

GRÆSPROTEIN

Link til program: <https://mkjeldal.dk/calc/ProteinCalc%2023/>

Link til vejledning til program: [proteinCalc-vejledning.pdf \(mkjeldal.dk\)](https://mkjeldal.dk/proteinCalc-vejledning.pdf)



Udarbejdet for Århus universitet i projektet GO-GRASS

Indledning	4
logistik	4
Krav til græssets friskhed	5
Gennemgang af høstmetoder:.....	5
MaxiGrass	5
Skårlægning før opsamling.....	6
12 meter skårlægger og faste kørespor	6
Snittevogn	7
Finsnitning.....	8
Direkte høst med finsnitter	9
Modificeret skærebord	10
Opsamling af græssaft	11
Forsøg med holdbarhed på AU Foulum	11
Høstomkostninger	12
Tab ved høst af græs til protein	13
Observationer i 2020	13
Observationer i 2021	13
Observationer i 2022	13
Størrelsen af tabet under høst er aldrig blevet undersøgt.....	14
Transport af græs.....	14
Transportbegreber	15
Returlæs.....	15
Ventetid på læs	15
Afslutning hos leverandør.....	16
Kørsel mellem leverandører.....	16

Transportberegninger	16
Transportkapacitet	17
Ventetid – hvad betyder det?	18
Betydning af returlæs	18
Safttransport	19
Volumenvægt har betydning for transporten	19
Krav til transport til fabrikken vedrørende tidsrum fra høst til processing	19
Snitlængdens betydning for transportkapacitet	20
Snitlængde og densitet	20
Høst og transportmetoder hos græsproteinfabrikker.....	20
BioRefine A/S	20
Spild fra vognene.....	21
Observationer og bemærkninger om den valgte metode.....	21
Andre metoder til overvejelse	21
Forslag til en mere effektiv metode til høst af græsprotein	22
Høst og transport på Ausumgaard.....	22
Traktortransport med ”SIWI”	22
Andre muligheder for høst og transport, hvor protein fra græs anvendes til henholdsvis til foder og human ernæring.	23
Saftpresning med flytbare anlæg	23
Transport af grønsaft og returlæs med brunsaft.....	23
Store besparelser ved transport.....	24
Hvem kan have fordele ved mobil/flytbar saftpresser?	24
Økonomi for landmanden.....	25
Fordele for proteinfabrikken.....	25
Robotter til høst af afgrøder til protein	26
Andre ideer	28
Høst af græs til bioraffinering som maskinstationsydelse.....	28
Grovfoderhøst til sammenligning.....	28
Omkostninger ved grovfoder	28
Høst af græs til bioraffinering	29
Omkostninger ved høst af græs til protein	29
De øvrige markopgaver.....	29
Hvordan ser økonomien ud for maskinstationerne?	30

Økonomi i forhold til kornsædskifter	30
Sammenfatning i forhold til maskinstationsopgaven	30
Afslutning.....	30

Indledning

Perspektiverne ved at producere protein fra landbrugsafgrøder er lette at få øje på. Samlet set er der en lang række fordele ved at producere protein på danske marker: mindre udvaskning af kvælstof og mere opbygning af kulstof i græsmarkerne; øget fødevarerikkerhed, mindre import af protein til husdyrfoder, øget bæredygtighed og innovation. Desuden er der økonomiske fordele lokalt, hvor der produceres protein, herunder nye arbejdspladser på proteinfabrikken og hos vognmænd og maskinstationer samt de tilknyttede erhverv.

Denne minirapport vil omhandle værdikæden ved produktion af græsprotein med fokus på metoder til høst og transport samt omkostninger hertil. De samlede omkostninger består af en lang række faktorer, hvilket vil blive demonstreret i programmet "ProteinCalc", hvor der kan udføres beregninger med egne tal.

De forskellige høst- og transportmetoder er blevet studeret nærmere på henholdsvis Foulum, BioRefine A/S og Ausumgård. På AU Foulum er der over 4 år gennemført holdbarhedsforsøg, og i forbindelse med disse forsøg er der observeret forskellige høstmetoder.

I løbet af de 4 år er der kun blevet produceret græsprotein på 2 fabrikker, henholdsvis ved Nybro (BioRefine A/S) og Ausumgaard ved Holstebro. Forsøgsanlægget ved Foulum har i perioden været støtte for udviklingen på de to fabrikker.

logistik

Der opstår let ubalance i logistikken, når fabrikkens kapacitet ikke matcher høstmaskinens kapacitet. Er fabrikkapaciteten højere end det, én høstmaskine kan levere, kan der indsættes flere høstmaskiner, men når fabrikkens kapacitet er mindre end høstmaskinens kapacitet, opstår der ventetid for høstmaskinen i marken. En tilsvarende ubalance opstår, hvis skårlæggeren har større kapacitet end høstmaskinen, når man har valgt at skårlægge græsset og efterfølgende samle det op med en finsnitter med pick-up.

Når den høstede afgrøde skal transporteres videre, opstår igen ubalance, når transportkøretøjet skal vente på at få fuldt læs. Typisk kan lastbilen rumme tre aflæsninger fra høstmaskine eller hjælpe køretøj, før den er fyldt.

De forslag til løsninger, som bliver beskrevet i denne rapport, kan give nye udfordringer, når der skal skiftes mellem marker, og det kan udfordre den fleksibilitet, der kræves for at få det hele til at fungere.

I rapporten vil der blive givet forslag til forbedringer med henblik på at reducere transporten til det mindst mulige. Høst og transportmetoder, som indgår i ProteinCalc, vil kort blive beskrevet.

Krav til græssets friskhed

Det er en stor udfordring, at græsset skal være "frisk" når det processeres. De foretagne holdbarhedsundersøgelser, som omtales senere tyder på, at der ikke må gå mere end fire timer fra høst til processing. Overskrides tiden er græsset dog stadig anvendeligt, men kun til brug i et biogasanlæg.

Gennemgang af høstmetoder:

MaxiGrass

Det første forsøg blev udført med MaxiGrass. Den gav mulighed for at høste græsset i fuld længde. Antagelsen var, at det ville give den største mængde udvundet protein og den bedste proteinkvalitet.

Forsøgene er foretaget over fire år, og der har ikke kunnet påvises en entydig signifikant fordel ved at høste græsset i fuld længde sammenlignet med anvendelse af finsnitter, hverken med hensyn til udtrækning af protein eller holdbarhed efter høst. Forsøg har vist, at en stak græs høstet i fuld længde kan blive mere varm end en stak høstet med en finsnitter. Men forsøgene er ikke entydige nok til at drage en klar konklusion. Der mangler desuden undersøgelser, som viser temperaturens betydning for proteinudbyttet.



MaxiGrass har et høstaggregat, som består af en skivehøster, der sammen med en elevator bringer det høstede græs op i vognen. MaxiGrass udfører et udmærket høstarbejde med en ensartet stubhøjde, og der blev aldrig konstateret saftfløb under høstarbejdet eller senere ved transport til processeringsanlægget.

MaxiGrass kan med sin nuværende opbygning ikke omlæsse, og den har en meget lav transportkapacitet på grund af en lav læsvægt. Det skyldes især, at græs, som høstes i fuld længde, ikke falder så godt sammen i vognen, som mere finsnittet græs vil gøre.

Selv med et lastvolumen på ca. 17 m³ kunne der ikke lastes mere end 5 – 6 tons frisk græsmasse (FM) eller en volumenvægt på max 300 kg/m³.

Afhængig af mængden tons FM/ha ved en kørehastighed på 10 – 12 km/h er kapaciteten begrænset til 1 - 2 ha/h eller typisk 10 – 20 tons/time

MaxiGrass benyttes udelukkende til forsøg på Foulum, og er med sin nuværende opbygning ikke egnet til høstarbejde på kommerciel basis. **MaxiGrass vil være en udmærket høstmetode til et gårdanlæg, som udtrækker protein fra frisk græs inden kørerne fodres med pulpen. MaxiGrass kunne også være en løsning i forbindelse med placering af en saftpressestation på marken eller ved gården.**

MaxiGrass kan sandsynligvis ombygges eller videreudvikles, så den bliver mere effektiv i kombination med mere rummelige transportkøretøjer.

Skårlægning før opsamling

Skårlæggeren, der blev anvendt ved forsøg på Foulum, var en Class Disko med en arbejdsbredde på 9,10 m og forsynet med bånd til sammenlægning af skår. Skårlæggeren kørte umiddelbart foran henholdsvis finsnitter og snittevogn. Skårlæggeren udførte et særdeles flot arbejde med en præcis indstillet stubhøjde på 6 – 7 cm og en indstilling, hvor den forreste og de bageste sektioner var stillet meget ensartet. Ved at ændre på båndhastigheden kunne bredden på det aflagte skår reguleres, så det var tilpasset bedst muligt til de efterfølgende opsamleenheder.

Ved forsøgene var totalhøjden på græsset kun 12- 15 cm, hvilket giver problemer for maskiner forsynet med pick-up, som snittevogne og finsnittere.

12 meter skårlægger og faste kørespor

Bounum maskinstation, som høster græs for BioRefine A/S på den tidligere Nybro tørrecentral, anvender i perioder en 12 meter skårlægger med skårsamleudstyr.



