pressjuice och presskaka resulterade i ett negativt resultat. En vidare analys gjordes då för att undersöka möjligheten att nå ett positivt resultat. Förutom att variera kostnader och intäkter uppskattades även mervärdet av att inkludera vall i växtföljden (Tabell 21 och Figur 17).

Tabell 21. Kostnader och intäkter per år för det småskaliga bioraffinaderiet

	Kr/år
Intäkter	
Pressjuice till foder	1 900 000
Presskaka till biogas	1 817 564
Direkta kostnader	
Kapitalkostnad	-665 753
Underhåll	-196 000
El	-33 300
Drift, personal och maskin	-351 495
Råvarukostnad ensilage	-3 362 071
Basresultat	-891 055
Stöd	
Investeringsbidrag, 30%	199 726
Mervärden	
Meravkastning spannmål	227 800
Mindre behov bekämpningsmedel	212 500
Ändrade kostnader och priser	
Värde presskaka, +10 öre/kWh ökat rågaspris	403 903
Värde pressjuice, +10 öre/kg	380 000
Lägre pris på vallen, -10 öre/kg ts	222 222
Lägre investeringskostnad, -1 milj kr	135 868



Figur 17. Sammanställning av intäkter (de två första staplarna från vänster) och kostnader (röda staplar) samt känslighetsanalys av möjligheter att förändringar i kostnader och intäkter för att nå ett positivt resultat (blå staplar till höger).

Analysen visar att de beräknade intäkterna från pressjuice för foder och presskakan för biogas inte räcker för att täcka kostnaderna för bioraffinaderiet samt för vall som råvara. Genom att beakta vallens mervärde i växtföljden förbättras förutsättningarna att bli lönsamma. Slutsatser är att uppnå höga utbyten av protein i pressningsskedet samt värdet eller priset på pressjuice och presskaka båda har stor inverkan på systemets inkomster.

4.1.7 Känslighetsanalys

Mervärden av vall i växtföljden

Värdet av att inkludera vall i växtföljden uppskattades genom att ta hänsyn till den meravkastning som vallen medför i efterföljande grödor. Som underlag användes beräkningar från projektet "Räkna med vall" (Tidåker m.fl., 2016).

I Hilmérs fall kommer vallen ingå i en 10-årig växtföljd och odlas i tre år, vilket innebär 30 % vall i växtföljden. Efter första året med vall odlas höstraps följt av 2 år med höstvete. För att odla de ca 250 ha vall som åtgår för proteinpressning innebär det knappt 85 ha vall av respektive vall I, vall II och vall III.

Enligt Tidåker m.fl. (2016) uppskattades meravkastningen till 200 kg/ha i höstraps efter vall samt 300 kg/ha i höstvete andra och tredje året efter odlad vall. Med ett pris på 2,8 kr/kg för höstvete och 5 kr/kg för höstraps resulterade detta i en merintäkt på 227 800 kr per år i Hilmérs fall. Utslaget på mängden vall blir det ca 100 kr/ton ts vall.

En annan positiv långsiktig effekt av vall i växtföljden kan vara ett minskat problem med ogräs såsom renkavle. Här gjordes en uppskattning av värdet av minskad preparatkostnad (500 kr/ha) för kemisk bekämpning av renkavle. Om antagande görs att renkavle bekämpas en gång per år på hela växtföljden och att vallen kan minska detta till behandling på 50 % av arealen dvs i Hilmérs fall 425 ha resulterar det i en minskad kostnad, eller intäkt, på 212 500 kr/år eller 93 kr/ton ts vall.

Förändrat pris på vallen

Priset på vallen som råvara för pressning beräknades i grundfallet till ca 1,50 kr/kg ts. Priset påverkas av en mängd faktorer såsom priset på insatsvaror som diesel och gödsel men även värdet på marken/markhyra, transportavstånd mm. För det studerade systemet motsvarar en förändring med 100 kr/ton ts i pris en förändrad årskostnad på ca 222 000 kr.

Pressjuicens värde som blötfoder till grisar

Lönsamheten för vallbioraffinaderiet är beroende av intäkten från pressjuicen och vilket pris som sätts på den. Den foderstatsberäkning som gjordes för utfodring av Hilmérs gård. visar vid vilket pris på pressjuicen och i vilken omfattning som den går in i foderstaten med hänsyn till priser på övriga fodermedel såsom spannmål, proteinkoncentrat och andra restprodukter. Om pressjuicens värde sätts för högt kan den inte ekonomiskt konkurrera med övriga fodermedel. Detta innebär att ett ökat pris på spannmål och soja gör att pressjuicens pris/värde eller andel i foderstaten kan öka.

En annan möjlighet är att få ut ett mervärde i form av merbetalning för köttet när den är utfodrad med pressjuice från närproducerad vall istället för importerade fodermedel.

En ökning av pressjuicens värde med 10 öre/kg pressjuice motsvarar en intäktsökning med 380 000 kr/år för hela systemet.

Presskakan som biogassubstrat

Presskakan utgör den mängdmässigt största fraktionen och värdet på denna har därför stor betydelse för systemets lönsamhet. I grundfallet beräknades priset på presskakan baserat på ett metanutbyte på 264 nl/kg vs och ett rågaspris på 0,45 kr/kWh vilket ger en intäkt på 1,15 kr/kg ts presskaka.

Rågaspriset sattes i grundfallet till 0,45 kr/kWh. I Hilmérs fall uppgraderas rågasen och säljs som fordonsgas komprimerad på flak. Värdet på rågasen är därför beroende av priset på den uppgraderade gasen men även på kostnader för uppgradering och distribution samt eventuella metanförluster vid uppgradering. Om rågaspriset ökar eller minskar med 0,10 kr/kWh påverkas intäkterna från presskakan med 0,25 kr/kg ts presskaka eller 404 000 kr/år.

Om metanutbytet ökar med 20% ökar det intäkten från presskakan med 363 000 kr.

Investeringskostnader

I beräkningarna som gjorts valdes en avancerad lösning för inmatning och möjligheter finns att välja billigare lösningar med ett enklare mottagningsbord. Detta kan dock medföra ett ökat arbets- och maskinbehov för drift. Investeringskostnaden beräknades till totalt 4 900 000 kr. Om den skulle minskas med 1 000 000 kr påverkar det den årliga kapitalkostnaden med 136 000 kr.

Om investeringsstödet ökar med 10 % minskar det den årliga kostnaden med 67 000 kr.

Driftsförändringar

En parameter som är svårt att uppskatta är vilken arbetstid som åtgår per dag för att driva anläggningen. Eftersom erfarenheterna från kommersiell drift av vallbioraffinaderier är begränsade och ingen kommersiell anläggning finns i Sverige anläggningen automatiseras samt om möjligheter finns att utnyttja befintlig personal som de antaganden sp, görs i Hilmérs fall, med att samordna drift av biogasanläggning och vallbioraffinaderi. En ökning av den dagliga arbetstiden från 1,5 till 2,5 h ökar kostnaderna med 113 000 kr/år. En ökning av elpriset från 1,5 till 2,5 kr/kWh ökar kostnaderna med ca 22 000 kr/år.

Lägre utbyten vid pressning

De ekonomiska beräkningarna baseras på utbyten av ts och protein enligt Tabell 13 och avser utbyten som bedömts möjliga att uppnå i en kommersiellt optimerad process. I de pressningar som gjordes i detta projekt i Sötåsens pilotanläggning uppnåddes inte dessa utbyten, dvs en mindre andel av våtvikt, ts och protein i ensilaget innan pressning återfanns i pressjuicen. Om det antagna våtviktsutbytet på 57 % för optimerad process minskas med 20 % innebär det en lägre intäkt från pressjuicen på grund av en mindre mängd pressjuice. Den lägre intäkten från pressjuicen kompenseras till viss del av en ökad intäkt från rötning av presskakan som är beräknat per kg ts och innebär en liten ökning av intäkten när utbytena från Sötåsen tas med i beräkningen. Den årliga intäkten från presskakan ökar med ca 100 000 kr medan intäkten från pressjuicen minskar med knappt 400 000 kr.

4.1.8 Affärspotential

En uppskattning av affärspotentialen för att använda pressjuice från ensilage för utfodring till grisar gjordes genom att använda den foderstat som togs fram för Hilméret för det totala antalet slaktgrisar som produceras i Sverige per år.

Tabell 22. Uppskattning av vallareal som åtgår för att utfodra de slaktgrisar som föds upp i Sverige med vallprotein enligt de foderstater som beräknades i detta projekt

		Referens
Antal slaktgrisar som slaktas per år	2 505 740	SCB, 2023
Andel med blötutfodring	80%	Antagande
Mängd pressjuice per slaktgris (ton ts)	0,033	Beräkningar i projektet
Totalt behov pressjuice (ton ts)	65 874	Beräknat
Mängd pressjuice per ha (ton ts/ha)	1,69	Beräknat från Tabell 13
Totalt arealbehov (ha)	38 912	Beräknat

Det totala arealbehovet för att utfodra 80% av de slaktgrisar som produceras per år åtgår knappt 40 000 ha vall (Tabell 22). Eftersom utfodring av pressjuice förutsätter ett lokalt system med pressning på eller nära grisgården är detta ett arealbehov som måste tillgodoses lokalt.

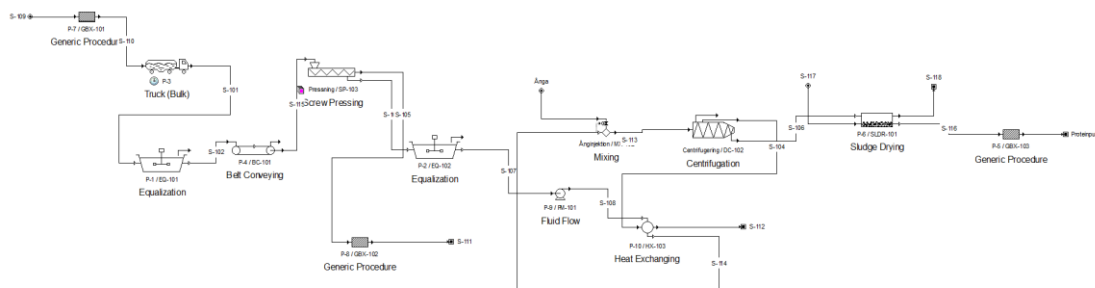
5 Utvärdering av storskaligt koncept

I det storskaliga systemet studerades en anläggning för att bearbeta 20 000 ton ts färsk vall per år och som förutom pressning även har processteg för att vidareförädla pressjuicen till ett torrt proteinkoncentrat. Vallen användes i detta fall färsk vilket innebär att proteinanläggningen är i drift under sommarhalvåret. Olika användningsområden för presskakan undersöktes och beräkningar gjordes av och hur de påverkar den teknoekonomiska analysen.

Metod och genomförande

Investeringen och informationen som användes för beräkningar och uppskattningar baserades till stor del på pilotförsök som genomförts på Sötåsens pilotanläggning och en uppskalning av den. Dessutom användes uppskattade värden för massbalans och utbyten för uppskalad, optimerad process, Tabell 13.

En modell skapades i SuperPro Designer för att beskriva systemet och uppskatta kostnader, Figur 18. Resultaten från den modellen användes för att fortsätta arbetet i Excel.



Figur 18. Modell för ekonomiska beräkningar.

5.1 Färsk vall som råvara

5.1.1 Systemet

I stort sett skördas vallen för färsk pressning på samma sätt som vallen för ensilage såsom beskrivits för det småskaliga systemet. Skillnaderna är att vallen inte förtorkas på fälten innan bärning utan tiden från slåtter till bärning ska vara så kort som möjligt. För att få ett högt utbyte vid pressning måste vallen sönderdelas och detta kan göras på fältet i samband med bärning med hjälp av tex hackning eller snittning. Nackdelen med att hacka grödan redan på fältet är risken för snabbare torkning och nedbrytning av tex protein. Det kan också göras på anläggningen i samband med pressning. Jämfört med när vallen förtorkas på fältet har den vid färsk skörd högre vattenhalt vilket ökar transportbehovet.

Vid skörd av färsk vall antogs ett upplägg där vall skördas kontinuerligt under hela odlingsäsongen på den areal som åtgår, se Gunnarsson m.fl., (2017). Principen är att skörden inleds så snart det är möjligt på våren/försommaren och varje dag eller vecka skördas en viss areal för att täcka behovet av vall för pressning. När alla fält är skördade

en gång börjar andra skörden på den areal som skördades först vid första skörden. Det hela upprepas sedan vid tredje skörd. I praktiken försvåras det hela av att vallen växer så att avkastningen varierar med skördetidpunkten. Om arealen som skördas per dag eller vecka är densamma över hela säsongen kommer mängden skördad vall variera stort i första skörden. Om i stället mängden vall per dag/vecka ska vara konstant behöver arealen per dag/vecka variera. Dessutom påverkas andra och tredje skörden av tidpunkten för den första skörden. I beräkningarna av skördekostnader gjordes det förenklade antagandet att arealen vall som skördas per vecka är konstant vilket innebär att den skördade mängden varierar mellan olika veckor, framför allt för första skörden.

För transportkostnaderna uppskattades att den vall som åtgår kan skördas inom 30 km transportavstånd om 20 % av totala åkerareal utnyttjas för vallodlingen. Detta transportavstånd uppskattades genom att använda den beräkning av tillgänglig åkerareal inom olika transportavstånd som gjordes för en biogasanläggning i Örebro av Gunnarsson m.fl., (2017), se Tabell 23.

Tabell 23. De antagna tillgängliga vallarealerna på olika transportavstånd från vallbioraffinaderiet, som användes vid beräkningar av transportkostnader för vallen

Transport-avstånd (km)	Medelavstånd (km)	Åkerareal (ha)	Tillgänglig areal (ha)	Areal för vall (ha)
0-5	3,9	433	87	87
5-10	7,6	1151	230	230
10-15	12,9	2309	462	462
15-20	17,7	4414	883	883
20-30	24,9	9513	1903	561

5.1.2 Vallens kostnader

På samma sätt som för beräkningarna för ensilerad vall i det småskaliga systemet beräknades vallens kostnader för odling av vallen inkluderande utsäde vid sådd, gödsling samt en markkostnad och ett arealstöd. Vid skörd inkluderades slätter, strängläggning, exakthackning samt transport från fält till anläggning. Transportkostnaderna beräknades för transport med traktor och enkelvagn respektive dubbelvagn samt lastbil med släp. Därefter beräknades de totala transportkostnaderna genom att välja det billigaste transportsystem för varje intervall vilket var traktor och enkelvagn inom 0-5 km, traktor och dubbelvagn inom 6-10 km och lastbil för de längre avstånden. För mer beskrivning av systemen se Gunnarsson m.fl. (2017).

Per vecka skördades 263 ha. Kostnaderna för skörd och transport varierade mellan 673-2627 kr/ton ts för första skörden, 642-893 kr/ton ts för andra skörden och 648-964 kr/ton ts för tredje skörden. Kostnaderna per ton ts ökar med lägre avkastning och längre transportavstånd. Total kostnad per år beräknades till 16 770 000 kr motsvarande 833 kr/ton ts skördad vall.

Odlingskostnaderna beräknades på samma sätt som i det små/mellanskaliga systemet, se Tabell 18. De uppgick till 759 kr/ton ts eller 15 282 000 kr per år. Detta innebär att totala kostnaden för färsk vall (odling, skörd och transport) uppgick till 1590 kr/ton ts.

5.2 Intäkter från systemet

5.2.1 Proteinkoncentrat som foder

En beräkning gjordes för att uppskatta eller indikera ett värde på vallproteinkoncentratet enligt Lantmännens rekommendationer för utfodring av slaktgrisar. I databasen för foderberäkning användes ett vallproteinkoncentrat från SEGES.

Beräkningen gjordes när vallproteinet används i en konventionell och en ekologisk foderstat med prisnivåer på fodermedel för vecka 13, 2024 enligt: konv: soja (46 % rp) 6,70 kr/kg, vete 2,19 kr/kg och korn 2,11 kr/kg; eko: soja (45 % rp) 9,56 kr/kg, vete 2,69 kr/kg och korn 2,10 kr/kg.

En optimering gjordes där priset på vallproteinet varierade för att se i vilken andel det går in i foderblandningen. Bedömningen gjordes att maximera andelen vallprotein till 5% och 10 % i den konventionella respektive ekologiska foderstaten. I den konventionella foderstaten utgjorde solrosmjöl och rapsmjöl proteinkällor vid sidan av spannmål och soja ingår endast med en mycket liten andel (0,35 % av foderstaten) vid mycket höga priser på vallproteinet. I den ekologiska foderstaten ingick 12-20 % sojaexpeller och 1 % rapskaka.