Skårlægning foretages ved at traktoren kører imellem de faste kørespor, som på den måde ligger 6 meter fra græsstrengen. Derved kører traktor og vogn ved siden af finsnitteren i de faste kørespor. Metoden benævnes ofte "semi faste kørespor". En 12 meter skårlægger har en meget høj kapacitet. Ved en fremkørselshastighed på 12 km/h er kapaciteten ca. 11 ha/h, hvilket kan give over 100 tons frisk græs /h, afhængig af størrelsen på slæt. Bugserede skårlæggere fås med en arbejdsbredde op til 15,4 m, men der kan kun monteres skårsamling i 12 m arbejdsbredde. En skårlægger uden skårsamlerudstyr kræver en ekstra arbejdsgang med sammenrivning, hvilket øger både omkostninger og risiko for jord i græsset.

Et af argumenterne mod skårlægning har været frygten for et øget indhold af jord. De undersøgelser, der er foretaget for at belyse dette, indikerer imidlertid ikke et højere jordindhold ved skårlægning. Der er dog en maskinfører som nævner, at det kan være nemmere at overskue et direkte skærebord på 6 m frem for en skårlægger med en arbejdsbredde på 12 meter. Udtalelsen kom i forbindelse med en drøftelse af, hvordan muldvarpeskud opdages, hvor han fortæller, at han hæver skærebordet eller skårlæggeren for at undgå muldvarpeskud i afgrøden. Her vil det være nyttigt i den fremtidige udvikling at forsyne redskaberne med sensorer, som kan "opdage" muldvarpeskud og automatisk hæve den skærende enhed.

Snittevogn



En snittevogn er et oplagt valg på korte afstande, da den både kan samle en skårlagt afgrøde op, snitte afgrøden og efterfølgende transportere den fra mark til processering, vejførsel inkluderet. Da opsamlervogne er påhængsredskaber, kan der være udfordringer med vejtransport afhængig af, om der køres til et landbrug eller til anden lokation, da en bredde over dækkene på op til 3 meter kun tillades ved kørsel mellem mark og gård og mellem maskinstationer og kunder.

Ved et enkelt forsøg på Foulum kunne der konstateres et synligt saftafløb ved opsamling med en snittevogn "Pøttinger Jumbo", som var monteret med knive, så den teoretiske snitlængde blev på 3,5 cm. Den nyeste udvikling af snittevogne sker i forhold til snitlængden, hvilket har ført til snitlængder helt ned til 22 mm teoretisk snitlængde. Den kortere snitlængde må formodes at øge saftafløbet ved opsamling med snittevogn. Det kunne være en mulighed at montere en

”spildbakke” med en pumpe, så saften løbende pumpes op i læsset. Dette system er netop blevet udviklet til ACJ aflæsservogne.

Snittevognen havde også problemer med at opsamle det korte græs, men på en anderledes måde end finsnitteren. Græsset rullede foran vognens pick-up, og noget af græsset blev tabt på hver side af pick-up ’en, hvorefter de brede hjul trykkede græsset ned mod græsstubben, så spildet ikke umiddelbart var så synligt som efter finsnitteren, som beskrives nærmere i næste afsnit. På nuværende tidspunkt er andre typer snittevogne ikke undersøgt med henblik på, om arbejdet med opsamling kan gøres bedre.

Snittevognen kunne medbringe ca. 17 tons FM ved et rumindhold på 28 m³, hvilket betyder en volumenvægt på ca. 600 kg/m³. **En snittevogn kan være anvendelig på korte afstande til et gårdanlæg eller i forbindelse med en saftpressestation placeret på mark eller ved gård. Det er en forudsætning, at der konstrueres en løsning med opsamling og pumpning af saft, så spild af græssaft reduceres.**

Finsnitning

Ved forsøg på Foulum kunne det konstateres, at der var problemer med at få kort græs ind i finsnitteren. Græsset rullede rundt ved indføringssneglen og havde besvær med at komme ind til indføringsvalserne og indføringen foregik meget ujævnt. Det skal nævnes her, at der findes andre fabrikater på markedet, som formodentlig giver mindre spild grundet mere lukkede pick-up samleenheder.

Når indføringsvalserne ikke fodres tilstrækkeligt, kan knivcylinderen heller ikke snitte græsset præcist. Meget af græsset ryger lige igennem ”på langs” og bliver ikke snittet. På trods af, at maskinen var indstillet til en teoretisk snitlængde på 11 mm, blev græsset ikke snittet meget anderledes end det, der kom fra snittevognen.

Da græsset som nævnt kun var 12-15 cm langt, havde finsnitteren flere stop, hvor hele indføringen og knivcylinderen var stoppet til. Problemet kan formodentlig afhjælpes ved en større arbejdsbredde på skårlæggeren, som vil give mere materiale i skåret, eller ved direkte høst med finsnitteren med et helsædsbord.



Når græsset ikke rigtig kan komme ind i finsnitteren, ruller det rundt og kommer ud og ned igen ved pick-up'en, hvilket giver et tydeligt og uacceptabelt spild efter finsnitteren. Resultatet af finsnitterens arbejde vil meget sandsynligt være anderledes, hvis græsset er længere og ikke så gennemvædet af morgendug.

Direkte høst med finsnitter

Her blev anvendt et skærebord med en arbejdsbredde på 6,1 m bredt. Snitlængden blev indstillet til 11 mm teoretisk snitlængde.



Det var tydeligt, at indføring af materialet foregik meget mere jævnt, når finsnitteren var forsynet med helsædsbord, end når den brugte en pick-up. fremkørselshastigheden lå mellem 10 og 20 km/h.



Opsamlingen med helsædsbord var bedre end ved brug af pick-up, men der kunne forekomme striber, hvor helsædsbordet fik ikke græsset med. Forklaringen er, at det korte græs ikke glider så nemt gennem maskinen. Det blev tilsyneladende bedre, jo mere der blev kørt, og forklaringen kan være, at maskinen bliver mere "glat" i indføringsområdet under kørslen.

Modificeret skærebord

Finsnittere med skærebord er oprindeligt udviklet til at høste helsæd, som kan være byg eller hvede, der jo har en meget længere strå længde. Skærebordet til direkte høst er siden blevet modificeret, og metoden anvendes nu på de to nuværende proteinfabrikker, henholdsvis BioRefine A/S i Nybro og Ausumgård ved Holstebro. Udviklingen går også i retning af bredere skæreborde, dog endnu kun op til ca. 7 m.

Den største udfordring med finsnitteren er at tilpasse dens kapacitet til fabrikkens kapacitet. De nuværende fabrikker har en kapacitet fra 10 – 35 tons/h, hvor en typisk finsnitter har en maksimal kapacitet på 75 – 100 tons/h.

På Ausumgaard foregår høsten ved at en finsnitter med helsædsskærebord høster i marken med efterspændt vogn. Sammenkoblingen foregår med en såkaldt "Siwi" automatkobler, som giver mulighed for at spænde vognen af eller på finsnitter eller traktor på få sekunder. Når vognen er fyldt i marken, spændes den af, og chaufføren, som kører finsnitteren, flytter nu over på traktoren og kører læsset hjem, mens finsnitteren står stille, til



han kommer tilbage. Tilsyneladende er det en effektiv metode, som kun involverer en finsnitter, en chauffør og en traktor med aflæssevogn. Som noget nyt er der lavet en konstruktion med sideforskudt vogn, så hjulene fra finsnitter og vogn ikke kører i de samme spor, hvilket reducerer marktrykket. Systemet kaldes "Dog-Walk".

Ved en kørehastighed på 12 – 15 km/h er kapaciteten 6 – 7 ha/h. Mængden af frisk græs (FM) afhænger af udbyttet, som varierer fra slæt til slæt.

Opsamling af græssaft

Som noget nyt er omlæssevogn fra ACJ-maskiner forsynet med en opsamlingsbakke og en pumpe, så græssaft, som ellers ville løbe ud fra vognen, ved omlæsning, nu pumpes op på læsset. Der er undersøgelser i gang, som skal vise, hvor meget protein der tabes ved saftafløb. Er det kun overfladevand fra planterne eller er det proteinholdigt græssaft?

Forsøg med holdbarhed på AU Foulum

Holdbarhedsforsøgene skal kort omtales her, da resultaterne fra forsøgene har været medvirkende til valg af høstmetode. Forsøgene blev gennemført både i 2020, 2021, 2022 og 2023.

Forsøgene i 2020 gav anledning til følgende konklusion:

- Det er generelt ikke væsentlige forskelle på høstmetoderne.
- Det ser ud til, at der presses mere saft med de snittede høstmetoder, men til gengæld separeres der mere protein fra saften i det græs, der er høstet med Maxigræs.
- Efter otte timer bliver der ikke målt generelle negative konsekvenser for udbytter og kvalitet for nogen af høstmetoderne.
- For MaxiGrass og Finsnitter blev der målt en stigning i proteinudbyttet efter otte timer!
- Udbytter og kvalitet falder markant efter 24 timer, hvor der kun findes ti procent af det totale protein i koncentratet.

Det skal bemærkes at temperaturen under forsøgene var ca. 15 grader.

Der mangler endnu nogle resultater og en endelig konklusion fra holdbarhedsforsøgene, da resultaterne i 2021, 2022 og 2023 var forskellige. Holdbarhedsundersøgelser, har endnu ikke resulteret i entydige konklusioner, da forsøgene peger i flere retninger. Det tyder imidlertid på, at processeringen skal ske hurtigst muligt, og at græsset derfor skal transporteres ind til fabrikken og være under forarbejdning inden for 4 timer efter høst. Forsøgene er gennemført ved temperaturer under 20 grader, men det antages, at proteinnedbrydningen sker hurtigere, hvis temperaturen er højere. Fabrikken har mulighed for at opstille krav til levering indenfor dette tidsrum, og hvis tiden overskrides, bliver græsset transporteret direkte til et biogasanlæg.

Forsøgene ender formodentlig ikke med en entydig konklusion, og det vil derfor være et valg, om man foretrækker en høstmetode med mest mulig kapacitet og færrest mulige omkostninger, eller man vil vægte det størst mulige proteinudbytte.

Valget af metode vil bl.a. afhænge af prisen på protein, som også vil kunne udvikle sig i forhold til verdensmarkedet, forsyningssikkerhed m.m.

Høstomkostninger

Eksempel, hvor finsnitte høster med efterspændt aflæssevogn

HØST AF GRÆS TIL PROTEIN

Timepris finsnitte	-	2200	+	kr/time	Aflæsning	-	4	+	min/læs	antal slæt	4	✓	
Skårlægning kr/ha	-	0	+	kr/ha	Vogne antal x timeløn	-	350	+	kr/time	udbytte tons/ha	-	55	+
+ tillæg kr/ha	-	0	+	kr/ha	Hastighed i mark	-	10	+	km/h				
+ tillæg flytteomk	-	100	+	kr/ha/slæt	Effektivitet	-	80	+	%				
Vognstørrelse	-	12	+	tons	Køretid i mark/læs		7.8		min/læs				
Arbejdsbredde	-	6	+	m	Egentransport på mark	-	2	+	min/læs				
Udbytte				Tidsforbrug	Kapacitet	Kapacitet				Omkostninger			
Slet	tons/ha			min/læs	tons/h	ha/time			kr/time	kr/ha	kr/tons		
1. slet	19.3			13.8	52	2.71			2550	1040	54		
2. slet	13.8			16.9	43	3.10			2550	923	67		
3. slet	11.0			19.6	37	3.33			2550	865	79		
4. slet	11.0			19.6	37	3.33			2550	865	79		
5. slet	0.0			0.0	0	0.00			2550	0	0		
6. slet	0.0			0.0	0	0.00			2550	0	0		
Gns	55.0			17	42	3.12			2550	923	70		
				i alt						3694			

Link til model, hvor data kan ændres og tilføjes: <https://mkjeldal.dk/calc/h%C3%B8st%202023/>

Se flere eksempler og modeller i "ProteinCalc" [ProteinCalc23](#)

Eksempel på sammenstillede beregninger ud fra indtastningseksempler fra "ProteinCalc"

Omkostninger høst og transport	antal slæt	4	km	15
--------------------------------	------------	---	----	----

Beregning ved høst ud fra indtastede data				
excl transport				Høst+
	Høst	Høst	Høst	transport
	kr/ha	Tons/time	kr/tons	kr/tons
Snittevogn	3060	48	59	151
MaxiGrass	3751	19	73	256
Finsnit direkte+Vogn	3271	46	63	90
Finsnit direkte+SIWI	2883	54	56	105
Finsnit direkte+1TRV	2753	68	53	78
Finsnit direkte+2 TRV	3381	68	66	86
Skårlæg+Finsnit+2TRV	3853	83	75	94

Tab ved høst af græs til protein

Nedenstående bemærkninger, om tab ved høst af græs til protein, er alene baseret på observationer. Der er ikke målt spild ved høst af græs med forskellige høstmetoder.

Observationer i 2020

1. Ved skårlægning med bånd og umiddelbart efterfølgende opsamling med finsnitter, blev der observeret et uacceptabelt stort tab efter finsnitterens pick-up. Her drejede det sig om kort græs, 12 – 15 cm højt, høstet i september måned.
2. Direkte høst med 6 meter skærebord på finsnitter gav spild i form af striber efter skærebordet¹.
3. Opsamling med snittevogn gav en del saftafløb, som endte under snitteenheden. Desuden var der et betydeligt tab fra snittevognens pick-up, hvor græsset rullede ud til siden og blev tabt på jorden. En videreudvikling med opsamling af saft vil kunne reducere eller eliminere problemet
4. MAXIGRASS udførte det bedste arbejde i forhold til spild i mark. Der var klippet pænt uden spild og der var ingen synligt saftafløb. MAXIGRASS har dog ikke den nødvendige kapacitet, arbejdsbredden er kun ca. 2 meter og den kan ikke omlæsse til en lastbil. Den vil kunne bruges til høst og transport til gårdanlæg.

Observationer i 2021

Afgrøden var højdemæssigt uens, idet kløveren var ca. 25 cm høj, græsset kun ca. 15 cm. Stubhøjden var ca. 7- 8 cm.

1. Ved høst med MAXIGRASS blev der observeret striber af græs, som blev trykket ned af hjulene.
2. Høst med skårlægger lagt i 3 strenge, revet sammen med en storrive og samlet op med pick-up og finsnitter. Der blev konstateret spild både efter riven og efter finsnitteren.

Metoden betragtes som værende uegnet til høst af græs til protein, dels på grund af spild og dels på grund af en større risiko for forurening af græsset ved rivning.

Observationer i 2022

Afgrøden var kløvergræs, hvor rødkløveren var ca. 40 cm høj og græsset ca. 20 cm højt. Der var flere steder en del visent græs i bunden af kløvergræsmarken. På marken var der anlagt 9 meter kørespor, og der blev anvendt en skårlægger med 9 m arbejdsbredde og skårsamler udstyr. Stubhøjden ved skårlægning blev målt til 7 cm.

1. Opsamling med pick-up på finsnitter. Skåret var flere steder lagt så bredt, at der lå græs i køresporene, som finsnitteren ikke kunne samle op, hvilket gav en del spild. For at undgå spild skal der foretages en tilpasning mellem bredden på den skårlagte streng og finsnitterens pick-up.

Med 9 meter imellem køresporene, hvor vognen kører i 9 meters afstand fra finsnitteren, var der tydeligt spild af græs, som ikke rammer vognen. Spildet kunne ikke umiddelbart tilskrives forkert håndtering og indstilling eller kørselsmåde, men skyldes alene den valgte metode med 9 meter kørespor.

¹¹ Skærebordet er senere blevet modificeret og kan normalt høste uden spild. Læs mere under høst 2022.

Det er tankevækkende, at der for hver 9 meter mangler 1,20 meter kløver (60 cm i hvert spor). Det kan beregnes, at der mangler 13 % af kløverarealet. Spørgsmålet er om merudbyttet i de resterende uberørte kløveplanter kan opveje tabet, men det er ikke undersøgt.

2. Observation ved BioRefine A/S. Der blev anvendt direkte høst med finsnitter, hvor der forekom stribe i midten, når afgrøden, lucerne, var tynd (tør sommer), hvilket sandsynligvis skyldes luftstrømme. Skærebordet var videreudviklet i forhold til modellen fra 2020 og ved en almindelig afgrøde høstes der uden nævneværdigt spild

I 2023 er skærebordet hos BioRefine A/S blevet yderligere modificeret, og striber efter skærebordet er også reduceret yderligere.

Størrelsen af tabet under høst er aldrig blevet undersøgt

Det er vigtigt at være opmærksom på tab ved høst af græs til protein, som kan reduceres eller helt undgås. Ved metoder, hvor der skårlægges og efterfølgende opsamles, er der stor risiko for spild. Når der køres i kørespor, og finsnitteren skal kaste græsset langt for at nå vognen, er der risiko for spild. Den optimale metode vil være direkte høst med en integreret eller efterspændt vogn med lukkede sider og tag. Høst med snittevogn kan også ske med lukkede sider og tag, men metoden syntes mindre egnet, medmindre der sker modifikationer. Der er imidlertid kun foretaget observation fra et specifikt fabrikat.

Når der sammenlignes med almindelig ensilering af græs, bør spildet ved høst af græs til protein kunne være mindre, fordi græsset er vådt. Det betyder at de små, værdifulde bladele ikke udtørret og derfor ikke blæser så let væk fra vognen, som det ofte kan observeres ved finsnitning af fortørret græs.

Spild fra vogne ved almindelig ensilering er aldrig blevet undersøgt og kvantificeret, og ovenstående er derfor alene baseret på observationer og vurderinger.

Fortørret græs, som ensileres, taber 10 – 15 % under hele processen fra mark til foderbord. Tabet i mark og under transport ved græs til protein skønnes samlet set at være mindre end ved traditionel ensilering.

Transport af græs

Transportlogistik er udfordrende, fordi læssetid og køretid løbende ændres som følge af de aktuelle forhold, såsom ventetid og afstand til fabrik.

Læssetiden på transportkøretøjet afhænger af høstmaskinens kapacitet under de givne forhold, mens køretiden ændrer sig for hvert læs, fordi transportafstand fra mark til proteinfabrik varierer. Hvor det er muligt, kan det være fordelagtigt at samle græsarealerne i mindre afstand fra fabrikken.

Der er to faktorer, som har betydning, og det er transportkapacitet tons/h og transportomkostninger i kr/tons. Transport kan udtrykkes i tonskilometer (tonskm). Hvis 100 tons gods bliver transporteret over en afstand på 50 kilometer, er samlede antal tonskm $100 \text{ tons} \times 50 \text{ kilometer} = 5000 \text{ tonskm}$. Enheden bruges ofte til at kvantificere den samlede godstransport i forskellige sektorer som vejtransport, skibstransport, togtransport osv. Måleenheden kan anvendes

til at analysere og evaluere transportbehov, energiforbrug og miljøpåvirkning i forbindelse med godstransport.

Ved høst af græs til protein er den høstede mængde typisk 50-60 tons/ha, men det kan variere meget afhængig af vejre og antallet af slæt.

For hver 100.000 ha med kløvergræs til protein skal der typisk behandles ca. 5,5 mio. tons græs. Det er hensigtsmæssigt at minimere transporten, enten ved at presningen foregår der, hvor græsset høstes, eller der hvor restproduktet, pulpen, skal anvendes.