I Tabell 24 visas det beräknade indikativa värdet på vallproteinet för konventionell och ekologisk produktion vid två olika proteinkoncentrationer på vallproteinet och där vallproteinet ingår i foderstaten i en tillräcklig omfattning så att det bedöms lönt att hantera.

Tabell 24. Värde på vallproteinkoncentrat i konventionell och ekologisk produktion av slaktgrisar

	Konventionell		Ekologisk	
Råprotein (% av TS)	51,2	45	51,2	45
Värdeindikation, kr/kg	6,5	6	10,5	9,5
Värdeindikation, % av aktuellt sojamjöl	97	90	109	98
Värdeindikation, kr/kg protein	12,7	13,3	20,5	21,1

En optimering gjordes av hur mycket vallproteinet får kosta för att gå in i foderstaterna vid två olika inblandningsnivåer. Vid lägre pris på vallproteinet ökar inblandningsnivån i foderstaten och den totala åtgången av vallprotein per djur ökar. I Tabell 25 visas effekten av två olika inblandningsnivåer, ”rimlig” med så pass mycket vallprotein så att det är lönt att hantera och en låg/lägre inblandningsnivå där värdet på vallproteinet per kg är högre.

Tabell 25. Beräkningar av foderstater för slaktgrisar med och utan vallproteinkoncentrat

Foderstat	Råprotein (% av ts)	Vallprotein, % av foderstaten		Pris/värde vallprotein, Kr/kg		Råvarukostnad foderstaten, kr/kg	
		Låg inblandning	Rimlig inblandning	Låg inblandning	Rimlig inblandning	Låg inblandning	Rimlig inblandning
Konv- råvara	51,2	0,37	2,4	7,5	6,5	2,56	2,55
Konv- råvara	45	0,33	2,8	7	6	2,56	2,56
Eko- råvara	51,2	1,77	7,2	12,5	10,5	4,37	4,31
Eko- råvara	45	2,14	7,94	11	9,5	4,37	4,33

Om vi kan tillåta att foderstaten blir dyrare kan mängden vallprotein i foderstaten öka. Detta skulle kunna vara fallet i någon typ av konceptproduktion där en något högre foderkostnad skulle kunna finansieras i form av en premiebetalning för kött från gris uppfödd på vall i foderstaten. Vid ett antagande att lantbrukaren kan få 10 öre per kg griskött i merbetalning innebär det vid 93 kg slaktvikt på grisen 9,30 kr ökade foderkostnader per gris. Med 250 kg foderförbrukning per gris och 4 % vallprotein av foderblandningen innebär det 3,7 öre/kg foder eller 93 öre/kg vallprotein, dvs ca 1 kr/kg högre pris/värde på vallproteinet.

5.2.2 Brunjuice och presskaka för biogasproduktion

Biogasproduktionen från presskakan vid pressning av färsk vall uppskattades genom att beräkna storleken på förlorad biogasproduktion via pressjuicen då den färska vallgrödan pressas för proteinfoderutvinning. Detta resulterar i att biogasproduktionen vid rötning av presskakan erhålls när biogasproduktionen från pressjuicen räknats bort från gasproduktionen från den direktskördade vallgrödan. Den specifika biogasproduktionen beräknades från presskakan respektive brunjuicens innehåll av kolhydrater och protein. Baserat på detta beräknades specifika metanutbytet vid rötning av presskakan i en biogasanläggning utan efterrötkammare vara ca 255 och 253 Nm³/kg ts för presskakan respektive brunjuicen. Rågaspriset sattes till 0,45 kr/kWh. Som framgår av Tabell 26 resulterar beräkningarna i en intäkt per år på ca 16 milj. kr för presskakan och 3 milj. kr för brunjuicen.

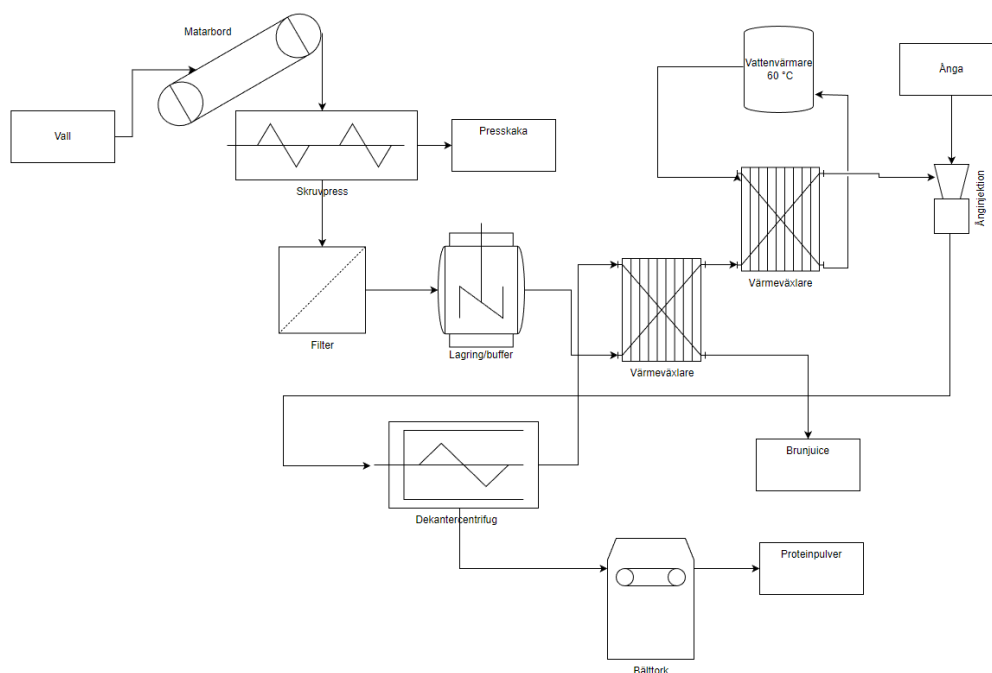
Tabell 26. Beräkningar av intäkt från rötning av presskaka (Olsson m.fl., 2023)

	Presskaka	Brunjuice
Metanutbyte (Nm ³ /kg VS)	263	328
VS-halt (% av ts)	97	77
Metanutbyte (Nm ³ /ton ts)	255	253
Metanhalt (%)	56	57
Energiinnehåll metan (kWh/nm ³)	9,97	9,97
Metanutbyte (kWh/ton ts)	2543	2518
Mängd råvara (ton ts/år)	14 150	2607
Pris rågas (kr/kWh)	0,45	0,45
Intäkt rågas (kr/ton ts)	1145	1133
Intäkt (kr/år)	16 195 397	2 954 481

5.3 Beskrivning av proteinanläggningen

5.3.1 Beskrivning av anläggningen och investeringen.

En illustration av en möjlig storskalig anläggning visas i Figur 19. Färsk vall inkommer till anläggningen där den först lastas i en matarficka som agerar buffert för att kunna ha jämnare kontinuerlig drift på anläggningen samt matas med matarbord till skruvpress. I skruvpressen kommer vallen pressas för att erhålla en presskaka och en pressjuice. Presskakan antas i grundfallet användas till biogasproduktion men andra användningsområden undersöks och pressjuicen kommer att användas för att utvinna protein. Pressjuicen kommer att värmas med en kombination av värmeväxlare och ånginjektion till 80 °C för att därefter behandlas i en dekantercentrifug, dekantercentrifugen kommer att separera proteinet som därefter behöver torkas för att vara lagringsdugligt. En bälttork är lämplig för det ändamålet. Vätskefasen från dekantercentrifugen, den så kallade brunjuicen antas användas till biogasproduktion.



Figur 19. Översiktlig skiss över storskalig anläggning.

I Tabell 27 visas de massflöden som anläggningen beräknades att behandla. De grundades på de utbyten som vi antog är möjliga att uppnå i en optimerad process, se Tabell 13. Priser och kostnader för råvaror el och personal visas Tabell 28.

Tabell 27. Årliga massflöden som låg till grund för beräkningarna för den storskaliga anläggningen

Flöde	Mängd våt massa per år (ton)	Mängd torr massa per år (ton)
Vall	111 111	20 000
Presskaka	46 111	14 294
Pressjuice	65 000	5 705
Proteinpulver	3 481	3 307
Brunjuice	5 8111	2 441

Tabell 28. Priser och kostnader för råvaror, el och personal

Vara	Värde
Vall inköp (kr/kg ts)	1,59
Presskaka till biogas (kr/kg ts)	1,14
Proteinkoncentrat till grisar (kr/kg ts)	10
Brunjuice till biogas (kr/kg ts)	1,13
Elpris (kr/kWh)	1
Personalkostnad (kr/h)	500

5.3.2 Kapitalkostnader

Utrustningskostnaderna baseras på databaser tillgängliga i SuperPro Designer, kommunikation från utrustningsleverantörer och uppskattningar från pilotanläggningen med en formel för att uppskatta kostnaden av att skala upp en anläggning enligt Remers, se Ekvation 1 nedan.

	$\frac{Kostnad_2}{Kostnad_1} = \left(\frac{Storlek_2}{Storlek_1} \right)^R$	Ekvation 1
--	--	------------

Där R kommer från tabellvärden framtagna av Remer och Chain (1993). R-värdet skiljer sig generellt mellan 0,4 – 0,8 och för en hel processanläggning brukar genomsnittet ligga på 0,6.

De direkta kostnadernas andel av investeringskostnaden baseras på uppskattningar från litteratur (Kolmetz och Mutiara Sari, 2014). Dessa kostnader är svåra att uppskatta och beror till stor grad på vilken infrastruktur som finns sedan innan och vilken sorts organisation som gör investeringen.

Den totala investeringskostnaden uppskattades till 51, 3 milj. kr och fördelar sig enligt Tabell 29

Tabell 29. Uppskattad total investeringskostnad för det storskaliga systemet fördelat på utrustning, direkta kostnader, indirekta kostnader och övrigt

Utrustning	18 900 000
Mottagningsficka	3 000 000
Matningsbälte	3 000 000
Skruvpress Cirtech P-25 3 st, 8-12 ton/h	4 500 000
Dekantercentrifug	4 000 000
Tork	3 000 000
Tankar ~100 m ³ för mellanlagring av press och brunjuice	1 000 000
Pumpar	400 000
Direkta kostnader	14 175 000
Rör och rördragning (10-20 % av inköp)	1 890 000
Instrument och montage (10-40 % av inköp)	3 780 000
Elinstallation (10-20 % av inköp)	1 890 000
Byggnader (0-50 % av inköp)	2 835 000
Markarbete (0-20 % av inköp)	1 890 000
Hälpanläggningar (0-50 % av inköp)	1 890 000
Indirekta kostnader	11 576 250
Ingenjörstjänstar (10-30 % av direkt kostnad)	4 961 250
Konstruktion (10-25 % av direkt kostnad)	6 615 000
Övrigt	6 697 688
Entreprenörer (~5 % av direkt+indirekt kostnad)	2 232 563
Ovissheter (~10 % av direkt+indirekt kostnad)	4 465 125

De årliga kapitalkostnaderna beräknades enligt annuitetsmetoden med 10 % ränta och 15 års avskrivningstid (annuitetsfaktor 0,13147).

5.3.3 Driftskostnader

De indirekta kostnaderna beror på antal arbetstimmar och bemanning och framgår av Tabell 30.

Tabell 30. Uppskattade indirekta kostnader för underhåll, el, värme och personal

Kr/år	
Underhåll utrustning ~2 % av investering	1 000 000
Elkostnader utrustning (~181 kW, 411 MWh/år) Centrifug 182 MWh/år Pressning 135 MWh/år Matarbord 91 MWh/år Övrigt 3 MWh/år	620 000
Värmning av färskjuice med ånga (1 900 ton ånga/år)	2 000 000
Elkostnader torkning (~1250 kW, 29 991 MWh/år) (kan nyttja spillvärme/biogas)	2 400 000
Personalkostnader	3 000 000

5.3.3.1 Energikostnader

Systemet kommer att vara i behov av värme för att värma juicen och för att torka proteinet. Man kan nyttja värmen i brunjuicen för att med värmeväxlare värma den färsk pressjuicen för att sedan värma pressjuicen med direktinjektion av ånga för att nå 80° C på juicen där den ska centrifugeras. Det behövs ca 1 900 ton ånga/år för att värma juicen. Om den ångan behöver produceras med el så kommer det behövas 1334 MWh/år för. För att torka proteinet behövs varmluft vid 120° C motsvarande ~774 MWh/år.

Övriga utrustningens energibehov är främst el till matarbord, press och dekantercentrifug.

5.3.3.2 Personalkostnader

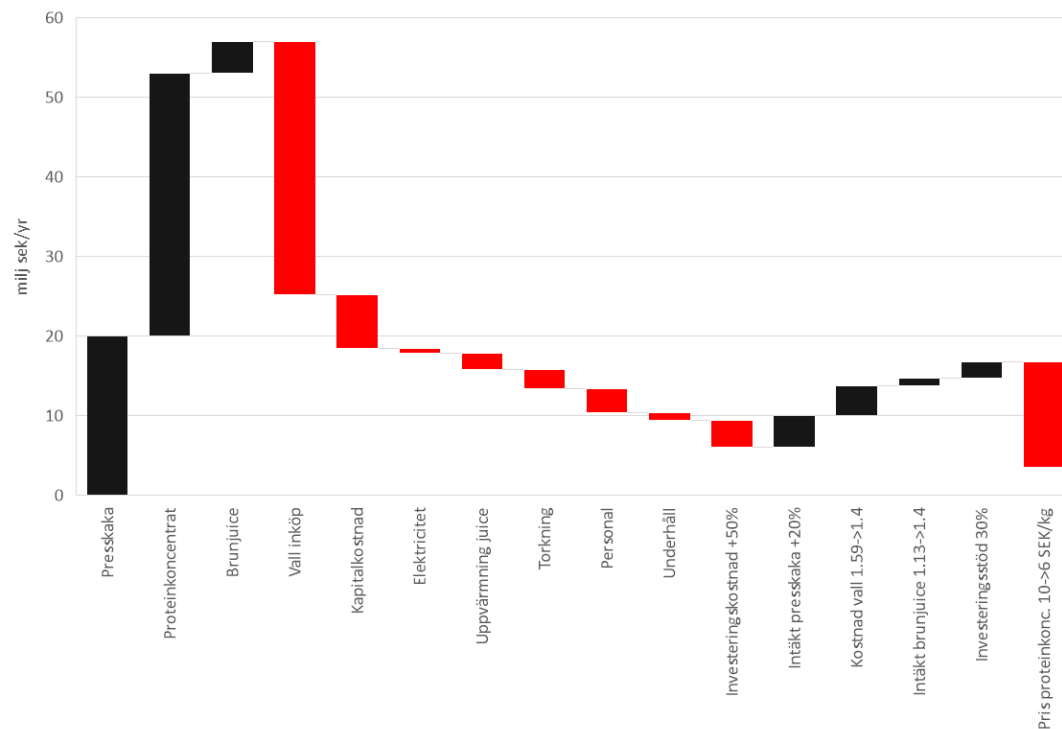
I en storskalig anläggning antas två personer gå skiftgång med ett totalt antal arbetstimmar på 3000 h/år.

5.4 Intäkter och kostnader

Kassaflödet i form av intäkter och kostnader beräknades dels baserat på de massflöden och utbyten som erhöles i våra tester på Sötåsen och som beskrivits tidigare i rapporten och dels på de utbyten vi tror oss kunna uppnå i en optimerad process, se Tabell 13. Som framgår av Tabell 31 är kassaflödet positivt när vi räknar med de utbyten som vi tror kan uppnås i en optimerad process. Med de låga proteinutbytena som vi fick i våra tester på Sötåsen blir intäkterna framför allt från proteinet mycket lägre och totala kostnaderna är högre än intäkterna.

Tabell 31. Årliga intäkter och kostnader för det storskaliga systemet

(Milj kr/år)	
Intäkter	57,0
Proteinkoncentrat till foder	33,1
Presskaka till biogas	20,0
Brunjuice till biogas	3,9
Kostnader	-44,3
Vall	-31,8
Kapitalkostnad	-6,8
Energi	-5,1
Personal	-3
Underhåll	-1,0



Figur 20. Årliga intäkter (svarta staplar till vänster) och kostnader (röda staplar i mitten) för det storskaligt caset baserat på en optimerad process samt en känslighetsanalys av förändringar i intäkter och kostnader (staplar till höger).

I detta fall är intäkterna högre än kostnaderna och proteinkoncentratet står för den största andelen av intäkterna i systemet (se Figur 20). Resultatet förutsätter både att det utbyte av protein till pressjuicen som antagits uppnås samt att inte värdet på proteinet minskar. Om värdet på proteinkoncentratet ändras från 10 kr/kg för en ekologisk foderstat till 6 kr/kg för en konventionell foderstat får det stor påverkan på intäkterna, se högra stapeln i Figur 4. På kostnadssidan står vallen för den dominerande kostnaden. I detta fall har inga merkostnader av vallen i växtföljden inkluderats.

6 Utvecklingsmöjligheter och affärsupplägg

6.1 Vall och växtnäring

I det småskaliga konceptet som studerades i detta projekt var förutsättningarna goda för att få ett väl fungerande system utan samverkan med andra gårdar. Hilmér Lantbruk har både växtodling utan vall, grisproduktion för avsättning av pressjuicen som foder samt egen biogasanläggning. Beroende på vilken mängd vall som åtgår i bioraffinaderiet samt hur stor andel vall som gården, i detta Hilmér Lantbruk, vill ha i sin växtföljd kan samverkan med andra gårdar med olika driftsinriktning vara ett alternativ för att få in önskad mängd vall till anläggningen.

För en växtodlingsgård med spannmålsdominerad växtodling finns fördelar med att få in vall i växtföljden samtidigt som avsättning för vallen saknas på den egna gården om

den inte har djur som äter grovfoder. Prissättningen på vallen kan antingen ske via ett fast pris per ha eller ett pris per skördat kilo. Vid samverkan kan avtal tecknas som bl.a. kan beskriva samarbetets samtliga delar, vilka skyldigheter parterna har gentemot varandra och om samarbetet ska avvecklas. Båda parter måste tjäna på samarbetet även om vinsten kan se olika ut för inblandade parter.

Förutom kring vallen kan fördelar finnas vid samverkan om växtnäring för att förbättra utnyttjandet av växtnäring. Inom det svenska lantbruket bedrivs i vissa regioner främst intensiv växtodling medan den huvudsakliga inriktningen i andra delar fokuserar på storskalig djurhållning. Växtodlingsgårdarna behöver växtnäring, i form av kväve, fosfor och kalium (N, P, K), samtidigt som djurhållning producerar stora mängder växtnäring genom stallgödsel. Stallgödseln är tung att transportera långa sträckor vilket gör att växtodlingsintensiva områden ofta köper mineralgödsel. Här skulle växtodlingsgården kunna inkludera vall i sin växtföljd, leverera den till vallbioraffinaderiet och i retur få rötrest för att kompensera bortförslsen av växtnäring och mull. Om rötresten avvattas ökar möjligheterna att styra näringsåterförslsen efter behov hos de olika gårdarna. Kväve och kalium är vattenlösligt och följer den flytande fraktionen vid avvattning medan fosfor hamnar i den fasta fasen och med fördel kan återföras till växtodlingsgårdar som saknar djur och har större behov av fosfor.

Biogasanläggningar med koppling till jordbruket har en möjlighet att samlokaliseras med anläggningar som producerar proteinfoder från vallgrödor där synergieffekter och sidoströmmar kan nyttjas. Biogasproduktion är en teknik som är anpassad för olika skalor för lokala och regionala förhållanden, som möjliggör ett effektivt utnyttjande av restströmmar från jordbruket med produktion av både biogas och biogödsel. För att sluta kretsloppet av rötning av biomassa från jordbruket återförs rötresten till gårdarna som levererar substrat i form av biogödsel. Rötresten innehåller växtnäringssämnen från de substrat som rötas, de viktigaste inkluderar N, P och K. Att röta både flyt- och fastgödsel är fördelaktigt då de fasta fraktionerna konverteras till en flytande rötrest, vilket ökar grödans möjlighet att utnyttja tillfört kväve.

6.2 Användning av presskakan

Beroende på vad produkterna och framför allt presskakan ska användas till är olika affärsupplägg och lokaliseringsalternativ tänkbara. I denna del tittar vi närmare på tre olika alternativ ur några olika aspekter; teknisk utformning, marknadspotential samt en uppskattning av betalningsförmåga.

6.2.1 Användning till biogasproduktion

Om proteinutvinning samlokaliseras med biogasproduktion och presskakan, tillförs presskakan, i den mån det är praktiskt möjligt, biogasanläggningen direkt efter pressning. För att minska behovet av lagring används så stor mängd som möjligt av presskakan och brunjuice direkt för biogasproduktion medan resten lagras för att användas under vinterperioden.

Detta upplägg passar för gårdar som vill ha in vall i sin växtföljd men saknar användning av vallen. Ett affärsupplägg skulle även kunna inkludera återförslsen av rötrest till odlingen för att kompensera den biomassa som bortförs med vallen. Biogasanläggningar finns i hela landet och i olika storlekar, från mindre gårdsanläggningar till större

samrötningsläggningar vilket gör att avsättning för presskakan för biogasproduktion potentiellt är stor.

Det finns många fördelar med att samlokalisera vallbioraffinaderiet med en biogasanläggning. Det finns flertalet studier som visar att de olika fraktionerna efter proteinutvinning passar bra som substrat för biogasproduktion, i.e. Santamaria-Fernandez m.fl. (2018 och 2020). Santamaria-Fernandez m.fl (2020) har undersökt möjligheten att cirkulera och återföra växtnäring genom att samrötning av brunjuice och presskaka efter proteinutvinning av rödklöver och blandvall med klöver. Försöken gjordes i semikontinuerlig CSTR- reaktor (3 lit aktiv volym). Matning gjordes 5 ggr per vecka och försöket pågick i 74 dgr vid 37 °C. Försöken resulterade i en metanproduktion av 238+-73 mlCH₄/g VS och en metanhalt på 53 %. Detta kan jämföras med 263 och 328 ml/kg VS som antagits för presskaka respektive brunjuice i beräkningar av intäkter för det storskaliga caset i denna studie (Tabell 26).

Det finns även samordningsvinster vid hantering och drift av de båda anläggningarna. I projektet Jordbruksbaserat bioraffinaderi – kombination av lokal och regional skala (Olsson m.fl. 2023) undersöktes ett scenarie med samverkan och samlokalisering av biogasproduktion och proteinutvinning från vall. Beräkningarna gjordes för att se hur en befintlig biogasanläggning som rötar gödsel och industriavfall skulle kunna öka mängden restströmmar från jordbruket såsom halm, vall fastgödsel mm.

Eftersom proteinutvinningen görs på färsk vall innebär det att anläggningen endast är i drift under sommarhalvåret. Plötsliga ändringar i substratblandningar kan orsaka störningar i rötningsprocessen med reducerad biogasproduktion. Därför utformades i Olsson m.fl. (2023) substratblandningar för sommar- och vinterdrift så att ts-halt, organisk belastning och uppehållstiden var i röt-kammaren ungefär lika stora för de två. Sommartid rötas brunjuice och presskaka som matas in direkt från pressningen, dessutom även tex flytgödsel och industriavfall. Blandningen vintertid består av ensilerad presskaka, brunjuice, flytgödsel, industriavfall samt även halm och ensilerad vall. Med hänsyn till de substrat som fanns tillgängliga bedömdes att ca 70 % av producerad presskaka kunde direktrötas medan ca 30 % måste lagras för användning under vinterdriften.

Det antas att presskakan är tillräckligt finfördelad så att den ej behöver sönderdelas mer innan den tillförs rötningen. Den del av presskakan som direktrötas antas tillföras en inmatningsenhet till röt-kammaren utan att den behöver hanteras med lastmaskin. Däremot antas att överskottsproduktion av presskaka lagras via ensilering vid biogasanläggningen. Hantering inklusive packning i ensilagelager av denna överskottsproduktion antas genomföras med lastmaskin. Vintertid används lastmaskinen för att ta ut presskaka från detta lager och tillföra den till biogasanläggningens inmatningssystem.

Under den tid när proteinutvinningen är i drift tillförs brunjuicen röt-kammaren omgående. Det blir dock ett överskott av brunjuice som antas lagras i lager vid biogasanläggningen vilket medför att det krävs en lagringskapacitet vid biogasanläggningen. Den lagrade brunjuicen rötas under den period då anläggningen för proteinutvinning ej är i drift.

6.2.2 Presskakan som grovfoder till kor

I syfte att undersöka om presskakan från färsk vall är ett intressant grovfoder till mjölkkor har Damborg m.fl. (2018) undersökt tillgänglighet hos proteinets i presskakan och hur det bryts ner i vommen jämfört med proteinet i vallen innan pressning. Resultatet visar att en större del av proteinet i presskakan är bundet till fibrer men att skruvpressningen bearbetat fibern och därmed ökat tillgängligheten för nedbrytning. Slutsatsen var att presskakan har ett proteinvärde som är jämförbart med vallen innan pressning. Damborg m.fl. (2019) gjorde även ett försök på Aarhus universitet med utfodring av ensilerad presskaka från färsk vall till mjölkkor. Som jämförelse ensilerades vallen från samma fält, dock en vecka senare än den färska vallen skördades för pressning. Resultatet visar att mjölkkor som utfodras med den ensilerade fiberfraktion som återstår efter pressning producerar minst lika mycket mjölk som vid utfodring av ett gräsklöverensilage.

Jämfört med presskaka från pressning av ensilage är fodervärdet högre i presskakan från färsk vall. Inom Green Valleys har jämförelser gjorts som visar att tex NDF är lägre i presskakan från färsk vall, 542 g/kg ts jämfört med 629 g/kg ts. De fick även lägre ts-halt, 35 % i presskakan från färsk vall jämfört med 46 % i presskakan från ensilage (Nadeau, 2023). Inom projektet Green Valleys genomförde SLU utfodringsförsök med presskaka från pressning av ensilerad blandvall till mjölkkor och kvigor (Nadeau m.fl., 2023; Hagskär, 2022). Försöken utfördes på Sötåsens naturbruksskola. Både mjölkkor och kvigor kunde tillgodogöra sig näringen från presskakan på ett bra sätt. Däremot så åt korna som fick endast presskaka mindre mängd, pga högre ts och på mjölkorna kunde man se att mjölkproduktionen gick ned något efter ca 10 veckor. Sammansättningen i mjölken (fetthalt mm) var dock densamma och ingen effekt kunde ses på hull och kroppsvikt. Slutsatsen var att använda presskakan i blandning med ensilage till mjölkkor men att presskaka utfodras som enda grovfoder till mjölkkraskvigor med komplettering av kraftfoder. Samma slutsats kom Serra m.fl. (2023) till i irländska utfodringsförsök med presskaka från färsk vall till mjölkkor. Vallens pressades med en dubbel skruvpress i Grassas pilotanläggning. Hypotesen, som visades sig stämma, var att om delar av grovfodret i form av vall ersätts med presskaka vid utfodring av mjölkkor skulle varken mjölkproduktionen, mjölkens sammansättning samt vommens funktion påverkas negativt men utsöndringen av kväve och fosfor skulle minska. 64 % av ts gräsensilage ersattes med presskaka.

Det holländska företaget Grassa utvecklar ett koncept där proteinutvinning med färsk vall görs i samarbete med och nära mjölgårdar. I det upplägget pressas den färska vallen på eller i närheten av gården och presskakan ensileras för att användas som grovfoder. Pressjuicen transporteras in till en central anläggning för vidare behandling. Detta upplägg kan passa för en gård som redan idag odlar vall som foder för idisslare och presskakan erbjuder ett alternativ till vallen som grovfoder. Utgångspunkten är att pressningen görs på stationära anläggningar som är lokaliserade på korta avstånd från gårdarna. Ett alternativ kan vara en mobil pressningsanläggning som flyttas mellan gårdar.

Presskakan marknadsförs av Grassa som "Open grass" som är resultatet av att den färska vallen pressas och resulterar i en förbehandling som ger en presskaka där fibern är bearbetad och mer tillgänglig för nedbrytning av korna jämfört med hel vall. Pressningen ska ske i stationära anläggningar nära gårdarna och mjölgårdarna ska låta en del av sin

vall pressas vid skörd för att sedan tas tillbaka och ensileras till grovfoder. En anläggning ska pressa vall från ca 1300 ha vilket ger korta transportavstånd (maximalt 5 km) från fält till pressning och kapaciteten på pressen är relativt liten, ca 1-2 ha/h med tanke på markpackning mm från stora maskinkedjor. Pressjuicen från flera decentrala pressningsenheter levereras sedan till en central anläggning där juicen vidareförädlas till produkter. Förenklat innebär affärsupplägget att lantbrukaren levererar sin färsk vall till pressningsanläggningen och tar presskakan tillbaka till gården. Anläggningen betalar lantbrukaren för den mängd protein (och eller torrsbstans) som pressats bort. Det lägre fodervärdet pga att protein har pressats bort kompenseras av att vallen bearbetas mekaniskt under pressningen vilket gör den mer tillgänglig för nedbrytning hos kon (Krymowski, 2023; Smook, 2024 pers. komm.). Presskakans värde är beroende av hur mycket protein som finns kvar samt vilka djur den ska användas till.

6.2.3 Vidareförädling av presskakan till lagringsduglig foderprodukt för häst

I detta avsnitt undersöktes möjligheten att använda presskakan som foder till hästar där den antingen kan användas utan ytterligare behandling som ett fodermedel alternativt att den blandas som en ingrediens i foderblandningar. Dessutom undersöktes förutsättningar för att använda presskakan som råvara för produktion av fibermassa för tex textilier och papper.

För dessa applikationer är en lagringsduglig produkt eller intermediär från presskakan viktigt för att kunna ha en jämn tillgång till råvara/presskaka under året. Eftersom presskakan har en hög vattenhalt och i detta fall endast produceras under sommarhalvåret när proteinutvinningsanläggningen är i drift behöver den göras lagringsduglig genom tex torkning och ensilering.

6.2.3.1 Torkad och pelleterad presskaka som foderingrediens till häst

En möjlighet som undersöks i projektet är att använda presskakan som en ingrediens i en foderblandning till hästar. Den behöver då torkas och pelleteras för att kunna tas in i en foderfabrik. Beroende på hur foderfabriken arbetar med sitt sortiment kan det vara viktigt att kvaliteten inte varierar så mycket tex för att inte behöva justera innehållsförteckningen mellan olika batcher.

En uppskattning av torkad och pelleterad presskaka som ingrediens i foderblandning till häst gjordes av Lantmännen Krafft (Larsson, 2024 pers. komm.). Uppskattningen baserades på analyser på presskaka från pressningar från första andra och tredje skörd av färsk vall som genomförts i projektet på Sötåsen. Pelletsen skulle kunna vara ett alternativ till lucernpellets som de använder i dag och som bidrar med protein och fiber.

Uppskattningar gjordes för två grönmjölrika produkter (grönmjöl=pellets från gräs) som visar att vid priser strax under 3 kr/kg börjar presskakan gå in i blandningen i så pass höga nivåer att det är intressant. I foderstaten ersätter presskakan framför allt grönmjölet och inte lucernpelletsen. Om man kan komma ner i priser på ca 2 kr/kg på presskakan (torkad och pelleterad) är den betydligt billigare än lucern så finns utrymme att inkludera den i processen.

I detta alternativ behövs utrustning för att torka och pelletera presskakan. Även i detta fall behöver torkning och pelletering ske i nära anslutning (tidsmässigt) till proteinutvinningen med tanke på att presskakan inte är lagringsduglig.

Här finns flera möjliga upplägg. En möjlighet är att proteinutvinningen expanderar sin utrustning med tork och pelletspress för att kunna tillverka presskakepellets som sedan kan säljas till en fodertillverkare. En annan möjlighet är att samlokalisera proteinutvinning till en befintlig anläggning som producerar foderpellets och kanske har ledig kapacitet under delar av året. Ett exempel där är Bobergs Valltork i Östergötland som producerar lucernpellets under sommarhalvåret (maj-september) och har ledig kapacitet under resten av året.

Om proteinutvinning baseras på färsk vall och endast är i drift under sommarhalvåret kan pelletstillverkningen ske i takt med proteinutvinningen under delar av året. Vill man ha pelletsproduktion under hela året måste presskakan ensileras i väntan på pelletering. Om pelletsen produceras vid en anläggning som producerar protein från ensilerad vall kan den vara i drift året runt och pellets kan produceras i den takt som presskakan produceras.