Typisk vil der fra 55 tons frisk græs blive 37 tons græssaft. Ved høst af 100.000 ha vil der være næsten 2 mio. tons mindre at transportere, hvis der kun skal transporteres saft. Er det muligt at udfælde protein lokalt og kun transportere proteinpasta, kan transportmængden reduceres til ca. 5 tons/ha eller i alt 0,5 mio. tons. Fordeling af mængderne kan studeres nærmere i ProteinCalc.

Hvis hele høsten fra de 100.000 ha skal transporteres som frisk græs med 35 tons/læs, skal der i alt transporteres 5,5 mio. tons/35 tons = 157.000 læs. Hvis kun saften skal transporteres, drejer det sig 3,7 mio. tons/38 tons = 97.000 læs. Det er en besparelse på 60.000 læs.

Varer det i gennemsnit 1 time at køre et læs frem og tilbage, og timeprisen er 800 kr., er der en besparelse på 48 mio. kr. for hver 100.000 hektar med kløvergræs, hvis kun saften skal transporteres. Dette simple regnestykke viser at det har stor økonomisk betydning at planlægge placering af afgrøder i forhold til processering af høsten, så mængden, der skal transporteres, begrænses. Det giver ikke kun økonomiske fordele, det reducerer også CO2 udledningen. Det mindsker samtidig presset på vejene og reducerer støjgener fra transporten.

Transportbegreber

1. **Transportlængde:** Afstanden fra mark til fabrik
2. **Kørelængden:** Den dobbelte afstand, da lastbilen både skal køre til fabrik og tilbage til mark.

Returlæs

Ved normal transport køres der med læs den ene vej og uden læs på tilbagevejen. Det kan være en mulighed at køre frisk græs (FM) ind på fabrikken og tage pulp med tilbage til et biogasanlæg eller et kvægbrug. Beregningsmæssigt skal der tages højde for, at pulpen kun udgør ca. 30 % af den totale grøntmasse (FM). En anden mulighed er at transportere grønsaft ind på fabrikken og brunsaft med retur. Brunsaften udgør ca. 85 % af grøntsaften, hvilket ikke giver beregningsmæssige udfordringer ved returlæs. Når der kan køres returlæs med væske, reduceres kørslen med 50 %.

Ventetid på læs

Det har stor betydning for både transportkapacitet tons/h og transportomkostninger kr./tons, hvor længe transportkøretøjet må vente på læs. Når høstmaskine eller en traktor med vogn skal tømme ad flere gange, før lastbilen har fået læs, jo mindre optimalt udnyttes lastbilkapaciteten. Typisk skal en 70-80 m³ sættevogn fyldes 3 gange med markkøretøj, før der er fuldt læs og det tager typisk 20 minutter. Ved en timeløn på 800 kr. koster det 267 kr./læs. Skal der for hver 100.000 ha køres 157.000 læs, betyder det en ventetidsomkostning på 41,8 mio. kr. Det indikerer, at det er værd at finde løsninger, der kan reducere ventetiden. Det kan enten være en ekstra anhænger, eller en

ekstra sættevogn eller en decideret omlæsseanordning. Med lynskift er det en mulighed at spænde en tom anhænger eller sættevogn af, for herefter at tage den fyldte vogn med til fabrikken. Modellen med ekstra anhænger har været anvendt i grønttørreindustrien.

Afslutning hos leverandør

Når en mark er afsluttet hos en leverandør, betyder det ikke, at transportkøretøjet nødvendigvis er fyldt op. Der er måske kun halvt læs eller mindre. Det giver to muligheder, enten køres til fabrikken med reduceret læs, eller køretøjets vejeudstyr fastlægger læsset størrelse, hvorefter der køres videre til næste kunde, og læsset fyldes op. Den valgte metode bør fremgå af kontrakten med græsleverandøren. Hvis fabrikken har lejet alle sine arealer af landmænd, er der færre udfordringer med restlæs.

Kørsel mellem leverandører

Jo mindre arealer hos den enkelte leverandør, jo oftere skal der flyttes høstmaskiner, følgekøretøjer og transportkøretøjer, ligesom skærebordet skal afmonteres og transporteres på en skærebordsvogn. En god planlægning i forhold til ruter og arealernes placering fra fabrikkens side kan bidrage til en effektiv logistik. Bemærk at der i ProteinCalc er indsat et beløb kr/ha/slæt til at dække flytteomkostninger.

Transportberegninger

For at beregne transportomkostninger og transportkapacitet er der brug for følgende data:

- Timepris omregnet til minutpris.
- Transportkøretøjets lastevne.
- Transportkøretøjets gennemsnitlige kørehastighed på vej.
- Fyldetid.
- Tømmetid.
- Tid for tilkørsel og vejning.

Eksempel

Timepris 800 kr. = 13,33 kr./minut

Lastevne: 30 tons

Hastighed: 50 km/h

Fylde-, tømme og tilkørsel $4+4+2 = 10$ min

I alt koster fylde-tømme og tilkørsel $13,33 \times 10 = 133,3$ kr. eller i alt 133,3 kr. eller **4,44 kr./tons**.

Kørsel på vej: På 60 minutter køres der 50 km/h = 0,83 km/minut. Omkostning pr. km bliver således $13,33 \text{ kr./minut} : 0,83 = 16,06 \text{ kr./km}$. Divideres med lastevnen koster det $16,06 : 30 = 0,53 \text{ kr./km}$. Men da der også skal køres retur, bliver resultatet $2 \times 0,53 = \mathbf{1,07 \text{ kr./km}}$

Transportomkostningerne i dette eksempel bliver således **4,44 kr./tons + 1,07 kr./km/tons**

10 km transportafstand koster således $4,44 + 10,70 = 15,14 \text{ kr./tons}$

20 km transportafstand koster således $4,44 + 21,40 = 25,84$ kr./tons

Omkostningerne ved at køre en ekstra km (marginalomkostningen) er 1,07 kr./tons.

Udgør proteinindholdet 3% af totalmængden, er der 900 kg protein i hvert læs, og regnestykket kan udtrykkes således: 13,3 øre/kg protein + 3,2 øre/km

Det koster således 3,2 øre/kg protein at køre en ekstra km med frisk græs. Lignende regnestykker kan udfærdiges for transport af pulp og saft.

Beregningerne kan også omregnes til kr./kg tørstof, når tørstofindholdet i det frisk høstede græs er kendt.

Transportkapacitet

Beregnes således Timepris: kr./tons = tons/time

Eksempel:

Ved 10 km $800:15,14$ tons/time = 53 tons/time

Ved 20 km $800:25,84$ tons/time = 31 tons/time

Transportberegninger

Lastbil transport				mKjeldal
Læsstørrelse	-	30	+	tons
Pris	-	800	+	kr/time
Fylde/læssetid	-	4	+	min
Pladstransport	-	2	+	min
Tømmetid	-	4	+	min
Hastighed GNS.	-	50	+	km/h
Køreafstand	-	20	+	km
Resultat		Returlæs	Nej	✓
kr/tons ex transp		4.4	kr	
kr/tons/km		1.1	kr	
Min/læs ialt		58	min	
kr/tons ialt		26	kr/tons	
Kapacitet		31	tons/time	

Ventetid – hvad betyder det?

Lastbil transport					Lastbil transport ventetid				
Læstørrelse	-	30	+	tons	Læstørrelse	-	30	+	tons
Pris	-	800	+	kr/time	Pris	-	800	+	kr/time
Fylde/læsetid	-	4	+	min	Fylde/læsetid	-	20	+	min
Pladstransport	-	2	+	min	Pladstransport	-	2	+	min
Tømmetid	-	4	+	min	Tømmetid	-	4	+	min
Hastighed GNS.	-	50	+	km/h	Hastighed GNS.	-	50	+	km/h
Køreafstand	-	20	+	km	Køreafstand	-	20	+	km
Resultat	Returlæs		Nej	✓	Resultat	Returlæs		Nej	✓
kr/tons ex transp	4.4		kr		kr/tons ex transp	11.6		kr	
kr/tons/km	1.1		kr		kr/m3/km	1.1		kr	
Min/læs ialt	58		min		Min/læs ialt	74		min	
kr/tons ialt	26		kr/tons		kr/tons ialt	33		kr/tons	
Kapacitet	31		tons/time		Kapacitet	24		tons/time	

Link til model: [Transport ventetid](#)

Model til mobiltelefon



Betydning af returlæs

Transport					Transport				
Læstørrelse	-	38	+	tons	Læstørrelse	-	38	+	tons
Pris	-	800	+	kr/time	Pris	-	800	+	kr/time
Fylde/læsetid	-	4	+	min	Fylde/læsetid	-	4	+	min
Pladstransport	-	2	+	min	Pladstransport	-	2	+	min
Tømmetid	-	4	+	min	Tømmetid	-	4	+	min
Hastighed GNS.	-	50	+	km/h	Hastighed GNS.	-	50	+	km/h
Køreafstand	-	20	+	km	Køreafstand	-	20	+	km
Resultat	Returlæs		Nej	✓	Resultat	Returlæs		Ja	✓
kr/tons ex transp	3.5		kr		kr/tons ex transp	3.5		kr	
kr/tons/km	0.8		kr		kr/m3/km	0.4		kr	
Min/læs ialt	58		min		Min/læs ialt	68		min	
kr/tons ialt	20		kr/tons		kr/tons ialt	12		kr/tons	
Kapacitet	39		tons/time		Kapacitet	67		tons/time	

Link [Returlæs](#)

I ovenstående eksempel reduceres omkostningerne fra 20 kr./tons til 12 kr./tons når der køres 20 km med returlæs.