6.2.3.2 Balad och ensilerad presskaka som grovfoder till häst

Det hanteringsmässigt enklaste användningen till hästar är att använda presskakan utan vidare förädling som ett grovfoder. För att vara hållbar behöver den dock ensileras. Den extra utrustning som behövs för detta alternativ är en balpress och inplastare.

Detta användningsområde är möjligt både när färsk och ensilerad vall används för proteinutvinning. Det enklaste upplägget är att produktionen av presskakebalar lokaliseras till proteinutvinningen och görs i regi av denna. Detta alternativ bedöms som lämpligt eftersom ensilering bör göras i direkt anslutning till proteinutvinningen för att undvika försämrade hygienisk kvalitet. Balarna kan sedan säljas direkt till hästägare.

En viktig utgångspunkt om presskakan ska användas som hästfoder är acceptansen för produkten. Inom projektet Green Valleys 2.0 (2024) gjordes ett preferenstest på rid, trav- och islandshästar på Axevalla hästcentrum. Hästarna fick då välja mellan presskaka från ensilage samt lusernhackelse. Preliminära resultat tyder på inga eller små skillnader för vissa hästar som föredrog lusern framför presskaka. Vidare visade de preliminära resultaten på att smältbarheten var god. En mer omfattande utfodringsstudie kommer att utföras under våren 2025 med fokus på smältbarheten i presskakan. Direkt efter att presskakan kommer ut från proteinutvinningen pressas den till rund- eller fyrkantbalar följt av inplastning. Det finns stationära balpressar av den modell som används för vall, det finns även pressar från tex avfallshantering som skulle kunna användas. Balarnas storlek skulle kunna anpassas till användningen och tex göras mindre för att hinna förbrukas innan kvaliteten förstörs eller försämras. Ett exempel är horsehage- balar av grovfoderensilage som pressas i balar som väger 20-25 kg.

Larsson (2024, pers comm) uppskattar att presskakan kan fungera som ett grovfoder till häst och att priset då troligen ligger under 2 kr/kg. En nackdel jämfört med grovfoder från hel vall är att ättiden kan bli kortare eftersom vallen är bearbetad under pressningen. Lång ättid är en fördel för grovfoder till hästar. En fördel för foder till hästar är det lägre sockerinnehållet

Om man utgår från färsk vall har presskakan en högre vattenhalt än den som grovfoder till hästar normalt har. Där används främst torrare foder, tyngre att hantera, luktar mer, köper och hanterar mer vatten. Denna tillämpning skulle också kunna vara ett alternativ för presskakan från pressning av ensilage. Presskaka från ensilerad vall har högre ts-halt vilket är positivt. Om presskaka från pressning av ensilerad vall ska användas behöver även omensileras såvida den inte förbrukas direkt i takt med pressning. I utfodringsförsök med bland annat stutar inom Green Valleys har presskakan från pressning av ensilage balats och plastats in med gott resultat.

6.2.4 Presskakan som råvara för fibermassa till textilier eller papper

Ett annat möjligt användningsområde för presskakan är som råvara för att tillverka en fibermassa som beroende på kvalitet kan användas för exempelvis textilier, papper eller förpackningar. En fördel med att använda presskaka jämfört med om tex halm skulle användas är att insamlingssteget dvs skörd och transport från fältet redan är gjord i föregående process när vallen pressades i vallbioraffinaderiet. Presskakan finns därmed samlad på ett ställe för leverans till fraktionering.

Mest troligt vill fibertillverkaren som vill utvinna en tex cellulosa-fiber från presskakan ha en produktion som är i drift hela året. Då finns två möjligheter. Det första alternativet är ett vallbioraffinaderi baserat på färsk vall och i drift under sommarhalvåret. För att få tillgång över hela året behöver presskakan göras lagringsduglig genom tex ensilering vilken beroende på skala på processerna kan göras i balar eller i bulk genom ensilering i silo. Presskakan ensileras i direkt anslutning till pressningen och kan därefter transporteras till anläggningen för massatillverkning i takt med förbrukning. Det andra alternativet är att använda presskaka från pressning av ensilage vilket kan göras året runt. Samlokalisering eller lokalisering med kort avstånd mellan vallbioraffinaderiet och fiberproduktion är fördelaktigt både med tanke på transportkostnader och kvalitet/hållbarhet på presskakan.

Processen för att göra textilier från jordbruksrestströmmar innefattar förenklat följande steg: råvaruleverans, fraktionering och förädling till en så kallad dissolvingmassa, fiberspinning, tillverkning av textilier/slutprodukt. Cellulosa i presskaka kan frigöras och användas för textilier genom att tillverka dissolvingmassa vilket ger en ren (>95 %) cellulosafraktion. I kokningssteget, där kemikalier tillsätts beroende på typ av kokningsprocess, bryts biomassans struktur upp och cellulosa frigörs från hemicellulosa och lignin och separeras ut för vidare processning. Enligt Södra som planerar att i pilotskala börja använda restströmmar från spannmålsproduktion (halm, veteskal och havreskal) i sin massaproduktion, går delignifieringen fortare med jordbruksrestströmmar jämfört med ved (Harnesk, 2023). Efter kokningen följer ett renings- och blekningssteg där cellulosa renas från eventuella rester från kokningen samt lignin och hemicellulosa. För traditionell skogsråvara finns svenska aktörer såsom pappers- och massabruk. Södra tillverkar dissolvingmassa som används för framställning av cellulosa-baserade textiltfiber såsom viskos och lyocell (Södra, 2024).

Den renade cellulosa-massan går sedan vidare till spinning för att tillverka en textiltfiber. I spinningprocessen löses massan upp tillsammans med ett passande lösningsmedel och fibern koagulerar till fast form. För detta steg finns flera möjliga processer såsom

lyocellprocessen. Även detta fiberspinningssteg behöver utvecklas för att matcha slutanvändningen och krav på funktion, komfort och upplevelse. Blandningar av olika material är intressanta för att möjliggöra nya egenskaper och öppna nya marknader. Aktörerna inom fiberspinning är framför allt utländska medan svenska aktörer såsom H&M, IKEA m.fl. finns för att använda fibern.

I Danmark pågår forskning om att använda cellulosan i presskakan från pressning av färsk vall för tillverkning av biomaterial så som textilier och/eller material inom förpackningsindustrin. Inom projektet Green Valleys 2.0 ska en teknisk del fokusera på första steget att bearbeta presskakan till en cellulosaamassa för att testas inom olika applikationsområden. Cellulosaamassan kommer vidare att analyseras utifrån dess spinning-potential, så som fiberlängd, absorptionsförmåga och känsla. Preliminära resultat påvisar att presskakan skulle behöva förbehandlas innan vidare processer för textil och förpackningar. Dessutom ingår även en mer industrinära del där man genom intervjuer och workshops med nyckelpersoner inom textilindustrin och biomaterials företag. Parallellt med detta sker en marknads- och omvärldsanalys som avser syntetisera strategiska dokument från relevanta industrier, beslutsfattare och andra intressenter. Detta ska resultera i en strategisk roadmap och stödmaterial för fortsatt kommersialisering.

Utmaningar med presskakan

Utmaningarna i kedjan är flera. Till skillnad från skogsråvara finns ingen färdig process för fraktionering och vidareförädling av råvaran. De processer som används för traditionell skogsråvara behöver anpassas alternativt nya processer kan behöva utvecklas. En fråga som också påverkar genomförbarheten är vilken storlek som krävs på dessa processer och hur de matchar tillgången på presskaka.

Jämn tillgång över hela året och jämn kvalitet är viktiga egenskaper om presskakan ska användas för massatillverkning. Detta kan vara en utmaning med tanke på att vallen kan bestå av många olika sorter, i renbestånd eller i blandningar. Dessutom påverkas sammansättningen av vallens ålder, skördetidpunkt mm.

Presskakan skiljer sig i struktur jämfört med skogsråvara som normalt används för att tillverka dissolvingmassa. Jämfört med skogsråvaran som flisas innan kokningen är råvaror från jordbruket stråbaserade vilket gör att de uppträder annorlunda vid hantering och under kokningen vilket kan kräva anpassning av processen. Ensilerad presskaka har lågt pH vilket inte behöver vara ett problem för processen.

Innehållet av föroreningar och ämnen som hämmar eller stör processerna är ett annat område som behöver utredas vidare. Proteinet i presskakan kan också vara ett problem i processen. På grund av risken för maillardreaktion mellan kolhydrater och aminosyror, vilket sker i högre temperatur än ca 140 grader. Då cellulosa är en typ av kolhydrat riskerar en reaktion med aminosyror att cellulosans egenskaper ändras och därmed ändrar förutsättningarna för att kunna användas som material till papper eller textilfibrer (Ronkainen, 2024 pers komm.).

6.3 Mobil pressning

6.3.1 Introduktion

Grödor och restströmmar från jordbruket är ofta, jämfört med t.ex. skogsbiomassa skrymmande och har låg energidensitet, vilket leder till höga transportkostnader när stora mängder biomassa ska samlas på en central plats. En mobil pressanläggning skulle kunna minska transportbehovet genom att pressa vallen nära gården och därefter låta transportera endast en fraktion till vidareförädling medan den andra fraktionen stannar på gården. Detta gör ett system med mobil pressning främst intressant för djurgårdar som kan använda presskakan för utfodring.

Om pressningen sker på en gård med nötdjur kan presskakan stanna på gården där den ensileras för att användas som grovfoder. Pressjuicen transporteras vidare till en central anläggning för vidareförädling. Förädlingsanläggningen kan ta emot pressjuice från flera decentraliserade eller mobila pressar. Ett exempel på ett likande upplägg är det holländska konceptet Grassa (se affärsupplägg i avsnitt ovan) som bygger på att pressningen görs gårdsnära i stationära anläggningar och där pressjuicen levereras till en central anläggning. En annan möjlighet är att låta pressjuicen stanna på gården och köra iväg presskakan för vidareförädling. Då skulle den mobila anläggningen kunna vara tillämpbar även i det småskaliga case som presenteras i projektet för grisproduktion hos Hilmér Lantbruk. En mobil press möjliggör även att pressen vintertid kan användas för att pressa ensilage. Det skulle öka beläggningen på utrustningen samtidigt som behovet av fasta investeringar.

Tanken med det mobila systemet är att det ska integreras i gårdens vallskördekedja genom att lägga till ett pressningssteg innan vallen eller i detta fall presskakan ensileras för att användas som grovfoder. Normalt förtorkas vallen på fältet till en vattenhalt lämplig för en väl fungerande ensileringsprocess. Därefter bärgas den från fältet och transporteras till gården för ensilering. Vid utvinning av pressjuice bärgas vallen utan förtorkning och transporteras till gården där den först tillförs pressen innan presskakan lagras in. Under försöken i detta projekt har det pressats vall som slagits och hackats direkt i anslutning till regn. Denna vall har gett gott resultat och presskakan har bedömts vara lämplig för ensilering i plansilo trots att gräset som togs in var väldigt blött. Vid proteinutvinning från färsk vall är tidsaspekten viktig då tiden mellan slåtter och pressning ska vara så kort som möjligt för att få ett bra proteinutbyte och undvika förluster (se t.ex Jørgensen m.fl., 2021).

6.3.2 Förslag på design av systemet

För skörd av vall används olika system, bland annat beroende på vilken mängd vall som ska skördas och vilken kapacitet som behövs för att genomföra skörden så att den inte drar ut i tiden för länge vilket riskerar ge försämrad kvalitet. Förslag på design har tagits fram för två system med olika kapacitet.

6.3.2.1 Mindre system

Det mindre systemet bör vara lämpligt för en mindre vallfoderkedja med t ex en hackvagn, snittvagn eller en bogserad hack. En kapacitet att behandla ca 10–30 ton grönmassa i timmen bedöms som lämplig. Komponenter som skulle lämpa sig:

- 1) Avlastarbord av modell som används för tornsilos. Finns sådan som är mobila och byggda för att kunna mata ett transportband med ett jämt flöde av gräs

Vallen transporteras från fältet på samma sätt som vanlig vallskörd och tippas på avlastarbordet alternativt på en yta bredvid där den hämtas med lastmaskin och tippas på avlastarbordet.

- 2) En vagn som kan dras av traktor eller lastbil där det monteras en skruvpressen av den modell som används för proteinutvinning idag, en motor för att driva skruvpressen samt en eller två värmeväxlare mellan kylvattnet från motorn och pressjuicen för att driva värmekoaguleringen.

Gräset transporteras på band upp till skruvpressen från avlastarbordet.

- 3) Ett transportband från skruvpress till mellanlager för presskaka
- 4) Extern tank för att samla upp pressjuicen.

Presskakan transporteras med band till en platta eller yta där en lastmaskin hämtar den och lägger in i silo. Pressjuicen leds till en lagringstank. Antingen direkt i lastbilen eller i en tank som hämtas av lastbil följt av transport till bioraffinaderiet för vidareförädling.

6.3.2.2 Större system

Det större systemet ska matcha kapaciteten hos en skördekedja baserad på en självgående exakthack och bör därför ha en kapacitet att behandla ca 60-100 ton/h färsk vall. Det kan även vara en möjlighet att utrustningen hanterar ett delflöde av den vall som bärgas på fältet.



Figur 21. Exempel på ensilageskörd med självgående hack och ensilagepackare. (foto Henrik Olsson).

Ett förslag på design i detta fall är att basera systemet på en modifierad ensilagepackare. Grundtanken är då att ersätta rotern med skruvpressar för att både pressa ut pressjuice

och packa gräset i slangen. Dessutom ska värmväxlare läggas till. Därigenom kan pressjuicen pressas ut innan presskakan går vidare och ensileras i en slang. Ensilagepackaren transporteras med traktor mellan gårdarna.

Det som tillkommer är själva skruvpressarna, diesel för att driva dem samt, slitdelar och underhåll på pressarna och kapitalkostnader för press och en större motor. Ingen extra operatör tillkommer eftersom den kan skötas av samma operatör som sköter slangläggaren. En traktor för att transportera ekipaget finns redan.

6.3.3 Ekonomiska och praktiska förutsättningar

Läglighetsfördelar. Skörd av vallfoder är normalt en väderberoende aktivitet eftersom vallen behöver förtorkas på fält för att ha rätt vattenhalt för ensilering. Detta gör att det finns så kallade läglighetseffekter eller kostnader av att få sämre kvalitet på fodret om det inte går att skörda vid rätt tidpunkt. För lantbrukaren minskar behovet av förtorkning vilket gör det lättare att planera vallskörden och risker kopplat till väder minskar. Om man kan skörda vallen utan förtorkning som i detta fall minskar beroendet av rätt väderförutsättningar och därmed riskerna för läglighetsförluster. Tillgänglig tid för skörd ökar då skörden kan ske utan förtorkning och även när väderförutsättningarna är lämpliga för förtorkning. Därmed kan utnyttjandegrad för skördemaskinerna öka vilket ger fler driftstimmar och lägre kapitalkostnader. Vid försök på Sötåsen pressades gräs som skördades direkt efter regnväder. Gräset som skördades var för blött för att lägga i plansilo men efter pressning höll gräset en TS-halt på ca 30-35 % och bedömdes lämpligt att hantera i plansilo. Pressningen kan ske i direkt anslutning till bärgning från fältet vilket är positivt för proteinutvinningen. En högre vattenhalt i vallen vid pressning ökar generellt utbytet av protein till pressjuicen (t.ex. Santamaria-Fernandez m.fl., 2019).

Mervärde av högre beläggning. Det finns ett mervärde av högre beläggning på fälthackkedja till följd av att ensilage kan skördas vid blötare väderlek. Baserat på Maskinkostnader 2021 från Maskinkalkylgruppen antas värdet av att öka beläggningen från normal (300 h/år) till hög (400 h/år) vara ungefär 600–700 kr/h för en maskinkedja med fälthack, slätterkross, tre vagnar och en strängläggare. Detta är bara mervärdet av högre beläggning på utrustningen. Det kan även antas finnas ytterligare mervärden exempelvis i form av att personal inte behöver byta arbetsuppgifter lika ofta samt att utrustning inte behöver kopplas till och från traktorer lika ofta för att kunna utföra annan verksamhet. Vidare blir det tryggare för maskinstationens kunder om skörd inte är lika väderberoende. Det minskar risken för att skördetillfället blir senare än önskat vilket leder till sämre kvalitet på fodret.

Användning vintertid. Färsk vall pressas under vallskördesäsongen vilket innebär att utrustningen inte används under vintersäsongen. Det kan därför finnas en möjlighet att använda den mobila pressen för att pressa ensilage under vintertid. Detta skulle kunna vara aktuellt för grisproducenter som vill använda pressjuicen för utfodring i våta utfodringssystem såsom fallet är det småskaliga konceptet studerat i detta projekt för Hilmér Lantbruk. Detta minskar behovet av att investera i fast infrastruktur vid gårdarna.

Strömförsörjning och värmeåtervinning. En viktig fråga är energi/el för att driva pressen. Den flexiblaste lösningen är dieseldriven motor eller traktordrivnet elverk som

driver pressen. Alternativet eldrift som kopplas in på elnätet på gården är i teorin bättre då el är billigare och ger lägre klimatavtryck. Men problemet är att utrustningen kommer kräva betydligt högre effekt än vad som vanligtvis finns tillgängligt. En möjlighet är att kombinera de två alternativen.

Används en inbyggd dieselmotor finns möjligheten att använda värmen från denna för att värma pressjuicen. Vid pressningsförsöken på färsk vall och första skörd var juiceutbytet 55,6 % och elförbrukningen 4,16 kWh/ton färskt gräs. Vid andra och tredjeskörden var elförbrukningen högre och juiceutbytet lägre. Antas pressen ha en kapacitet att bearbeta 65 ton/h färskt gräs och pressjuicen ett Cp på 1,12 kWh/ton och °C blir värmebehovet för att höja temperaturen med 18 °C ungefär 726 kW. Effektbehovet för att driva pressen skulle då ligga på ungefär 270 kW. Antas dieselmotorn ha en verkningsgrad på 25 % samt att ca 65 % av tillförd energi i dieseln kan återvinnas som värme skulle motorn ge ca 703 kW värme. Till detta skall även läggas att motorn även behöver leverera effekt till att driva avlastarbord och annan utrustning vilket betyder att det bör finnas lite mer värme att ta ut. Om juicen ut från pressen håller en temperatur på 32 °C och den höjs ytterligare 18 °C av värmen från pressen når juicen en temperatur på 50 °C. Det är en lägre temperatur än vad som användes i pilotförsöken inom detta projekt. Men 50 °C är lämplig för ett första fällningssteg om vitt protein skall utvinnas genom isoelektrisk fällning, se Gunnarsson m.fl. (2022).

Görs ett antagande att den centrala anläggningen har en el- och värmekostnad på 1 kr/kWh och att dieseln kostar 1,2 kr/kWh skulle detta betyda att en mobil press har en dieselkostnad på 1 289 kr/h för pressning. Samtidigt spar centrala anläggningen in 974 kr i el och värmekostnader på att juicen är pressad värms till 50 °C. Det skulle betyda att det mobila systemet har 325 kr/h högre energikostnad jämfört med central anläggning om dieselbehov för transporter exkluderas.

Presskakans fodervärde. En förutsättning för detta system är att presskakan efter att en grönjuice pressats ut ska stanna på gården och ha liknande fodervärde som vallen innan pressning och att lantbrukaren kompenseras för fodervärdet i bortförd pressjuice. Detta skulle kunna ske genom att anläggningen betalar för fodervärdet eller erhåller extra presskaka motsvande det som förs bort med pressjuicen.

Som framgår av tidigare avsnitt har presskaka från pressning av ensilage högre fodervärde jämfört med presskaka från färsk vall, tex är NDF lägre i presskakan från färsk vall jämfört med presskaka från ensilage. Enligt det tidigare beskrivna konceptet från Grassa där presskakan marknadsförs som "open grass" där pressningen bearbetat fibern och gjort den mer tillgänglig för nedbrytning hos kon vilket kompenserar bortförseln av en del av proteinet. Utfodringsstudier med presskaka från färsk vall har visat att mjölkkor som utfodras med den ensilerade fiberfraktion som återstår efter pressning av färsk vall producerar minst lika mycket mjölk som vid utfodring av ett gräsklöverensilage. Rekommendationer är dock att ersätta delar av grovfodret i form av vall ersätts med presskaka vid utfodring av mjölkkor. Presskakan kan även utfodras till djur som har lägre behov av protein såsom dikor, sinkor och ungdjur.

Det finns även en möjlighet att anpassa graden av pressning och hur mycket pressjuice som pressas ut och därmed påverka kvalitet och fodervärde på presskakan. Detta bekräftas av de tester som gjordes på Sötåsen i detta projekt.

Minskat transportbehov. Genom att låta den mängdmässigt största fraktionen, presskakan, stanna på gården och endast transportera pressjuicen till anläggning för proteinutvinning minskar behovet av transporter. Korta transportavstånd är också en viktig parameter. När vi antar att vallen för proteinutvinning odlas i en spannmålsväxtföljd är det troligt att vallens andel av totala grödor som odlas i området är lägre än vad som är fallet i det mobila caset där vallen pressas på gårdar som odlar vall som grovfoder till egna djur. Detta påverkar transportavstånden eftersom vi måste gå längre ut från anläggningen för att få ihop samma mängd vall. Eftersom knappt en tredjedel av ts i vallen följer med pressjuicen behöver dock mer vall skördas för att gårdarna ska få samma mängd vallfoder kvar att ensilera, vilket kan öka transportavståndet.

En möjlighet som ett mobilt system kan bidra med är att utöka upptagningsområdet för en central storskalig anläggning. En storskalig anläggning som placeras i ett spannmålsdominerat område skulle kunna kompletteras med att pressjuice körs in från gårdar med nötdjur längre bort där gräset behandlas i mobila pressar. I detta fall är det ej säkert att transportbehovet blir mindre eftersom avståndet blir större.

Fördelar för bioraffinaderiet. För bioraffinaderiet innebär detta att endast processerna där juicen vidareförädlas till ett proteinkoncentrat behövs. Eventuell finns överkapacitet i dessa steg alternativt att anläggningen byggs ut för att öka kapaciteten i dessa steg. Bioraffinaderiet kan betala motsvarande vad det skulle kosta att pressa i en stationär anläggning. Istället för att köpa in obehandlad vall innebär det här systemet att bioraffinaderiet betalar för värdet i pressjuicen som förs bort. Beroende på vad brunjuicen som bildas vid proteinutvinning ska användas till är en möjlighet att köra den i returlast till gården när pressjuicen hämtas.

Antas det att pressdelen på en central anläggning för 20 000 ton TS vall/år kostar 28 Mkr med avskrivning på 15 år och intern ränta på 10 % blir kapitalkostnaden 3,7 Mkr/år. Antas underhållskostnaden var 4 % av maskinkostnaderna landar detta på ca 420 kkr/år. Med ett pressutbyte på ca 29 % på TS-basis betyder det en kostnad på ungefär 0,7 kr/kg ts pressjuice som går att spara in för den centrala anläggningen.

Drift och underhåll mobil press. Dessa kostnader beror på vilken design som väljs. För det större systemet finns stora möjligheter till synergier. Funktioner som avlastarbord är lika oavsett om pressjuice skall utvinnas före ensilering i slang eller om gräset skall gå direkt till ensilering. Dock kommer en slangensileringsmaskin utrustad med pressar vara tyngre och kanske även mer komplex att underhålla.

6.4 Alternativa substrat för att förlänga skördesäsongen

6.4.1 Mellangrödor och fånggrödor

Mellangrödor har fått ett ökat fokus de senaste åren och kan vara en möjlig gröda för proteinextraktion. Aronsson m.fl. (2023) definierar mellangrödor som ”en gröda som har sin huvudsakliga tillväxt mellan två huvudgrödor, och där syftet med att odla mellangrödan kan variera”. Exempel på möjliga effekter av mellangrödor är förbättrade fysikaliska egenskaper i marken, minskad utlakning av näringsämnen och bevarande av

markens bördighet (Persson Hovmalm och Prade, 2021). Enligt SAM-ansökningarna 2023 var arealen mellangrödor 164 000 hektar enligt Greppa näringens hemsida (<https://greppa.nu>). Aronsson m.fl. (2023) sammanställde resultat från fältförsök med mellangrödor, nedan visas några exempel på medelavkastning hos de olika sorterna:

- Engelskt rajgräs, westerwoldiskt rajgräs och hundäxing (samtliga insådda): 800-900 kg ts/ha. Italienskt rajgräs dubbelt så hög avkastning.
- Oljerättika: i Skåne och Halland 2300 kg ts/ha (sådd i juli), 2220 kg ts/ha (sådd 1-15 aug.) och 970 kg ts/ha (sådd 16-31 aug.), i Mellan- och Västsverige 910 kg ts/ha (sådd 1-15 aug.) och 720 kg ts/ha (sådd 16-31 aug.)
- Vitsenap: i Skåne och Halland 2200 kg ts/ha
- Baljväxter i renbestånd: rödklöver 890 kg ts/ha, luddvicker 2640 kg ts/ha (Skåne) och 617 kg ts/ha (V Götaland)

För höstraps behöver den sås i början av augusti i Västra Götaland enligt de fältförsök som genomförts för att nå samma biomassa som vid sådd i slutet av augusti i södra Sverige (Skåne, Halland) enligt Aronsson m.fl. (2023).

I Tyskland finns en lång erfarenhet av att grönskördad råg lämpar sig som mellangröda. Där har den använts till både foder, proteinutvinning eller som biogassubstrat. Den grönskördade rågen skördas tidigt i Tyskland, innan blomningen. Det finns tydliga samband mellan skördetidpunkt, avkastning och olika kvalitetsparametrar som proteinhalten i den grönskördade rågen. Tyska försök med grönråg har i genomsnitt för åren 2017-2022 haft en proteinhalt på 126,5 g/kg ts vid den tidiga skördetidpunkten innan blomningen (Proteinmarkt, 2024). Skörden har legat runt 5-7 ton/ha, med en ts-halt på 27% (där optimum är satt till 28-35 %).

De få observationer som fanns för höstråg i Sverige som mellangröda såddes i augusti och påvisade att det finns en stor potential för tillväxt hos rågen (Aronsson m.fl., 2023). I samma rapport går att läsa att höstvetet såddes först i september i försöken och hade en betydligt mindre biomassa än råg och raps.

Olika studier har visat att mellangrödor både kan ge ett ökat och ett minskat utsläpp av lustgas. Bortförsel av skörderester har visat sig fungera väl för att minska lustgasemissioner, under förutsättning att det rör sig om färska och gröna skörderester. Metaanalysen som utfördes av Abalos m.fl. (2022b) visade på 50 % högre lustgasemissioner när mellangrödor lämnas kvar och myllas ned jämfört med när de förs bort. Genom att skörda mellangrödor sent på hösten kan både mängden nitrat och lättnedbrytbart kol i marken minska och samtidigt blir det möjligt att få in en färsk råvara till vallbioraffinaderiet.

6.4.2 Fältförsök med mellangrödors potential som proteinkälla

I en studie vid SLU Alnarp om mellangrödors potential för proteinutvinning genomfördes fältförsök under 2017 med mellangrödorna bovete, facelia, hampa och oljerättika (Persson Hovmalm & Prade, 2021). Grödorna såddes i början av juli. Gödslingen och skördetillfällets inverkan på proteinhalten undersöktes. För varje gröda

fanns ett ogödslat led och ett led som gödslades med ammoniumkväve (40 kg N/ha). Grödorna skördades vid 4 olika tillfällen under säsongen (aug., sept., okt. och nov.).

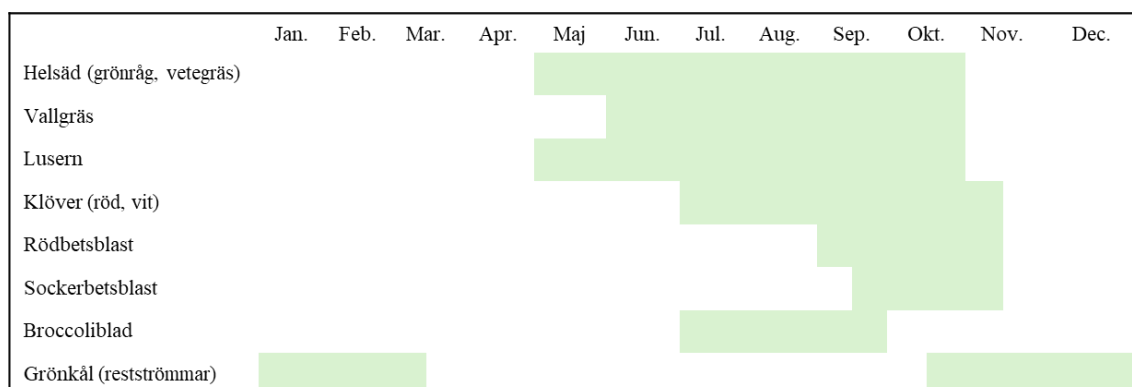
En uppskattning av proteinhalten gjordes på det skördade materialet som visade på en stor spridning. De lägsta proteinhalterna uppskattades hos bovete och de högsta hos hampa på uppemot 14–16%. I bovete och facelia var proteinhalten betydligt lägre senare under säsongen. De gödslade leden gav en betydligt högre avkastning jämfört med de ogödslade. I gödslad hampa och oljerättika skördad i sept., okt. och nov. uppnåddes det högsta potentiella proteinutbytet på 400–800 kg protein/ha. Den ekonomiska analysen visade att ogödslad eller gödslad hampa skördad i september eller oktober skulle kunna vara lönsamma i en storskalig produktionsprocess. Det finns dock osäkerheter i studien då proteinutvinningen baserar sig på försök gjorda i lab-skala och att allt protein troligtvis inte är utvinningsbart i en uppskalad, industriell process.

6.4.2.1 Stöd för mellangrödor

En jordbrukare kan få en ersättning för mellangröda på 113 euro/ha 2023 (<https://jordbruksverket.se/>). Det krävs dock bl.a. att mellangrödan ska vara tillräckligt etablerad med hänsyn till lokala förhållanden och väderlek, att den odlade grödan bidrar till kolinlagring och ökad bördighet samt max 30% baljväxtandel. Mellangrödan ska sås så att den hinner utvecklas väl på hösten så att den lagrar in kol efter huvudgrödan skördats. Grödan får inte användas för slätter, bete, foder eller annan produktion förrän efter det tidigaste datumet för brytning; 20 okt. i Blekinge, Skåne och Hallands län och i övriga områden den 10 okt. Om grödan gödslas är den inte berättigad till stöd. Om grödan ska säljas som grönmassa är det tillåtet att gödsla den.

6.4.3 Gröna blad

I sin avhandling ”Harnessing the potential of green leaves” ger Anna-Lovisa Nynäs flera exempel på gröna blad som kan användas för extraktion av proteiner (Nynäs, 2022). I Figur 22 nedan visas exempel på hur gröna blad från olika grödor kan medföra att biomassa kan skördas under hela året i Södra Sverige. Fokus i avhandlingen var att utvinna det vita proteinet för användning till livsmedel.



Figur 22. Bedömd tillgänglighet av olika typer av färsk bladbiomassa i Södra Sverige över året (omarbetad figur utifrån Nynäs (2022)).

Baserat på våtvikt innehåller färsk bladbiomassa relativt låg halt av protein, men baserat på torrsubstansen är innehållet på en intressant nivå för proteinutvinning mellan 12–17 %, Tabell 32.

Tabell 32. Proteininnehållet i några möjliga råvaror för grönt bioraffinaderi (Nynäs, 2022)

Råvara	Proteininnehåll, % av ts
Broccoliblad	12
Grönkålsblad	15
Sockerbetsblast	17
Lusern	16

6.4.3.1 Betblast

Betblast lämnas idag kvar på fältet och skulle potentiellt kunna skördas. Betblast från sockerbetsodling är en av de råvaror som det gjorts flest forskningsstudier på för användning till proteinutvinning, såsom Kiskini m.fl. (2016) och Tamayo Tenorio mfl. (2016). Bland annat har tester av olika tekniker för extraktion och fysisk karakterisering av proteinerna från betblasten studerats. Kiskini m.fl. (2016) undersökte om det fanns någon skillnad i proteinhalt och mängd extraherbart protein från blasten mellan yngre och äldre sockerbetsplantor. Proteinhalten var den samma i blasten från yngre och äldre plantor och även för mängd extraherbart protein kunde ingen korrelation med plantans ålder hittas även om N-extraherbarheten varierade mellan 28-56 %. I ett projekt genomfört vid SLU Alnarp visades sig blastskörden vara högre i september på 3,6 ton ts/ha, än i oktober då den var 0,4 ton ts/ha lägre, vilket kan göra det fördelaktigare att samla in blast i september än oktober (Kreuger m.fl., 2014). Arealen med sockerbeter var 29 300 hektar 2022 (Jordbruksverket, 2023). Vid en medelavkastning på 3,4 ton ts/ha (Kreuger m.fl., 2014), blir totala potentiella skörden i Sverige strax under 100 000 ton TS betblast.