Da pulpen kun udgør 30 % af friskmængden er det muligt at køre med returlæs på 30 % af læssene. Der skal dog tages højde for, at pulpen har en lavere densitet på ca. 300 kg/m³, da tørstofindholdet er højere, hvilket begrænser et læs til 24- 25 tons ved 80 m³ trailer.

Ved returlæs på 100.000 hektar med 55 tons/ha drejer det sig om 5,5 mio. tons á 8 kr. = 44 mio. kr. Ved en besparelse på 30 % bliver resultatet 15 mio. kr.

Safttransport

Tankvogn uden returlæs

ØKJeldal

Læsstørrelse

-

38

+

tons

Pris

-

900

+

kr/time

Fylde/læsetid

-

4

+

min

Pladstransport

-

2

+

min

Tømmetid

-

4

+

min

Hastighed GNS.

-

50

+

km/h

Køreafstand

-

20

+

km

Resultat

Returlæs

Nej

▼

kr/tons ex transp

3.9

kr

kr/tons/km

0.9

kr

Min/læs ialt

58

min

kr/tons ialt

23

kr/tons

Kapacitet

39

tons/time

Læsstørrelse

-

38

+

tons

Pris

-

900

+

kr/time

Fylde/læsetid

-

4

+

min

Pladstransport

-

2

+

min

Tømmetid

-

4

+

min

Hastighed GNS.

-

50

+

km/h

Køreafstand

-

20

+

km

Resultat

Returlæs

Ja

▼

kr/tons ex transp

3.9

kr

kr/m3/km

0.5

kr

Min/læs ialt

68

min

kr/tons ialt

13

kr/tons

Kapacitet

67

tons/time

Link til tankvogn: [tankvogn](#)

Det mest effektive er at transportere saft, da der kan medbringes 38 tons grønsaft eller brunsaft på en 4-akslet tanksættevogn.

Volumenvægt har betydning for transporten

MaxiGrass høster græsset i fuld længde, hvilket betyder at en m³ vejer 300 kg. Da MaxiGrass har et rumindhold på 17 m³, kan den transportere 5.100 kg ad gangen.

Når en finsnitter høster græsset med en snitlængde på 11 mm, vejer det 5 – 600 kg/m³. Har frakørselsvognen et rumindhold på 40 m³, kan der medbringes 20 – 24 tons/læs ad gangen, mens en lastbil med 70 m³ trailer kan medbringe 35 – 42 tons/læs.

Volumenvægten er meget afhængig af tørstofindholdet i det høstede græs. Når der høstes tidligt på dagen, hvor planterne er fugtige, øges rumvægten, fordi der medbringes mere vand, hvilket også kan give udfordringer med saftafløb.

Krav til transport til fabrikken vedrørende tidsrum fra høst til processing

De forløbelige holdbarhedsundersøgelser, som er foretaget af AU Foulum, har endnu ikke resulteret i entydige konklusioner, da forsøgene peger i flere retninger. Det tyder imidlertid på, som tidligere omtalt, at processeringen skal ske hurtigst muligt, og at græsset derfor skal transporteres ind til fabrikken og være under forarbejdning inden for 4 timer efter høst.

Hvis fabrikken ønsker at køre i døgndrift, kan det være et ønske fra høstoperatøren, at der ikke køres igennem om natten, men at der er et bufferlager, som er høstet først på aftenen, hvor temperaturen er lavere. Der mangler imidlertid data fra sammenhængen mellem udetemperatur

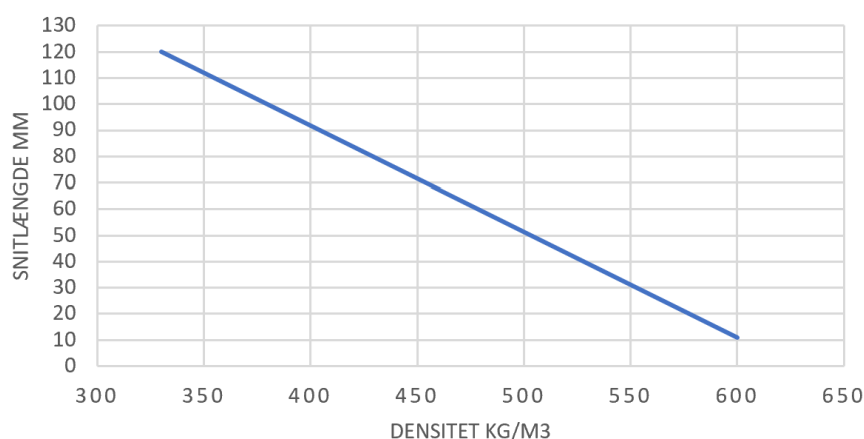
og græstemperatur i løbet af et døgn. Der kan dog være mange grunde til, at proteinfabrikkerne planlægger at holde otte til ti timers pause i døgnnet, både af hensyn til høstforhold og medarbejdere.

Snitlængdens betydning for transportkapacitet

Finsnitteren har mulighed for at variere snitlængden typisk fra 4 – 22 mm. Når hver anden kniv afmonteres, fordobles snitlængden. Det gør finsnitteren velegnet til at tilpasse snitlængden til afgrødens vandindhold, og dermed reducere saftafløbet. En længere snitlængde reducerer rumvægten, men reducerer også saftafløb under fugtige forhold. Der findes ingen entydige undersøgelser over sammenhængen mellem variation af snitlængde med finsnitteren og volumenvægten. Der kan dog interpoleres med baggrund i måling af volumenvægten ved høst i fuld længde samt volumenvægten ved 11 mm snitlængde. Når snitlængden øges, reduceres kraft- og brændstofforbruget og dermed også CO₂ udledningen. Fabrikken vil kunne lade yderligere findeling indgå som en del af processen, og derfor er det relevant at lade transport, håndtering samt saftspild og proteinnedbrydning være afgørende for valg af snitlængde i marken.

Snitlængde og densitet

SNITLÆNGDE OG DENSITET



Hvis vi antager, at der er en lineær sammenhæng mellem densitet og snitlængde, når græs fra finsnitter med 11 mm teoretisk snitlængde har en densitet på 600 kg/m³, og at helt usnittet græs med en længde på 120 mm har en densitet på 330 kg/m³. Hvis en lineær sammenhæng er til stede, viser kurven at en snitlængde på 50 mm giver en densitet på 500 kg/m³. De forsøg, som ligger bag denne figur, er foretaget med høst af græs med over 80 % vandindhold. Sammenhængen ved andre vandprocenter kendes ikke. Densiteten i græspulp er som nævnt noget lavere, da tørstofindholdet er 30 – 35 %.

Høst og transportmetoder hos græsproteinfabrikker.

BioRefine A/S

I forsøget indgik en finsnitter, en eller to frakørselsvogne og en eller to lastbiler. Skærebordet på finsnitteren var modificeret, så mængden af striber i marken blev reduceret. Rent teknisk er

afstanden mellem skiver og indføringstromle gjort kortere, fordi græs til protein er kortere end helsæd, som skærebordet oprindelig var bygget til.

Spild fra vognene

Når det blæser meget fra siden, er svært at ramme vognen med det snittede materiale. Det er umiddelbart vanskeligt at kvantificere spildet, det ser muligvis værre ud end der rent faktisk mistes. Det reelle tab er ikke blevet undersøgt og resultatet kendes derfor ikke.

Spildet vil kunne reduceres, hvis der monteres højdeindstillelige sideplader på vognene. Det giver mulighed for at hæve en sideplade til læ for vinden, så det bliver lettere at ramme vognen.

En anden sikker måde at reducere spildet på, er ved spænde vognen efter finsnitteren og kun have én åbning foran i vognen, men lade toppen og siderne være dækket med et finmasket net.

Observationer og bemærkninger om den valgte metode

Umiddelbart virker det voldsomt med en finsnitter, to traktorer med vogne og to lastbiler. Det er ønskeligt at operere med en større arbejdsbredde, gerne på 12 meter. Det begrænser spor i marken og dermed udbyttetab i lucerne og kløver. Den større arbejdsbredde kan kun opnås ved at skårlægge afgrøden med en 12 meter skårlægger foran finsnitteren, eller ved at montere et bredere skærebord direkte på finsnitteren.

Andre metoder til overvejelse

1. En skårlægger med 12 meter arbejdsbredde, finsnitter med pick-up og vogn, der rummer anslået 15 tons. Derved køres der kun med traktorer og vogne i 12 meter kørespor. Metoden er afprøvet og delvist forladt igen, bortset fra i tørre perioder om sommeren, hvor udbyttet er lavt, og ved lavere temperaturer om efteråret, hvor det skønnes, at græsset har en længere holdbarhed. Dermed kan kapaciteten øges med henblik på at reducere natkørsel.
2. Udvikling af 9 eller 12 meter letvægtsskærebord med skiver eller med kniv, som vejer mindre og er lettere at trække, til montering foran på finsnitteren. Et skærebord, som kører/støtter på egne hjul, og som kan klappes op, når der flyttes mellem marker og som kan monteres på en skærebordsvogn, når der skal flyttes på offentlig vej.
3. Skærebordsvognen kan være opbygget som en lav blokvogn til at efterspænde lastbilen. Når der skal flyttes på offentlig vej, afmonteres sættevognen til transport af afgrøder, og skærebordsvognen (blokvognen) efterspændes i stedet. Her tænkes på anvendelse af løsninger som den fra SIWI. Det giver mulighed for at foretage til- og frakobling af skærebord og placering på skærebordsvogn, kan foregå uden at piloten forlader finsnitterens førersæde. Skift mellem sættevogn og skærebordsblokvogn skal ligeledes kunne foregå, uden at chaufføren forlader sædet.