6.4.3.2 Lusern

Liksom betblast är lusern en gröda som det genomförts många forskningsstudier på för användning till proteinutvinning, såsom Hojilla-Evangelista m.fl. (2016), Damborg m.fl. (2018) och Nissen m.fl. (2021). Lusern används bl.a. som en av råvarorna in till Biorefine Danmarks proteinutvinningsanläggning (<https://biorefine.dk/p/om-biorefine>). Försök med lusern i Danmark visar att förstaskörden på en hektar lusern i Danmark kan täcka hälften av proteinbehovet för att föda upp cirka 24 slaktsvin (Aarhus University, 2023). Dessa beräkningar bygger på antaganden om en avkastning på 3 ton/ha vid första skörden, en proteinhalt på 21,8 % och 50 % utvinningsgrad av proteinet, som då ger 330 kg protein/ha som kan utfodras till slaktsvin.

6.4.3.3 Sidoströmmar från broccoli, rödbetor, morötter, och grönkål

Broccoli och grönkål är exempel på grödor där som mest 10 % och 50 % av den totala plantan skördas (Nynäs, 2022). Sidoströmmarna utgörs huvudsakligen av stjälkar och blad. Enligt fältförsöken och analyserna i Prade m.fl. (2021) finns det upp emot 16 och 1,9 ton ts/ha lämpliga restströmmar i form av blad från broccoli respektive grönkål som skulle kunna användas för proteinextraktion i Sverige. Proteinfraktionering visade att mellan 34–42 och 25–34 kg protein kunde extraheras/ ton ts bladrestströmmar från broccoli respektive grönkål. Både mängden grönt och vitt protein var generellt högt hos båda grödorna, även om den var betydligt högre i broccoli än i grönkål.

6.4.3.4 Grönskördad rågvete och halm

I Danmark genomfördes försök med proteinutvinning från rågvete skördat vid olika stadier, vid tre olika kvävegivor (0, 180, 300 kg/ha) och resultaten publicerades i Jørgensen m.fl. (2020). Grödan grönskördades vid två tillfällen, den 6 juni och 6 juli samt vid mogen skörd (både spannmålskärna och halm) den 15 augusti. Grödorna befann sig då i utvecklingsstadierna DC 70 (axgång och blomning var över), DC 80 (pågående kärnfyllnad och fortfarande grön planta) och DC 92 (mogen gröda) enligt Zadoks skala. Den 6 juni uppnåddes den lägsta avkastningen på grön biomassa på 13,3 ton ts/ha och den högsta den 6 juli på 21 ton ts/ha, där halmen utgjorde 51–55 % av den totala ovanjordiska biomassan. Totala biomassaskörden 15 augusti var 20,6 ton ts/ha. Kvävegödslingen hade ingen inverkan på kärnsköörden, även om den lägsta skörden uppmättes vid 60 kg N/ha på 9,1 ton/ha och den högsta vid 300 kg N/ha på 10,0 ton/ha.

Proteinextraktionen genomfördes som en dubbelpressning eftersom tidigare opublicerade resultat visat på ett 40 % högre utbyte av protein då. Mellan 57-62 % av torrsubstansen återfanns i presskakan. Protein i juicen fälldes ut genom värmekoagulering vid 80 °C. Utbytet av råprotein var som högst den 6 juni vid N-givan på 300 kg/ha, tabell 33. Proteinutbytet ökade inte i biomassan under de sista 5–6 veckorna före skörd vid mognad i augusti, Tabell 33. Fraktionering av protein från det grönskördade rågvetet gav som mest en produktion av 730 kg/ha råprotein i proteinkoncentratet från skördarna 6 juni och 6 juli vid en N-giva på 180 kg N/ha. Enligt aminosyraanalysen utgjorde det sanna proteinet (summan av totala aminosyror minus fria aminosyror) 55-70 % av kvävet i juicen.

Tabell 33. Utbytet av råprotein hos rågvete hos grönmassa (6/6 och 6/7) samt halm (15/8) vid tre olika kvävegivor Jørgensen m.fl. (2020)

Skördedatum	Utbyte av råprotein, %		
	N-giva 60 kg/ha	N-giva 180 kg/ha	N-giva 300 kg/ha
6 juni	7,3	10,9	13,6
6 juli	5,0	8,3	10,3
15 augusti	2,8	4,5	5,6

6.4.4 Våtmarksgräs

Våtmarksgräs har utvärderats som möjlig råvara till proteinutvinning av Rodriguez-Dominguez m.fl. (2022). Från en artificiell våtmark (Treatment wetlands) där naturliga processer efterliknas och optimeras för att förbättra vattenkvaliteten hos dagvatten och från en naturlig våtmark skördades svärdsilja (*Iris pseudacorus*), vecketåg (*Juncus effusus*), bladvass (*Phragmites australis*), kaveldun (*Typha latifolia*) och salix (*Salix viminalis*). Proteinhalten analyserades i den skördade biomassan och den högsta proteinhalten uppmättes i bladvassen som växten i den artificiella våtmarken på 6,78 % och den lägsta uppmättes i svärdsiljan som växten i den naturliga våtmarken på 3,69 %.

Projektets resultat visade att proteinproduktionen inte påverkades negativt av förhållandena i den artificiella våtmarken. Tvärtom var proteinproduktionen förbättrad för samtliga gräs som utvärderades. Proteininnehållet var högre i växterna från den

artificiella våtmarken, troligtvis pga. en högre kvävehalt i dagvattnet som kom in dit vilket gör att det finns mer kväve tillgängligt för växterna.

7 Sammanfattande diskussion

Proteinutvinning och potentialen att använda blandvallar

I projektet pressades färsk och ensilerad blandvall med klöver och gräs, dels från naturbruksskolan Sötåsen och dels från Nötcenter Viken. Resultatet påvisar inga större skillnader mellan skördar gällande utbyten vid pressningen och aminosyrasammansättningen. Resultatet indikerar däremot att en låg ts-halt i både färsk vall och ensilage vid pressning ökar utbytet. Detta stämmer överens med resultat från tidigare projekt (Gunnarsson m.fl., 2022). Även Santamaria-Fernandez m.fl. (2019) har visat att en hög vattenhalt vid pressning är fördelaktigt för att frigöra proteiner vid pressning. Vad gäller sorter var Santamaria-Fernandez m.fl. (2019) slutsats att kväverika och fiberfattiga sorter såsom rödklöver ger högre proteinutbyten jämfört med exempelvis timotej eller blandvall i samma utvecklingsstadie. Proteinutbytet minskar med utvecklingsstadie, vilket kan förklaras med ökande ts- och minskande råproteinnehåll. Enligt en sammanställning av den forskning som gjorts inom området av Santamaria Fernandez & Lübeck (2020) har proteinkoncentrat från vall en liknande sammansättning av essentiella aminosyror oavsett vallsort eller vald metod för att utvinna och fälla ut proteinet. Detta är en fördel vid kommersialisering för exempelvis foderproduktion. Aminosyraprofilen för proteinkoncentrat från vall har stora likheter med aminosyraprofilen från sojamjöl (Hermansen m.fl., 2017).

Den färska och ensilerade vullen som använts i projektet har olika ursprung, vilket gör det svårare att dra slutsatser men de proteinutbyten som uppnåddes var högre vid pressning av ensilage jämfört med färsk vall. Detta stämmer överens med resultatet från ett tidigare projekt där vi pressade vall med samma ursprung i laboratorieskala och där 19 % i färsk vall respektive 46 % i ensilerad vall av återfanns i pressjuicen (Gunnarsson m.fl., 2022). Santamaria-Fernandez m.fl. (2019) nämner svårigheten med att uppnå liknande proteinutbyten med storskaliga skruvpressar jämfört med pressning i laboratorieskala. Vi såg samma tendenser när samma ensilage pressades i labbpress och pilotanläggningen.

En viktig parameter för ett högt utbyte är en effektiv pressning. De proteinutbyten som uppnåddes i pressningarna av färsk och ensilerad blandvall på Sötåsen nådde inte upp till de nivåer som vi antagit är möjliga att uppnå i en kommersiell process. De antagandena baserades på resultat från våra tidigare projekt, samt erfarenheter från litteratur från framför allt Danmark (Jørgensen m.fl., 2021). För pressning av både färsk och ensilerad vall antog vi det möjligt att 44 % av proteinet i råvaran innan pressning återfanns i pressjuicen. I våra försök var proteinutbytet för färsk vall 13-20 % medan det var 18-25% vid pressning av ensilage.

I demoanläggningen på Aarhus universitet har möjligheter att lägga till olika processteg undersökts för att få en mer intensiv bearbetning av biomassan, vilket har ökat utbytet. De försök som vi genomfört i projektet för att öka uppehållstiden och bearbetningsgraden såsom dubbelpressning och långsammare matning ökade utbytet med ca 3-5 procentenheter för både färsk och ensilerad vall. Detta har även observerats

i tidigare försök i laboratorieskala (Gunnarsson, m.fl.,2022) men vid analys av proteinets kvalitet efter dubbelpressning kunde en kvalitetsförändring observeras. Detta beror troligen på att proteinet kan vara bundet till fiber och därmed inte är tillgängligt. Liknande erfarenheter på dessa motsatsförhållande mellan proteinutbyte och kvalitet har påvisats i danska studier, där extra bearbetning vid pressning ökar utbytet men är negativt för proteinkvaliteten i pressjuicen/proteinkoncentratet.

Utvärdering av ett småskaligt koncept

Den enklaste lösningen när det gäller utrustning och hantering av både vall och produkter efter pressning är ett koncept där ensilerad vall pressas och pressjuicen utfodras i våt form till grisar. I den fallstudie som undersökts i detta projekt för Hilmér Lantbruk finns goda förutsättningar för etablering av ett vallbioraffineri. Gården har grisproduktion såväl som en biogasanläggning samt intresse av att inkludera vall i sin spannmålsdominerade växtföljd för att få en mer hållbar odling. Beroende på hur mycket pressjuice som behövs och hur mycket vall som Hilmér i detta fall vill ha i sin växtföljd finns möjligheter att samarbeta med framför allt växtodlingsgårdar som även de ser fördelar med vall i växtföljden men saknar avsättning för vällen.

Vallen skördas och lagras på samma sätt som för vallfoder. För pressning är den dominerande lösningen en skruvpress. Beroende på förutsättningar på gården, tillgång till personal mm kan utrustningen för inmatning varieras vad gäller automatisering och kapacitet. I vårt fall finns inte personal närvarande på gården hela dagarna och lastmaskin används inte i samma omfattning som på en mjölkgård. Därför valdes ett förhållandevist dyrare och automatiserat inmatningssystem med stor lagerkapacitet som gör att ensilaget endast behöver fyllas på någon eller några gånger per dag. Ett alternativ är ett enklare utrustningsval som istället ökar arbetsåtgången. Den ekonomiska utvärderingen visar att kostnaden för utrustning/anläggning står för en relativt liten del av kostnaderna i detta system.

Användning av pressjuicen som foder för grisar har inte undersökts praktiskt i projektet. Eftersom grisarna hos Hilmér Lantbruk utfodras med blött foder redan idag och utrustning för att ta emot flytande fodermedel finns, så innebär det dock inga större tekniska förändringar att börja använda pressjuice. Pressning kan ske i takt med förbrukningen av pressjuice, vilket gör att den inte behöver lagras längre tider. På samma sätt kan presskakan rötas i takt med pressning vilket inte ger upphov till något stort lagringsbehov. Pressjuicen har ett lågt pH som gör den lagringsduglig.

Pressjuicens värde har stor påverkan på intäkterna för konceptet. Den foderstatsoptimering som gjordes för att få en uppfattning av pressjuicens värde som foder till grisar visar att underlaget för sådana beräkningar såsom pressjuicens kvalitet och smältbarhet fortfarande är mycket begränsade. Dessutom är värdet beroende av priser på övriga fodermedel. En merintäkt från grisköttet pga vällens mervärden skulle få stor positiv inverkan på det ekonomiska resultatet.

Utvärderingen av kostnader och intäkter för de båda studerade koncepten visar att ett högt utbyte av protein vid pressningen har stor påverkan på intäkterna från pressjuicen och/eller proteinkoncentratet. Proteinkoncentrationen i utgångsmaterialet, dvs råproteinhalten är viktig för att få ut så mycket protein som möjligt per areal för att öka lönsamheten. Den största kostnaden i båda koncepten är den för odling/inköp av vall. Vällens kostnader består delvis av kostnader för maskiner och insatsmedel vilka är svåra

att påverka. Vi kunde se en stor inverkan på intäkterna om vi räknar med de värden för hela växtodlingen som finns av att inkludera vall i växtföljden, såsom ökad avkastning i efterföljande spannmålsgrödor eller minskat behov av ogräsbekämpning. Det finns en stor utvecklingspotential i att tydliggöra och värdesätta de olika mervärden som vallen bidrar med i en stråsådesbaserad växtföljd. Detta är fokus i ett fortsättningsprojekt beviljats finansiering från JTI stiftelsen.

För presskakan finns många alternativa användningsområden tex. samarbete med en närliggande gård med nötdjur eller andra djur som äter grovfoder. Forskning både i Sverige och internationellt har visat att presskakan från ensilage kan ersätta vallensilage i varierande omfattning. Inom projektet har presskaka som grovfoder till hästar undersökts, antingen som en ingrediens i en foderpellets eller som ett grovfoder. För att få en hanterbar produkt är då en möjlighet att pressa presskakan i rund- eller fyrkantbalar som plastas in.

Utvärdering av storskaligt koncept

I det storskaliga konceptet utvinns ett torrt proteinkoncentrat genom att pressa färsk vall och lägga till processteg för vidareförädling av pressjuicen. Färsk vall finns endast tillgänglig under sommarhalvåret, vilket ger möjligheter att kombinera proteinutvinningen med andra aktiviteter under vinterhalvåret, för att öka driftstiden och lönsamheten i vallbioraffinaderiet.

De slutsatser som kan dras vad gäller erfarenheter från Sverige och framför allt Danmark, är att proteinkoncentratet fungerar bra för utfodring till grisar. En utmaning är att få en jämn kvalitet, då flera parametrar påverkar, såsom vallen, sorter skördetidpunkter samt hur den hanteras innan, under och efter pressning. För fjäderfä är erfarenheterna färre och mer forskning behövs.

På samma sätt som i det småskaliga konceptet har vi sett att kvaliteten på proteinet påverkar värdet som foder och mängden protein påverkas av utbytet, vilket har en stor inverkan på intäkten i vallbioraffinaderiet. Intäkterna från presskakan är en förutsättning för att få lönsamhet

I det storskaliga konceptet är vallen färsk vid pressning och mängderna per år är större än i det småskaliga konceptet vilket gör lokaliseringen till en viktig parameter. Generellt sett är närhet till vallodlingen viktigt eftersom färsk vall har en låg ts-halt, vilket innebär att mycket vatten ska transporteras som ökar transportkostnaderna. Det torra proteinkoncentratet däremot är lagringsstabil och utgör en mängdsmässigt liten del av vallen efter raffinering. När det gäller lokalisering är därför närhet till odling av vallen och utnyttjande av presskakan viktigare att ta hänsyn till. Dessutom är en kort tid mellan slåtter och pressning viktigt för att få en bra kvalitet såsom hög smältbarhet på proteinet, vilket gör det fördelaktigt med korta avstånd mellan fält och raffinaderi. En intressant möjlighet är då en mobil pressningsanläggning som skulle kunna integreras i en befintlig vallskördekedja genom att låta vallen passera en skruvpress, samla upp pressjuicen och ensilera presskakan. För den mobila pressen som ska integreras med vallskörden för foder på gårdarna är målet att utvinna så mycket juice som möjligt per timme. I det stationära systemet är transport av vall en betydande kostnad och därför vill man i det systemet ha ett högt pressutbyte av juice från vallen. I det mobila systemet är transportkostnaden av vall inte av samma betydelse vilket gör att det bör vara effektivt att istället optimera driften mot en hög juiceproduktion per tidsenhet. Detta uppnås

genom att ha ett högre flöde av gräs genom pressen vilket leder till ett lägre pressutbyte per ton gräs men en högre produktion av pressjuice i timmen. Dessutom är ett bra fodervärde på presskakan viktigt eftersom den ska användas som grovfoder, därför inte mål att pressa ut så mycket protein som möjligt.

De lagringsförsök med färsk pressjuice som gjordes i projektet visar att pressjuicen bör användas direkt för att undvika okontrollerad mikrobiell tillväxt som påverkar juicens ursprungliga kvalitet. Kyllagrad pressjuice kan lagras upp till 4 dagar. Försöken med fermentering av pressjuicen visar en möjlighet där en förbättrad lagringsstabilitet och proteinutvinning skulle kunna kombineras. Värmen från den mobila pressen skulle kunna återvinnas till att förvärma juicen, vilket skulle kunna bidra till avdödning och utgöra ett första steg i fällning av proteinet.

Ett annat lokaliseringalternativ är till den process eller verksamhet som ska använda presskakan. Att använda presskakan för biogasproduktion är ett fungerade alternativ och då är samlokalisering med en biogasanläggning fördelaktig. Även brunjuicen som erhålls efter utvinning av proteinkoncentratet är ett bra biogassubstrat. I Olsson m.fl. (2023) har vi undersökt hur dessa kan användas vid samrötning med andra restströmmar från jordbruket och hur substratblandningarna kan se ut under både sommar – och vinterhalvåret. Det finns många andra möjliga användningsområden för presskakan som en råvara för papper och textilier.

Presskakan från färsk vall produceras endast under sommarhalvåret samt är inte lagringsstabil. Det förutsätter ett användningsområde eller en process som klarar en varierande tillgång, alternativt att produkten görs lagringsduglig genom torkning eller ensilering. Ett annat lokaliseringalternativ kan då vara till den process eller verksamhet som ska vidareförädla presskakan till en lagringsduglig produkt, tex en pelleteringsanläggning eller foderfabrik. De erfarenheter som finns visar att ensilering av presskaka fungerar bra och går dessutom att göra i olika skalor från balar till större plan- eller tornsilos där samma tekniker som för vallfoder kan användas.

Så vad återstår innan etablering av ett kommersiellt vallbioraffinaderi? Projektet EKO-Etablering av ett cirkulärt och vallbaserat bioraffinaderi i norra Bohuslän, är det projekt som kommit längs gällande en fysisk lokalisering av ett bioraffinaderi i Sverige. Inom det projektet har förutsättningar för etablering och logistik av ett större bioraffinaderi för utnyttjande av färsk biomassa tagits fram (Gottlieb, 2024, pers komm.). I vårt projekt har vi genom analyser av både ett mindre koncept baserat på pressning av ensilerad vall och ett större koncept baserat på pressning av färsk vall, visat att ekonomin sett som kostnader och intäkter är relativt goda under förutsättning att vi når upp till de antaganden och förutsättningar för hög kvalitet på både vall och vallprotein samt höga utbyten vid pressning. Dessutom behövs en bra intäkt från såväl pressjuice som presskaka. I analysen av det småskaliga konceptet var också betydelsen av att inkludera vallens mervärden i kalkylen tydlig. Detta kommer studeras och konkretiseras ytterligare i ett fortsättningsprojekt finansierat av Stiftelsen JTI.

Förslag för utveckling av pilotanläggningen på Sötåsen

Pilotanläggningen för grön bioraffinering som etablerats på naturbruksskolan Sötåsen är en viktig testmiljö för forskning och utveckling för möjligheten att skala upp och komma närmare en kommersiell process. Storleksmässigt är pilotanläggningen relevant för en mindre kommersiell anläggning som exempelvis den småskaliga gårdsbaserade

anläggning som undersöks i detta projekt. Trots detta har vi i de praktiska tester som utförts inom projektet inte nått upp till den mängd och kvalitet på det utvunna vallproteinet som behövs för en effektiv och lönsam process och för ett få fram ett konkurrenskraftigt proteinfoder. Erfarenheter både från detta och andra projekt visar att utbytet i pressningssteget kan öka genom att lägga till steg för att bearbeta biomassan mer, antingen före och/eller efter att den bearbetats genom skruvpressen. Pilotanläggningen skulle kunna kompletteras med ett steg för sönderdelning av biomassan innan pressningssteget. Ett annat alternativ är att bygga om anläggningen för att kunna pressa biomassa fler gånger i kombination med recirkulering av pressjuice. Med sönderdelning på anläggningen finns även möjlighet att direktkörda färsk vall utan hackning på fältet, vilket är fördelaktigt för kvaliteten på det utvunna proteinet. En högre utvinningsgrad på proteinet är dessutom fördelaktigt om presskakan ska användas för tillämpningar inom textil och förpackningsindustrin, där biomassan som används ska ha så lågt proteininnehåll som möjligt.

För att få önskade utbyten krävs praktiska erfarenheter av kontinuerlig drift eller drift under längre perioder. Detta sker nu i Danmark där flertalet anläggningar har varit i drift under några år och möjliga förbättringsåtgärder i design och komponentval identifierats.

Ett annat utvecklingsspår för pilotanläggningen på naturbruksskolan Sötåsen är att lägga till ytterligare processer för att öka kvaliteten på proteinet som utvinns. Vid utfordring av proteinkoncentrat från vall beror kvaliteten på proteinkoncentrationen på aminosyrasammansättningen, men även energiinnehåll och koncentration av anti-nutritionella komponenter är viktigt (Dale m.fl., 2009). Proteinkoncentratet kan innehålla värdefulla ämnen som lipider och betakaroten som färgar äggulan vid utfodring till värphöns. Inom projektet Green Valleys 2.0 (Interreg ÖKS) undersöks olika metoder för att filtrera den färska pressjuicen genom olika typer av membranfiltrering för att avlägsna vissa typer av smak och färgämnen, som saponiner, polyfenoler och klorofyll som påverkar proteinets smaklighet. Detta är viktigt för att kunna ta fram ett alternativt foder till fisk.

Ytterligare en möjlighet för vidareutveckling av pilotanläggningen för demonstration av en större del av värdekedjan, är att lägga till steg så att produkterna från pressning kan nyttjas som foder. Genom detta skulle det finnas avsättningsmöjligheter för både pressjuice och presskaka till djuren på skolan samtidigt som blivande lantbrukare får ta till sig ny kunskap och teknik på ett tidigt stadium. Detta skulle vara fördelaktigt för att kunna köra anläggningen under längre perioder och därmed få fler driftstimmar i systemet och erfarenheter som är viktiga för att närma sig kommersiell drift. På naturbruksskolan Sötåsen finns både ekologisk produktion av grisar och mjölkkor och därmed goda förutsättningar. För att underlätta demonstration av blötutfodring till grisar krävs en ombyggnation av befintligt utfodringsystem.

En möjlighet som inte kräver några större ombyggnationer är komplettering av en stationär balpress som pressar och plasar in presskakan och gör den till en hanterbar och lagringsbar produkt. Därigenom öppnar sig möjligheter att använda presskakan i andra applikationer där mindre mängder efterfrågas. Inom hästnäringen pågår ett flertal studier på alternativa framtida hästfoder där detta skulle kunna vara intressant och där presskakan från ensilage skulle kunna vara ett alternativ, antingen som grovfoder eller i pelleterad form (Müller, 2023, pers. komm.)

8 Övergripande slutsatser

- Ett högt innehåll av protein i vallen och ett högt utbyte av protein till pressjuicen i samband med pressning är viktigt för att få ett lönsamt system. Bearbetningsgrad är viktigt för ett högt utbyte i pressningen. Det kan göras på flera sätt, antingen innan pressning genom olika förbehandlings/sönderdelningar eller under pressning genom åtgärder för att förlänga uppehållstiden eller genom dubbelpressning.
- Vallen utgör den största kostnaden i systemet och det är viktigt att inkludera och sätta ett värde på de mervärden som finns av att inkludera vall i en växtföljd med ensidig spannmålsodling.
- Det är viktigt att presskakan värdesätts då den mängdsmässigt utgör den största fraktionen och påverkar även utformning av affärscase och lokalisering.
- Det är svårt att prismässigt värdera vallproteinet. Kunskapen om näringsvärde, smältbarhet och hur dessa varierar är begränsad. Fodermedelspriserna varierar mycket och har stor påverkan på vallproteinets värde. Även möjliga mervärden för producenten med en svensk proteinråvara bör beaktas.
- Småskalig proteinutvinning via pressning av ensilage och utfodring av pressjuice bör ha möjligheter att realiseras. Småskaliga system har förutsättningar att realisera lokala mervärden och finna upplägg som ger högt värde på presskakan.
- Mer praktiska erfarenheter och längre driftstider behövs för att få ett säkrare underlag för förstudier inför kommersialisering.

9 Referenser

Aarhus University, 2023. ProRefine project. Core Organic Cofund.

<https://projects.au.dk/coreorganiccofund/news-and-events/show/artikel/lucerne-protein-for-organic-pigs/>

Abalos D, Recous S, Butterbach-Bahl K, De Notaris C, Rittl TF, Topp CFE, Petersen SO, Hansen S, Bleken MA, Rees RM & Olesen JE. 2022b. A review and meta-analysis of mitigation measures for nitrous oxide emissions from crop residues. *Science of Total Environment* 828, 154388.

Aronsson, H., Ernfors, M., Kätterer, T., Bolinder, M., Svensson, SE., Hansson, D., Prade, T., Bergkvist, G. 2023. Mellangrödor i växtföljden – för kolinlagring och effektivt kväveutnyttjande. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Ekohydrologi, 179)

Dale, D.B., Allen, M.S., Laser, M., Lynd, L.R. 2009. Protein feeds coproduction in biomass conversion to fuels and chemicals. *Biofuels, bioproducts and biorefining* 3: 219-230.

Damborg, V.K., Stödkilde, L., Jensen, S.K., Weisbjerg, M.R. 2018. Protein value and degradation characteristics of pulp fibre fractions from screw pressed grass, clover, and lucerne. *Animal Feed Science and Technology* 244 (2018)93-103.

Green Valleys, 2024. Hemsida: We create value circles in agriculture - Green Valleys

Gunnarsson, C., Ahlström, A., Ljungberg, D., Prade, T., Rosenqvist, H., Svensson, S-E. 2017. Fresh and ensiled crops – a new way to organize all-year round substrate supply

for a biogas plant. Report No 2017:07, f3 The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels, Sweden. www.f3centre.se.

Gunnarsson, C., Baky, A., Castillo, d.P.M., Eliasson, L., Fahrni, J., Gustafsson, T., Johansson, E., Olsson, J., Wallin, E., Xanthakis, E. 2022. Utvinning av högvärdiga komponenter för förbättrad värdekedja för vall till etanol och bioolja. RISE Rapport 2022:79, Uppsala.

Hagskär, A. 2022. Foderåtgång och tillväxt hos mjölkkraskvigor utfodrade med bioraffinerad presskaka från gräs/klöverensilage. Självständigt arbete, Inst. Husdjurens miljö och hälsa, SLU.

Harnesk, T. 2023. Södra testar pappersmassa av jordbruksrester: ”En fiffig sak”. Ny teknik, 2023-12-05 Södra testar pappersmassa av jordbruksrester: ”En fiffig sak” (nyteknik.se)

Hermansen, J.E., Jørgensen, U., Lærke, P.E., Manevski, K., Boelt, B., Krogh Jensen, S., Weisbjerg, M.R., Dalsgaard, T.K., Danielsen, M., Asp, T., Ambye-Jensen, M., Grøn Sørensen, C.A., Vestby Jensen, M., Gylling, M., Lindedam, J., Lübeck, M., Fog, E., 2017. Green biomass – Protein production through bio-refining. DCA report No. 093. Danish centre for food and agriculture, Aarhus University.

Hojilla-Evangelista, M.P., Selling, G.W., Hatfield, R. & Digman, M. 2016. Extraction, composition, and functional properties of dried alfalfa (*Medicago sativa* L.) leaf protein. *J. Sci. Food Agric.* 2016, 97, 882–888, doi:10.1002/jsfa.7810.

Jordbruksverket, 2022. Rekommendationer för gödsling och kalkning 2023. Jordbruksinformation 15 – 2022, Jordbruksverket.

Jordbruksverket, 2023. Jordbruksmarkens användning 2022. Slutlig statistik. JO 10 SM 2202.

Jørgensen U, Kristensen T, Jørgensen JR, Kongsted AG, De Notaris C, Nielsen C, Mortensen EØ, Ambye-Jensen M, Jensen SK, Stødkilde-Jørgensen L, Dalsgaard TK, Møller AH, Sørensen CG, Asp T, Olsen FL, Gylling M., 2021. Green biorefining of grassland biomass. 111 pp. Advisory report from DCA – Danish Centre for Food and Agriculture, Aarhus Universitet, submitted: 14.07.2021

Jørgensen, H., Thomsen, S. T. & Schjoerring, J. K. 2020. The potential for biorefining of triticale to protein and sugar depends on nitrogen supply and harvest time. *Industrial Crops and Products* 149 (2020) 112333. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112333>

Keto, L., Tsitko, I., Perttilä, S., Särkijärvi, S., Immonen, N., Kytölä, K., Alakomi, H-L., Hyytiäinen-Pabst, T., Saarela, M. 2021. Effect of silage juice feeding on pig production performance, meat quality and gut microbiome. *Livestock Science* 254 (2021) 104728.

Kiskini, A., Vissers, A., Vincken, J.-P., Gruppen, H. & Wierenga, P.A. 2016. Effect of plant age on the quantity and quality of proteins extracted from sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves. *J. Agric. Food Chem.* 2016, 64, 8305–8314, doi:10.1021/acs.jafc.6b03095.

Knuckles, B.E., Bickoff, E.M. och Kohler, G. O. 1972. PRO-XAN Process: Methods for Increasing Protein Recovery from Alfalfa. *J. Agric. Food Chem.* 1972, 20, 5, 1055-1057

Kolmetz, K., Mutiara Sari, R. 2014. Kolmetz Handbook of Process Equipment Design. Reactor systems selection, sizing and troubleshooting. KLM Technology Group, Bandar Johor Bahru, West Malaysia.

Kreuger, E., Prade, T., Björnsson, L., Lantz, M., Bohn, I., Svensson, S-E, Lindkvist, A. & Hörndahl, T. 2014. Biogas från Skånsk betblast - potential, teknik och ekonomi. Rapport 93 Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet.

Krymowski, J. 2023. A new approach to grass unlocks its potential. The best articles of All About Feed 2023, Misset Uitgeverij B.V. Doetinchem, Nederländerna.

Maskinkalkylgruppen, 2023. Maskinkostnader 2023. Underlag och kalkylexemple för lantbruksmaskiner. Maskinkalkylgruppen och HIR Skåne. HIR Skåne, Bjärred.

Nadeau, E., Sousa, D., Dahlström F., Wallenbeck, A. 2023. Grön bioraffinering av vall – utfodring av presskaka och pressjuice till lantbrukets djur. Rapport nr. 34 Inst. för växtproduktionsekologi, SLU Konferensrapport Vallkonferens 2023, 7-8 februari 2023, SLU, Uppsala

Nadeau, E. 2023. Presskaka som foder och till biogas. Presentation på Demodag grön bioraffinering, Sötåsen 2023-11-16.

Nissen, S.H., Schmidt, J.M., Gregersen, S., Hammershøj, M., Møller, A.H., Danielsen, M., Stødkilde, L., Nebel, C. & Dalsgaard, T.K. 2021. Increased solubility and functional properties of precipitated alfalfa protein concentrate subjected to pH shift processes. Food Hydrocolloids, 119, 106874. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106874>

Nynäs, A-L. 2022. Harnessing the potential of green leaves. Doctoral Thesis no. 2022:23. Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp.

Olsson, J., Edström, M., Fjäll, S., Gunnarsson, C., Gustafsson, T., Myrbeck, Å., Pizzul, L., Westlin, H. 2023. Jordbruksbaserat bioraffinaderi - kombination av lokal och regional skala. RISE Rapport 2023:137, Lund.

Perez Davila, J.W. 2023. Protein digestibility of biorefined juice from fresh and ensiled ley crops in growing pigs. Independent project in Animal Science, department of Animal Breeding and Genetics, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Persson Hovmalm, H. & Prade, T., 2021. Mellangrödors potential som proteinkälla. LTV-fakultetens faktablad 2021:12. Sveriges Lantbruksuniversitet, Alnarp.

Persson, J. 2018. Trädgårdsproduktion 2017. Jordbruksverket. (JO 33 SM 1801).

Prade, T., Muneer, F., Berndtsson, E., Nynäs, A-L., Svensson, S-E, Newson, W. R. & Johansson, E. 2021. Protein fractionation of broccoli (*Brassica oleracea*, var. *Italica*) and kale (*Brassica oleracea*, var. *Sabellica*) residual leaves – A pre-feasibility assessment and evaluation of fraction phenol and fibre content.