Forslag til en mere effektiv metode til høst af græsprotein

Med et køretøj i mark med 9-12 meter arbejdsbredde og et til tre transportkøretøjer, afhængig af afstand.

I marken kører en finsnitter med 9- 12 meter skærebord. Finsnitteren kører i de faste kørespor. Efter finsnitteren er der spændt en lukket aflæssevogn, så der ikke spildes på marken. Vognen har store, drejbare bogie hjul med lavt dæktryk som kan køre i "Dog-Walk", eller den er forsynet med bæltter. Når vognen kan indeholde ca. 15 - 18 tons, kan to aflæsninger fylde lastbilen med ca. 30 - 36 tons. Finsnitterens maksimale kapacitet er så stor, at lastbilen kun venter 10 minutter på et læs, hvis det første læs er klar til aflæsning, når lastbilen ankommer.

Når der skal skiftes mellem kunder, kan skærebordet monteres på blokvogn og transporteres til den nye kunde. Lastbilen kører tom tilbage og henter sættevognen til transport af græs. Med en ikke alt for lang afstand til den næste kunde, vil lastvognen kunne være tilbage og klar, når finsnitteren har høstet det første læs.

Flytning på korte afstande mellem marker via markveje kan lettes ved at hæve skærebordet de yderste tre meter i hver side, hvor der i forvejen er bevægelige led, der er beregnet til at følge terræn.

Høst og transport på Ausumgaard

På Ausumgaard foregår høsten ved at en finsnitter med helsædsskærebord høster i marken med efterspændt vogn. Sammenkoblingen foregår med en såkaldt "SIWI" automatkobler, som gør det muligt at spænde vognen af eller på en finsnitter eller traktor få sekunder. Når vognen er fyldt i marken, spændes den af, og chaufføren, som også kører finsnitteren, kører nu læsset hjem til gården med en traktor. På længere afstande indsættes en ekstra mand, traktor og vogn.

Tilsyneladende en effektiv metode, som kun involverer en finsnitter, en chauffør og en traktor med aflæssevogn over korte afstande. Som noget nyt er der udarbejdet en konstruktion, så vognen sideforskydes. Det giver den fordel, at hjulene fra finsnitter og vogn ikke kører i de samme spor og dermed bliver marktrykket reduceret. Fabrikens kapacitet er ca. 20 tons, hvilket er meget mindre end finsnitterens kapacitet.

Traktortransport med "SIWI"

Traktor transport SIWI				ØKJeldal	Lastbil transport				
Læsstørrelse	-	18	+	tons	Læsstørrelse	-	30	+	tons
Pris	-	750	+	kr/time	Pris	-	800	+	kr/time
Fylde/læssetid	-	15	+	min	Fylde/læssetid	-	20	+	min
Pladstransport	-	2	+	min	Pladstransport	-	2	+	min
Tømmetid	-	2	+	min	Tømmetid	-	4	+	min
Hastighed GNS.	-	30	+	km/h	Hastighed GNS.	-	50	+	km/h
Køreafstand	-	10	+	km	Køreafstand	-	10	+	km
Resultat	Returlæs		Nej		Resultat	Returlæs		Nej	
kr/tons ex transp	13.2		kr		kr/tons ex transp	11.6		kr	
kr/tons/km	2.8		kr		kr/m3/km	1.1		kr	
Min/læs ialt	59		min		Min/læs ialt	50		min	
kr/tons ialt	41		kr/tons		kr/tons ialt	22		kr/tons	
Kapacitet	18		tons/time		Kapacitet	36		tons/time	

Link til model [Traktortransport](#)

Andre muligheder for høst og transport, hvor protein fra græs anvendes til henholdsvis til foder og human ernæring.

Ved de nuværende metoder bliver den samlede proteinafgrøde transporteret ind til en proteinfabrik, hvorefter grønsaften presses ud af afgrøden og viderebearbejdes. Restprodukterne pulp og brunsaft bliver transporteret tilbage til anvendelsesstedet, eller det finder anvendelse på stedet som på Ausumgaard, hvor der er et biogasanlæg, eller hvor der er et større kvægbrug.

Hvis ikke restprodukterne anvendes på stedet, vil der blive foretaget både ind- og udtransport af store mængder græs, pulp og brunsaft.

Saftpresning med flytbare anlæg

Et andet koncept kunne være saftpresning med et flytbart anlæg. Det flytbare anlæg kan placeres i nærheden eller i forbindelse med høsten og der er flere oplagte muligheder:

1. På et kvægbrug, hvor pulpen og brunsaften kan anvendes.
2. På et planteavlsbrug, hvor pulpen kan sælges videre og brunsaften anvendes til gødning.
3. På et biogasanlæg, som kan bruge både pulp og brunsaft. Det høstede græs transporteres til biogasanlægget, hvor grønsaften presses ud med det flytbare anlæg.
4. På et svinebrug, hvor den friskpressede grønsaft kan indgå som en betydelig del i et vådfodrings system. Grønsaften anvendes direkte til foder og der sker ingen proteinudvinding

Transport af grønsaft og returlæs med brunsaft

Grønsaften bliver efter udpresning transporteret til en proteinfabrik, hvor den videre proces foretages. Brunsaften kan køres tilbage som returlæs.

Ved kun at foretage transport af grønsaft, som vi kalder (Trin 1) i udviklingen, skal der kun transporteres ca. 65 % i forhold til den samlede afgrødemængde, hvilket sparer både brændstof og giver en mindre CO2 udledning. Der spares tid, og metoden forenkler opbygning af fabrikken, når der kun skal modtages grønsaft, der skal forarbejdes til foder og/eller humant protein.

I det nye koncept indgår en yderligere koncentrerings (Trin 2) af det produkt, som skal transporteres til proteinfabrikken. Det sker ved at det flytbare anlæg udvikles til at behandle grønsaften yderligere, så der kun skal transporteres ca. 10 % af den oprindelige afgrødemængde ind til fabrikken. Nu er der kun et koncentrat tilbage, som fabrikken færdigbearbejder til enten foder og/eller human anvendelse.

Store besparelser ved transport

Transporten bliver både reduceret og forbedret, når grønsaften eller koncentrat transporteres i lukkede tankvogne med rumindhold op til 38 m³. Ved den nuværende metode transporteres hele den friske afgrøde til fabrikken, typisk transporteres 25 – 30 tons i åbne lad. Alene ved at nøjes med transport af grønsaft, ligger der en stor besparelse og en endnu større besparelse ved transport af koncentrat. Samtidig mindskes risikoen for udefrakommende forurening.

Et regneeksempel på transport af grønsaft (65 %) i forhold til transport af den samlede afgrøde:

100.000 ha med et frisk udbytte på 50 tons afgrøde/år, som høstes 5 gange årligt. For hver hektar proteinafgrøde vil der kunne spares transport af 50 tons/ha $\times 0,35 = 17,5$ tons svarende til 0,5 læs. Ved 35 tons/læs og 100.000 ha bliver det 50.000 læs.

Køres der 3 km/liter vil der ved en transportafstand på 20 km (40 km kørsel/læs) blive forbrugt 13 liter diesel/læs eller i alt 650.000 liter. Det svarer til en CO₂ udledning på 650.000 liter $\times 2,7 = 1.755$ tons CO₂/100.000 Ha.

Den økonomiske gevinst ved den sparede transport, kan beregnes til 50.000 læs $\times 800$ kr. = 40 mio./100.000 ha under forudsætning af, at der køres 1 læs/time og timeprisen er 800 kr./time.

Beregning af transport af koncentrat (Trin 2) som udgør 10 % af den samlede mængde græs:

For hver hektar proteinafgrøde vil der kunne spares transport af 50 tons/ha $\times 0,90 = 45$ tons svarende til 1,3 læs ved 35 tons/læs. For 100.000 ha drejer det sig om 103.000 læs.

Køres der 3 km/liter vil der ved en køreafstand på 20 km (40 km kørsel/læs) blive forbrugt 13 liter diesel/læs eller i alt 1.339.000 liter. Det svarer til en CO₂ udledning på 1.339.000 liter $\times 2,7 = 3.615$ tons CO₂/100.000 Ha.

Den økonomiske gevinst, ved den sparede transport, kan beregnes til 103.000 læs $\times 800$ kr. = 82,4 mio. kr./100.000 ha, når der køres 1 læs/time og timeprisen er 800 kr./time.

Koncentrat giver nye muligheder for proteinfabrikker, fordi koncentratet kan produceres med større afstande fra fabrikken, da transportomkostningerne er lavere.

Der forventes et samlet areal på 300.000 ha til proteinproduktion, hvilket giver 3 gange større besparelse end ovenfor beregnet.

Hvem kan have fordele ved mobil/flytbar saftpresser?

1. Biogasanlæg, både traditionelle og økologiske, da de har et mål om at øge produktionen af gas, og økologiske landmænd efterspørger økologisk gødning til deres marker. For biogasanlægget kan det være en fordel at placere en flytbar saftpresser ved anlægget, frem

for at skulle opføre en hel fabrik. Det friske græs transporteres til biogasanlægget, hvor grønsaften presses ud og transporteres til en proteinfabrik. Brunsaften kommer med tilbage som returlæs, og pulp og brunsaft anvendes til biogasproduktion. Alternativt, afhængig af køreafstanden, transporteres kun pulp til biogasanlægget.