Presto Åkerfeldt, M., Friman, J., Dahlström, F., Larsen, A., Wallenbeck, A. 2022. Juice from silage in green bio refineries – a potential feed ingredient in liquid diets to weaned pigs, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, 71:1-4, 51-57, DOI: 10.1080/09064702.2022.2118828

Proteinmarkt, 2024.

<https://www.proteinmarkt.de/aktuelles/futtermittel/details/news/ergebnisse-der-futterroggensilage-gruenroggen-2022>

Ravindran, R., Koopmans, S., Sanders, J.P., McMahon, H., Gaffey, J. 2021. Production of Green Biorefinery Protein Concentrate Derived from Perennial Ryegrass as an Alternative Feed for Pigs. *Clean Technology* (3) 656-669.

Remer, D.S., Chai, L.H. 1993. Process Equipment, Cost Scale-up, *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, ed., McKetta, J., Marcel Dekker, Inc., 43, 306-317, 1993

Rinne, M. 2024. Novel uses of ensiled biomasses as feedstock for green biorefineries. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, (2024) 15:36

Rinne, M., Keto, L., Siljander-Rasi, H. and Stefanski, T., 2018, July. Grass silage for biorefinery–palatability of silage juice for growing pigs and lactating cows. In Proceedings of XVIII International Silage Conference (ed. K Gerlach and KH Südekum) (pp. 184-185).

Rodriguez-Dominguez, M.A., Bonfeld, B.E., Ambye-Jensen, M., Brix, H. & Arias, C.A., 2022. The use of treatmentwetlands plants for protein and cellulose valorization in biorefinery platform. *Science of the Total Environment* 810 (2022) 152376. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152376>

Santamaria-Fernandez, M., Karov Ytting, N., Lübeck, M., 2019. Influence of the development stage of perennial forage crops for the recovery yields of extractable proteins using lactic acid fermentation. *Journal of Cleaner Production* 218 (2019) 1055-1064

Santamaria Fernandez, M., Lübeck, M., 2020. Production of leaf protein concentrates in green biorefineries as alternative feed for monogastric animals. *Animal Feed Science and Technology* 268 (2020) 114605.

Santamaria-Fernandez, M., Karov Ytting, N., Lübeck, M., Uellendahl, H. 2020. Potential Nutrient Recovery in a Green Biorefinery for Production of Feed, Fuel and Fertilizer for Organic Farming. *Waste and Biomass Valorization* 11:5901-5911.

Santamaria-Fernandez, M., Molinuevo-Salces, B., Lübeck, M. Uellendahl, H., 2018. Biogas potential of green biomass after protein extraction in an organic biorefinery concept for feed, fuel and fertilizer production. *Renewable Energy* 129: 769-775.

Serra, E., Lynch, M.B., Gaffey, J., Sanders, J.P.M., Koopmans, S., Markiewicz-Keszyccka, M., Bock, M.H., McKay, Z.C., Pierce, K.M. 2023. Biorefined press cake silage as feed source for dairy cows: effect on milk production and composition, rumen fermentation, nitrogen and phosphorus excretion and in vitro methane production. *Livestock Science* 267 (2023)105135.

Steenfeldt, S., Hammershøj, M. Organic egg production. I: Effects of different dietary protein contents and forage material on organic egg production, nitrogen and mineral retention and total tract digestibility of nutrients of two hen genotypes. *Animal Feed Science and Technology* 209, 186-201.

Steenfeldt, S., Lübeck, M., Engberg, R.M. 2018. Alternative protein sources for poultry nutrition. Proceedings The XVth European Poultry Conference, Dubrovnik, Croatia, 17-21 September 2018.

Stödkilde, L., Ambye-Jensen, M., Jensen, S.K. 2020. Biorefined grass-clover protein composition and effect on organic broiler performance and meat fatty acid profile. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020:104:1757-1767.

Stödkilde, L., Damborg, V.K., Jørgensen, H., Laerke, H.N., Jensen, S.K. 2019. Digestibility of fractionated green biomass as protein source for monogastric animals. *Animal* 13:9, 1817-1825.

Stödkilde, L. 2024. Digestibility of green protein for monogastrics. Webinar Green biorefining and results from feeding trials with green protein. 2024-12-05, CBIO Aarhus University Centre for Circular Bioeconomy. CBIO Webinar: Green biorefining and results from feeding trials with green protein

Stödkilde, L., Ambye-Jensen, M., Krogh Jensen, S. 2021. Biorefined organic grass-clover protein concentrate for growing pigs: Effect on growth performance and meat fatty acid profile. *Animal Feed Science and Technology*, 276 (2021) 114943.

Stödkilde, L., Mogensen, L., Krogsdahl Bache, J., Ambye-Jensen, M., Vinther, J., Krogh Jensen, S. 2023. Local protein sources for growing -finishing pigs and their effects on

pig performance, sensory quality and climate impact of the produced pork. *Livestock Science* 267, 105128.

Södra, 2024. Textil med ursprung från skogen. Södra testar pappersmassa av jordbruksrester: ”En fiffig sak” (nyteknik.se)

Tamayo Tenorio, A., Gieteling, J., de Jong, G.A., Boom, R.M. & van der Goot, A.J. 2016. Recovery of protein from green leaves: Overview of crucial steps for utilisation. *Food Chem.* 2016, 203, 402–408, doi:10.1016/j.foodchem.2016.02.092.

Tidåker, P., Rosenqvist, H., Gunnarsson, C., Bergkvist, G. 2016. Räkna med vall. Hur påverkas ekonomi och miljö när vall införs i spannmålsdominerade växtföljder? Rapport 445, Lantbruk & Industri. JTI –Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala

Personlig kommunikation

Fog, E. 2024. Innovationscenter för Ekologisk Landbrug, Danmark, personlig kommunikation 2024-01-10.

Gottlieb, S. Symbiosutvecklare Sätenäs kommun, 2024-12-06

Larsson, A. 2024. produktspecialist Lantmännen, personlig kommunikation 2024-03-14

Müller, C. Inst för husdjurens utfodring och vård, SLU, Uppsala. Personlig kommunikation 2023-03-22

Ronkainen, J. 2024. Projektledare Wargön Innovation, personlig kommunikation 2024-05-13.

Smook, R., 2024. CEO Grassa, personlig kommunikation 2024-01-26

10 Bilagor

Bilaga 1. Kemiska analyser vid pressning av färsk vall och ensilage

Tabell 1.1. Resultat av analyser gjorda av Eurofins på färsk vallgröda före fraktionering genom skruvpressning samt pressjuice, presskaka och proteinkoncentrat efter skruvpressning

Parameter	Första skörd				Andra skörd				Tredje skörd			
	Vall	Press-juice	Press-kaka	Protein-konc	Vall	Press-juice	Press-kaka	Protein-konc	Vall	Press-juice	Press-kaka	Protein-konc
TS (%)	18,98	5,96	30,45	36,62	17,11	7,63	27,02	37,30	15,77	5,52	30,17	34,79
Fett (g/kg ts)	22		21	118	21		26	107	23		24	120
NDF (g/kg ts)	463		528		426		479		387		457	
Aska (g/kg av ts)	71		73	60	88		108	61	106		99	42
Råprotein (% av ts)	13,1	15,45	12,9	54,2	12,5	10	15	48,8	18,6	16,84	16,9	53,4
IVOS (%)	74,3		71,2		70,5		67,9		76,1		71,6	
Socketer (% av ts)	136		87	34	105		11	35	99		49	40
OMD (%)	75,4		72,4		71,7		69,2		77,1		72,8	
Koppar (Mg/kg lufttorrt prov)	6,5		6		8		8,4		10,7		9,2	
Järn (Mg/kg lufttorrt prov)	138		120		124		132		93		115	
Mangan (Mg/kg lufttorrt prov)	60		46		59		57		79		59	
Zink (Mg/kg lufttorrt prov)	21		19		22		23		24		21	
Kalcium (g/kg ts)	7,9		6		11,2		10,4		13,3		10,6	
Fosfor (g/kg ts)	2,4		2,2		2,6		2,5		3		2,5	
Magnesium (g/kg ts)	2,4		1,7		3,5		2,9		3,7		2,5	
Kalium (g/kg ts)	22,4		16,3		19,3		14,4		22,7		15,6	
Svavel (g/kg ts)	1,3		1,4		1,5		1,7		1,9		1,7	

Natrium (g/kg ts)	0,5	0,3	0,6	0,4	0,5	0,4
Omsättbarbar energi idisslare	11	10,5	10,2	9,6	10,9	10,3
AAT	76	74	72	69	75	72
PBV	0	3	1	32	56	44

Tabell 1.2. Resultat av analyser gjorda av Eurofins på färsk vallgröda före fraktionering genom skruvpressning samt pressjuice, presskaka och proteinkoncentrat efter skruvpressning

Parameter	Första skörd				Andra skörd				Tredje skörd			
	Hel	Press-juice	Press-kaka	Protein-konc	Hel	Press-juice	Press-kaka	Protein-konc	Hel	Press-juice	Press-kaka	Protein-konc
TS (%)	18,98	5,96	30,45	36,62	17,11	7,63	27,02	37,30	15,77	15,77	30,17	34,79
Fett (g/kg ts)	22		21	118	21		26	107	23	23	24	120
NDF (g/kg ts)	463		528		426		479		387	387	457	
Aska (g/kg av ts)	71		73	60	88		108	61	106	106	99	42
Råprotein (% av ts)	13,1	15,45	12,9	54,2	12,5	10	15	48,8	18,6	18,6	16,9	53,4
IVOS (%)	74,3		71,2		70,5		67,9		76,1	76,1	71,6	
Socket (% av ts)	136		87	34	105		11	35	99	99	49	40
OMD (%)	75,4		72,4		71,7		69,2		77,1	77,1	72,8	
Aminosyror (% av protein)												
Tryptofan	1,89			2,66	1,86		1,88	2,35	1,71	1,71		2,40
Alanin	7,63	5,19		7,87	6,32	7,75	7,74	6,42	6,61	6,61		6,56
Arginin	5,86	3,96		8,42	5,34	4,77	5,32	7,00	5,31	5,31		7,36

Asparginsyra	12,53	12,68		12,54	10,65	18,60	9,06	10,71	11,45	11,45		11,24
Glutaminsyra	12,00	8,77		14,17	10,50	13,16	10,49	12,07	10,29	10,29		12,61
Glycin	5,86	3,44		6,84	5,41	5,18	5,75	5,67	5,13	5,13		5,99
Histidin	2,40			3,14	2,19		2,25	2,54	2,17	2,17		2,78
Isoleucin	4,67			6,01	4,25		4,53	5,04	4,22	4,22		5,45
Leucin	9,03	4,99		11,57	8,14	7,44	8,63	9,83	8,23	8,23		10,33
Lysin	7,15	4,21		9,27	6,14	5,46	6,02	7,18	6,61	6,61		7,65
Fenylalanin	5,52			7,33	5,23		5,79	6,42	5,16	5,16		6,73
Prolin	4,94	3,67		6,24	4,58	5,47	5,50	4,89	4,55	4,55		6,22
Serin	5,43	3,66		5,92	4,51	4,86	4,76	4,73	4,73	4,73		4,93
Treonin	5,86	3,39		6,60	4,90	5,14	4,84	5,50	4,95	4,95		5,71
Tyrosin	3,66			5,38	3,71	4,32	3,74	5,02	3,97	3,97		5,76
Valin	6,39	3,70		7,93	5,56	5,95	5,90	6,71	5,56	5,56		6,79
Cystein +Cystine	0,86	2,10		0,78	0,80	2,63	0,79	0,55	0,72	0,72		0,67
Metionin	2,11			2,07	1,71		1,82	1,95	1,66	1,66		1,95

Tabell 1.3. Kemiska analyser av ensilage från Sötåsen och Viken innan pressning samt presskakan efter pressning

	Ensilage Sötåsen	Ensilage Viken	Presskaka Viken
ts (%)	27,9	38,2	48,3
Fett (g/kg ts)	28	39	45
NDF (g/kg ts)	414	408	508
Aska (g/kg av ts)	101	84	60
Råprotein (% av ts)	15,6	18,4	15,2
IVOS (%)	71,5	76,2	71,3
Socker (% av trs)	0,10	0,30	0,29
OMD (%)	72,7	77,2	72,5
Koppar (Mg/kg lufttorrt prov)	9,3	8,1	8,3
Järn (Mg/kg lufttorrt prov)	203	323	298
Mangan (Mg/kg lufttorrt prov)	47	117	74
Zink (Mg/kg lufttorrt prov)	24	25	17
Kalcium (g/kg ts)	10,6	8,6	6,1
Fosfor (g/kg ts)	3,2	2,4	1,5
Magnesium (g/kg ts)	2,6	2,2	1,4
Kalium (g/kg ts)	27,9	19,7	13,1
Svavel (g/kg ts)	1,6	3	2,3
Natrium (g/kg ts)	1	2,5	1,6
Omsättbarbar energi idisslare	10,2	11,1	10,7
AAT	69	72	71
PBV	36	60	30

Bilaga 2. Råvaruvärdering vid foderstatsberäkning

Tabell 2.1 Råvaruvärdering vid optimering av foderstat med pressjuice från vall

Näringsämne	Enhet	Värde	Källa
Råprotein	%	3	enligt analys
Råfett	%	0,58	enligt analys
Vattenhalt	%	90	enligt analys
Växtråd	%	0	enligt analys
NDF	%	1,4	enligt analys
Torrsubstans	%	10	enligt analys
Kalcium	g	1,5	enligt analys
Fosfor	g	0,6	enligt analys
Magnesium	g	0,5	enligt analys
Kalium	g	3,6	enligt analys
Natrium	g	0,2	enligt analys
Klorid	g	2,3	enligt analys
Svavel	g	0,6	enligt analys
Järn	mg	104	enligt analys
Koppar	mg	3,4	enligt analys
Mangan	mg	104	enligt analys
Zink	mg	41,2	enligt analys
Lysin	g	1,14	enligt analys
Metionin	g	0,27	enligt analys
CyMet	g	0,33	enligt analys
Cystein	g	0,06	enligt analys
Treonin	g	0,99	enligt analys
Arginin	g	1,23	enligt EvaPig®
Tryptofan	g	0,42	enligt EvaPig®
Isoleucin	g	1,2	enligt EvaPig®
Leucin	g	2,04	enligt EvaPig®
Valin	g	1,53	enligt EvaPig®
Histidin	g	0,459	enligt EvaPig®
Fenylalanin	g	1,35	enligt EvaPig®
Tyrosin	g	0,69	enligt EvaPig®
Alanin	g	1,65	enligt EvaPig®
Asparagin	g	2,85	enligt EvaPig®
Glutamin	g	2,97	enligt EvaPig®
Glycin	g	1,35	enligt EvaPig®
Prolin	g	1,53	enligt EvaPig®
Serin	g	1,14	enligt EvaPig®
Fenyl+Tyrosin	g	2,04	enligt EvaPig®
NE GrisVäx	MJ	0,705	enligt EvaPig®
NE Sugg	MJ	0,707	enligt EvaPig®
OE bväx	MJ	0,94	enligt EvaPig®
OE bsugg	MJ	0,943	enligt EvaPig®
Sis Lys	g	0,878	enligt EvaPig®
Sis Met	g	0,228	enligt EvaPig®
Sis CyMet	g	0,272	enligt EvaPig®
Sis Treo	g	0,752	enligt EvaPig®
Sis Arg	g	1,091	enligt EvaPig®

Sis Try	g	0,324	enligt EvaPig®
Sis Isoleucin	g	0,968	enligt EvaPig®
Sis Valin	g	1,189	enligt EvaPig®
Sis His	g	0,386	enligt EvaPig®
Sis Leu	g	1,699	enligt EvaPig®
Sis Tyr	g	0,59	enligt EvaPig®
Sis Phe+Tyr	g	1,727	enligt EvaPig®
Sis Ala	g	1,275	enligt EvaPig®
Sis Asp	g	2,254	enligt EvaPig®
Sis Glu	g	2,557	enligt EvaPig®
Sis Gly	g	1,104	enligt EvaPig®
Sis Pro	g	1,204	enligt EvaPig®
Sis Ser	g	0,92	enligt EvaPig®
SmbPGrmj	g	0,12	enligt EvaPig®

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtids säkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB Box 857, 501 15 BORÅS Telefon: 010-516 50 00 E-post: info@ri.se , Internet: www.ri.se	RISE Rapport 2024:90 ISBN: 978-91-89971-55-4
---	---