2. En anden mulighed er at blande pulp med snittet halm og brunsaft til anvendelse i et biogasanlæg. Grønsaften transporteres til fabrik og brunsaften transporteres tilbage til landbruget eller direkte til biogasanlæg. Pulpen udgør ca. 30 % af den samlede afgrøde.
3. Et kvægbrug, som vil anvende pulpen til foder og brunsaften til gødning, opnår den fordel, at den friske pulp har en høj værdi som foder, og saftpresningen er tilpasset det resterende proteinindhold i pulpen. På kvægbruget bliver pulpen på ejendommen til foder, grønsaften køres til en proteinfabrik og brunsaften køres tilbage som returlæs og bringes efterfølgende ud på marken som gødning.
4. Et kvægbrug kan i forbindelse med høst af frisk græs køre græsset igennem en skruepresser og herefter pumpe det over i en køletank, som også kendes ved mælkeproduktionen. Det overskydende protein kan således sælges fra gården og den frisk pulp opfodres dagligt. Brunsaften køres retur og anbringes i gårdens gylletank.
5. Et planteavlsbrug kan anvende konceptet på samme måde som et kvægbrug, hvor den emballerede pulp i wrapballer af høj kvalitet bliver en salgsvare ligesom grønsaften eller koncentratet. Brunsaften anvendes som gødning. Yderligere vil en planteavler få stor effekt i form af et godt og varieret sædskifte.
6. Et svinebrug vil, i lighed med planteavleren, opnå et bedre sædskifte, og samtidig kunne bruge grønsaften direkte i en vådfoder blanding som en andel af proteinet.

Økonomi for landmanden.

De forløbelige beregninger viser, at der kan være en økonomisk fordel, når der sammenlignes over til den kendte metode, hvor den friske proteinafgrøde transporteres ind til en fabrik, og hvor pulp og brunsaft efterfølgende transporteres tilbage til anvendelsesstedet.

Fordele for proteinfabrikken

Det bliver meget mere enkelt at bygge en proteinfabrik, når den kun skal modtage grønsaft eller måske en gang i fremtiden et koncentrat. Al transport sker i lukkede tankbiler og det er en langt mere effektiv metode, sammenlignet med transport af frisk græs.

Tankbiler kan komme til fabrikken hele døgnet og pumpe grønsaft eller koncentrat over i tanke. Det foregår med lavt lydniveau. Inden tankbilen forlader fabrikken, kan den blive fyldt med eventuelle reststoffer, som skal køres til et anvendelsessted som returlæs.

Det må forventes, at den reducerede transport og den mindre støj fra selve proteinfabrikken vil gøre det langt lettere at få miljøgodkendelser.

Det vil give en mere enkel produktion på fabrikken, når der ikke længere skal foretages udpresning af saft mv., og der kun skal være fokus på slutproduktet.

Med hensyn til sporbarhed, vil det altid være muligt at oplyse, hvilken landmand der leverer varen, data fra dennes marker, hvorfra og hvornår der er høstet samt NIR-analyser på den friske afgrøde, et udstyr, som allerede findes på mange høstmaskiner.

Fabrikken vil kunne opstille særlige krav til grønsaftens eller koncentratets kvalitet med hensyn til forurening af fremmedstoffer, da de kan sorteres fra under høstprocessen. Med hensyn til produktets friskhed vil data for tidspunkt for høst, saftpresning og fremstilling af koncentrat kunne fastlægges. Ved overskridelse af fastlagte kriterier bliver det nemt at anvende grønsaften eller koncentratet til andet formål.

Robotter til høst af afgrøder til protein

Robotteknologien er en væsentlig del af fremtiden for udbringning af gylle og høst af afgrøder til protein. Teknologien er klar og venter kun på at blive taget i brug. Høstrobotten og/eller servicrobotten lægger af i en bufferstation, som bevæger sig frem efterhånden som marken høstes. Lastbilen kører hen og får et helt læs ad gangen og skal som udgangspunkt ikke vente på at blive fyldt op.

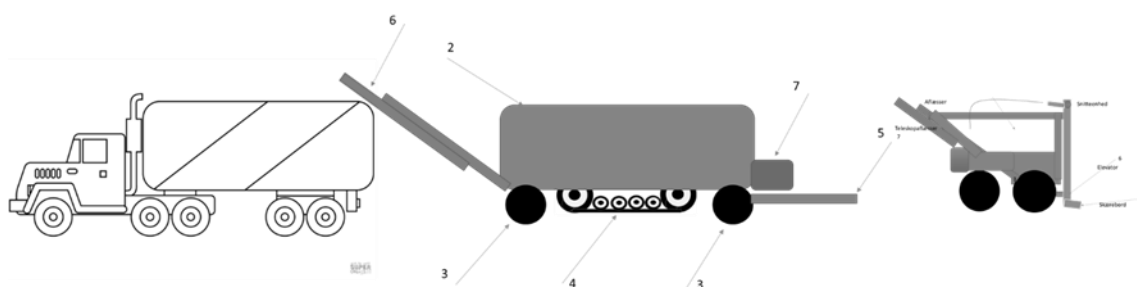
Det er chaufføren på lastbilen, som sammen med maskinstationens/fabrikkens administration holder øje med robotterne og kører frem med bufferstationen. Robotterne er lette og kan køre skånsomt på marken uden egentlige kørespor. Ved flytning er det f.eks. en mulighed at køre robotterne ind i bufferstationen og flytte dem med lastbiler, som om de var sættevogne. Standarden bliver formodentlig, at gylleudbringning og høst af afgrøder fremover sker med en eller flere robotter, evt. et andet køretøj, suppleret med en buffer-robot.

Ved høst af afgrøder bliver den høstede afgrøde transporteret hen til buffer-robotten, hvorfra der kan omlæsses til en lastbil eller et hvilket som helst transportkøretøj. Ved udbringning af gylle bringer gylletrailereren gyllen ud til buffer-robotten, hvorfra robotter eller andre køretøjer fortager udbringning på marken.

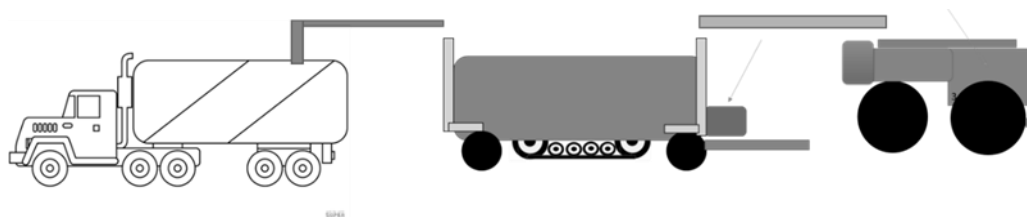
Ved gylle- og høstrobotter forstås autonome enheder til høst af afgrøder fra landbruget. Ved servicrobotter forstås robotter, som foretager marktransport til og fra en buffer-robot med henholdsvis høstet afgrøde og gylle eller andre gødningsstoffer.

I marken kan overførslen ske ved en sammenkobling af en servicerobot og en gylle/afgrødehøst robot, uden at køretøjerne holder stille. Servicrobotten kan hente gyllen eller aflevere den høstede afgrøde ved buffer-robotten. Buffer-robotten følger med på forageren, efterhånden som arbejdet skrider frem. Den er forsynet med dæk og/eller bælte med fremdrift til brug i marken og

med transporthjul, som bruges ved transport på vej.



Græshøst



Gylleudbringning

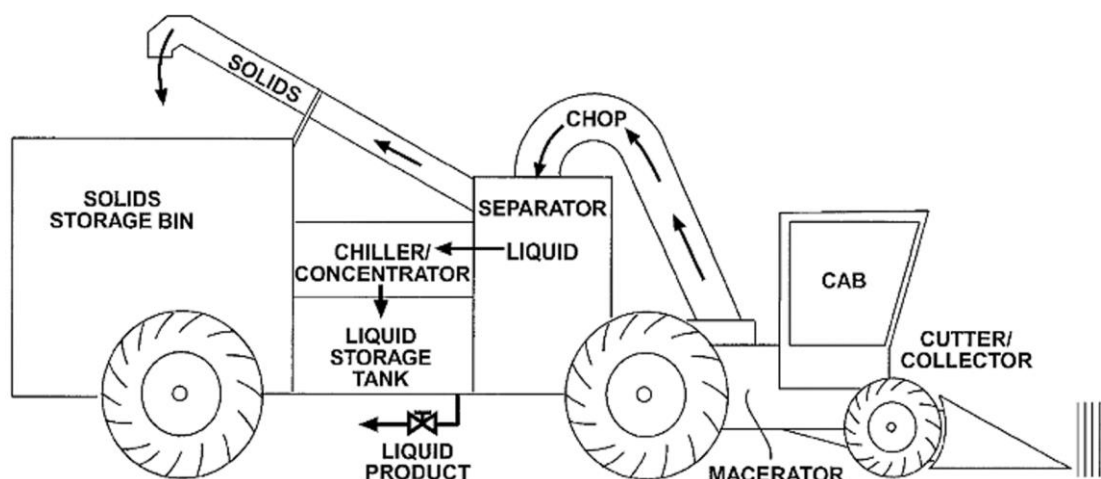
Bufferrobotten består af udskiftelige lad og tanke til henholdsvis høstede afgrøder og gylle. En høstet afgrøde kan være græs til proteinproduktion, men bufferrobotten kan også bruges til korn eller rodfrugter.

Ladet til omlæsning af afgrøder kan være forsynet med en aflæsser, som både kan læsse bagud eller til en af siderne. Aflæsning fra buffer-robotten sker enten til et transportkøretøj eller til en tilkoblet anordning, som behandler afgrøden. Det kan være en saftpresser eller en presser som komprimerer afgrøden. Når buffer-robotten anvendes til gylle, er den forsynet med en beholder af en størrelse, som er tilpasset transportkøretøjets lasteevne. Tanken til gylleudbringning er særligt indrettet med henblik på hurtigere tømning og imødegåelse af bundfald, ved at rør til påfyldning- og aflæsning er ført ned til bunden, og sammenkoblingen sker med en tæt ventil.

Buffer-robotten er forsynet med sin egen motor, som drives af tilgængeligt klimavenligt brændstof eller en elmotor med genopladeligt batteri. Buffer-robotten er forsynet med to eller flere aksler og/eller en bæltesection for skånsom kørsel på markens forager. Bæltesectionen har en drivordning, så den under bevægelse flytter buffer-robotten frem på forageren, efterhånden som arbejdet skrider frem.

Chaufføren på gylletransportkøretøjet kan betjene buffer-robotten med en trådløs betjening. Ved transport på offentlig vej kan bæltesectionen hæves, og robotten transporteres i tom tilstand på to eller flere hjulaksler efter et andet køretøj.

Andre ideer



Ovenstående er et forslag fra et US patent fra 2003.

Høst af græs til bioraffinering som maskinstationsydelse

Opgaven med høst af græsprotein er meget parallel til den høst af græs, som de tidligere tørrestationer stod for. De havde som hovedregel aftaler med de lokale maskinstationer, som jo varetager årstidsbestemte høstopgaver parallelt med alle øvrige landbrugsopgaver.

For maskinstationerne er nye arbejdsopgaver mest interessante, når der kan anvendes eksisterende materiel. Nedenstående er en vurdering af maskinstationernes fordele og indtjening ved proteinhøst. Vurderingen tager udgangspunkt i grovfoderhøst, som den kendes i dag. Der anvendes gennemsnitsomkostninger, som varierer med baggrund i både maskinstørrelser og de lokale forhold. Der findes ingen undersøgelser som afdækker denne problemstilling fuldstændigt, og derfor er der anvendt tal fra forskellige kilder. Det vil være relevant at afdække de faktiske kapaciteter og omkostninger, når høst af græs til bioraffinering er blevet realiseret i et tilstrækkeligt omfang.

Grovfoderhøst til sammenligning

Høst af græs til ensilering er en opgave, som meget typisk varetages af maskinstationer både i Danmark og de øvrige europæiske lande. Høst af græs kræver specialmaskiner, som kun skal anvendes i forholdsvis korte tidsintervaller hos den enkelte landmand. Sammen med en stor investering følger et tidspres og brug for flere folk i korte perioder. I Danmark skønnes det, at 80 % af grovfoderhøsten varetages af maskinstationer.

Når der ensileres græs, indgår der følgende maskinoperationer: Skårlægning, måske spredning, sammenrivning, finsnitning, hjemkørsel til silo og sammenkørsel i silo.

Omkostninger ved grovfoder

Typisk er prisen for et "grovfodersæt" 5.000 kr./time, og med en kapacitet på 8 ha i timen fremkommer en omkostning pr. hektar på 625 kr., hertil skal lægges skårlægning på ca. 250 kr. og

rivning på ca. 150 kr./ha hvilket giver en omkostning på 1025 kr./ha pr slæt, der høstes. De aktuelle forhold vil medvirke til højere eller lavere omkostninger.

Grovfoderhøst foregår i mindre omfang med snittevogn, som giver lavere omkostninger til høst men større omkostningerne til sammenkørsel, fordi en snittevogn har en højere timepris end en græsaflæssevogn. Ofte kombineres opsamling med finsnitter og snittevogn, så snittevognen henter det græs, der ligger længst væk fra siloen, fordi det giver den bedste effektivitet og den laveste omkostning.

Høst af græs til bioraffinering

Høst af græs til protein og tilstødende opgaver vil også blive en maskinstationsopgave. Typisk bliver det planteavlsbrug, som vil udvide med græsarealer, og de har ikke selv maskiner til græshøst. Det skønnes, at 90 % af arealerne med græs til bioraffinering hos planteavlere vil blive høstet af maskinstationer. Meget sandsynligt vil høst af græs blive koordineret af de nye proteinselskaber, som entrerer med en eller flere maskinstationer til at høste og udføre transporten til fabrikken, helt eller delvist.

Når der skal høstes græs til protein og bioraffinering, kan det ske på forskellig vis. Høsten kan ske med eller uden skårlægning og efterfølgende opsamling og snitning med en finsnitter. Skårlægning er mulig i helt op til 12 m arbejdsbredde. Alt sammen velkendte opgaver fra grovfoderhøst.

Efter finsnitteren er der spændt en omlæsservogn, der kan læsse direkte over i en lastbil eller en pendlervogn, som også kan omlæsse.

Omkostninger ved høst af græs til protein

Er timeprisen for finsnitteren med omlæssevogn 2400 kr. og kapaciteten er 4 hektar/time, bliver omkostningerne 600 kr./ha/slæt + skårlægning 250 kr./ha i alt 850 kr./ha/slæt. Dertil kommer flytteomkostninger mellem leverandører. Alternativet til skårlægning er en direkte høst med finsnitter, som muligvis kan vise sig at være en bedre løsning. Det vurderes, at omkostningerne vil være nogenlunde ens.

De øvrige markopgaver

Jodbehandling og såning af græsfrø vil i stor udstrækning blive udført af planteavlerne selv, da de fleste i forvejen har maskinsæt til dette. Dog kan der blive opgaver for de maskinstationer, som specialiserer sig med særlig velegnet såteknik til pløjefri omlægning af græsmarken.

Bioraffineringsselskabet kan også påtage sig at levere og så græsfrø og eventuelt entrere med en maskinstation til såning, da det kan have stor betydning for udbyttet, at omlægning og såning udføres med høj præcision, så græsmarkerne kan holde længst muligt. Der kan indgå gylleudbringning fra et biogasanlæg, som også er en typisk maskinstationsopgave. Intet tyder på, at gyllemængden vil stige fremover, da udvidelse af husdyrproduktion er til kritisk diskussion, både i Danmark og andre EU-lande. Der bliver sandsynligvis mere tale om en omfordeling end om mere gylle til udbringning fra maskinstationer. Det er således kun de nye høstopgaver og eventuelle transportopgaver, som kan forøge maskinstationernes omsætning.

Maskinstationernes indtjening i relation til græsprotein øges først, når der er et større areal med græs. Først vil de allerede indkøbte maskiner blive udnyttet fuldt ud, med eventuelt tilkøb af omlæsservogne, herefter kan det blive aktuelt at købe flere nye maskiner til at klare den øgede efterspørgsel

Hvordan ser økonomien ud for maskinstationerne?

Der har været drøftet scenarier med op til yderlige 300.000 hektar med græs over en kortere årrække.

Under forudsætning af 4 slæt pr. år og høstomkostninger på 3-4.000 kr./ha, vil hver 100.000 hektar betyde følgende for maskinstationerne:

- Omsætning ved høst 100.000 ha x 3.500 kr. = 350 Mio kr.
- Omsætning ved såarbejde (10 %/ år) = 10.000 ha x 500 kr. = 5 Mio kr. Den typiske pris for såarbejde er 500 kr./ha. Arbejdet med såning kan blive en større maskinstationsopgave.

I alt kan der forventes en omsætning på markarbejde ved produktion af græsprotein på 355 Mio kroner. Hvis maskinstationerne også udfører transportopgaverne til ca. 2.000 kr./ha ved 4 slæt og en transport på i gennemsnit 15 km, beløber det sig til i alt 200 Mio kr.

Det giver en total omsætning på ca. 555 Mio. kr. pr. 100.000 hektar for såning, høst og transport.

Økonomi i forhold til kornsædskifter

Foretager en makination totalpasning af en kornafgrøde, koster det typisk i gennemsnit 4000 kr./ha men helt afhængig af dyrkningsform. Skal der dyrkes græsprotein på marken vil omsætningen for maskinstationen i mange tilfælde være større.

For de øvrige arealer, hvor landmanden selv udfører de fleste opgaver og maskinstationerne skønsmæssigt udfører 10 % svarende til 500 kr./ha, bliver der en meromsætning på næsten 5.000 kr./ha ved græsdyrkning afhængig af opgavernes omfang.

Sammenfatning i forhold til maskinstationsopgaven

Høst af græs til bioraffinering er en særdeles interessant opgave for maskinstationerne, da det øger både omsætning og indtjening. Det vil i første omgang kunne sikre arbejde til grovfodermaskinerne, selv om antallet af husdyr skulle blive reduceret. På lidt længere sigt vil det kræve nyinvesteringer, som vil give endnu mere omsætning og indtjening.

Afslutning

Med denne minirapport omhandlende høst og transport som den er foregået, indtil nu, på 3 anlæg er det håbet, at der er dannet grundlag for et videre arbejde med nye effektive høst og transportmetoder i de kommende år, hvor der bygges videre på de erfaringer og forslag som der er præsenteret i denne rapport.

Til støtte for rapporten har der været kontakt og drøftelser med:

Bounum Maskinstation A/S

BioRefine A/S

Tipsmark Maskinstation

Martin Børsting Maskinstation

Ausumgaard

Jacob Krog Seges Innovation

Morten Ambye- Jensen, AU

Uffe Jørgensen, AU

Henning Sjørlev, SEGES Innovation

Erik Fog, Økologisk Innovations center

Torben Hansen, tidligere direktør for Dangrønt

Jesper Lange, ACJ-Maskiner