

Demonstration af samensileret roetop og halm til biogasproduktion



Kurt Hjort-Gregersen
Teknologisk Institut
Oktober 2021



Indhold:

- 1. Baggrund**
- 2. Formål**
- 3. Indledning**
- 4. Projektets forløb**
- 5. Resultater**
- 6. Økonomisk analyse**
- 7. Konklusion**
- 8. Perspektivering**



1. Baggrund

Der er i Danmark en lang tradition for produktion af sukkerroer. Dels til produktion af hvidt sukker, som stadig er en betydelig aktivitet på Lolland, Falster, Sjælland og Møn. Desuden blev der frem til begyndelsen af 1990'erne dyrket betydelige arealer med fodersukkerroer til fodring af malkekvæg. Produktionen af fodersukkerroer blev næsten fuldstændig fortrængt af majs til ensilageproduktion. Det skete især fordi en ændring i EU's landbrugsstøtteregler betød, at der kunne opnås støtte til arealer med majs, som en kornafgrøde, men ikke til roer. Denne forhindring er ikke længere til stede, så derfor er der grund til at forvente, at arealet med foderroer vil stige. Roer kan give et højere foderudbytte pr. ha. men er noget mere arbejdskrævende end majs, og landmanden slipper ved majsdyrkning for bøvlet med sten og jord i foderet. Til gengæld er der fortsat gang i sukkerroeproduktion til fabrik. Og nedennævnte potentialer er derfor også baseret på roedyrkingen til sukkerproduktion.

Baggrunden for projektet er biogasanlæggenes øgede behov for biomasseforsyning i en tid hvor udbygning med nye biogasanlæg for alvor tog fart, efter at det i 2012 blev muligt at sælge den producerede biogas via naturgasnettet. I Danmark er det besluttet at biogasproduktion skal baseres på husdyrgødning og restbiomasser, og altså ikke på energiafgrøder, som i fx. Tyskland. Både roetop og halm defineres som restbiomasser i både Energistyrelsens bæredygtighedskriterier for biogasproduktion og F&U strategien for biogas. For øjeblikket er der op mod 3 mio. ton halm og mere end 1 mio. ton roetoppe der ikke energiudnyttes men henligger og rådner på markerne efter høst. Disse biomasser udgør en kolossal uudnyttet energiressource. Samlet udgør det et potentiale på ikke mindre end 500.000 ton olie ækvivalenter. Teknologisk Institut-AgroTech gennemførte sammen med Århus Universitet i årene forud for nærværende projekt et andet projekt "Fleksibel kraft-varmeproduktion fra biogas baseret på restbiomasser fra landbruget" der klart viste, at roetop-halmensilage er et glimrende substrat til biogasproduktion, og faktisk også en økonomisk attraktiv ressource. Næste skridt frem mod et gennembrud for teknologien var så dette projekt, der med støtte fra EUDP har testet og demonstreret forskellige måder at håndtere og anvende samensileret roetop og halm til biogasproduktion.

2. Formål.

Formålet med projektet er at demonstrere anvendelsen af samensileret halm og roetoppe til biogasproduktion, og analysere business casen. Desuden at eftervise de synergieffekter, der blev fundet på gasudbyttet fra halm i projektet: "Fleksibel kraftvarmeproduktion af restbiomasser fra landbruget".

3. Indledning

Den løbende udbygning med nye biogasanlæg i Danmark medfører stigende efterspørgsel efter faste biomasser, der skal supplere anvendelsen af husdyrgødning, som udgør mængdemæssigt langt den største andel af den biomasse der behandles. Som nævnt udgør halm og roetoppe allerede i dag en betydelig ressource som restbiomasse, der med fordel kan anvendes som grundlag for biogasproduktion i danske biogasanlæg. En stor del af overskudshalmen findes øst for Storebælt, hvilket også gør sig gældende for roetoppen, eftersom produktionen af roer til sukkerproduktion altovervejende findes på Lolland, Falster, Møn og Sydsjælland, hvor husdyrproduktionen fylder relativt mindre end fx i Jylland.



4. Projektets forløb

I den første del af projektet blev det nødvendigt at udskifte en af de oprindelige landmandspartnere i projektet, fordi han besluttede alligevel ikke at dyrke roer som foder til malkekøerne fordi det viste sig umuligt at bjærge roer og roetop uden alt for mange sten i det bakkede terræn omkring ejendommen. På den baggrund trådte Vrejlev Bioenergi ind i projektet. Som flere andre nordjyske biogasanlæg satses der her på roer som substrat til biogasproduktionen, fordi udbytterne i majs i det nordjyske ofte er lavere end længere sydpå i Danmark. Det skete i januar 2020. På det tidspunkt havde man her allerede i det foregående efterår høstet både roer og roetop og etableret ensilage af dette sammen med halm. Roerne vaskes og knuses før endlægningen. Der blev udtaget prøver af frisk roetop og halm, som blev frosset ned og senere indhentet ensileret halm, roetop og roetop/halm ensilage til methan potentiale bestemmelser. Det lykkedes ikke den anden landmandspartner, Jens Krogh fra Kroghsminde Biogas, nær Ølgod, at skaffe roetop i 2019. Det skyldes et meget vådt efterår, og at kollegaen, der dyrkede roerne, ikke ønskede den ekstra kørsel i marken. Samme år var der også problemer med at få bjærget de sidste roer i Vrejlev.

I 2020 gik det betydeligt bedre. Her fik begge landmændene bjærget det de skulle og etableret blandingsensilagen. I forbindelse med høsten i Vrejlev var der planlagt et åbent hus-arrangement, som dog dagen før måtte aflyses fordi dele af Nordjylland og Vendsyssel blev pålagt lock-down på grund af Covid 19 situationen på det tidspunkt. Der blev som nævnt udtaget prøver til methanpotentialebestemmelser fra høst i både 2019 og 2020 i Vrejlev og i 2020 ved Ølgod.

Ved Ølgod blev roetoppen høstet og bjærget ved hjælp af en god gammel grønthøster og en tipvogn. Da roemarken lå langt væk fra Kroghsminde blev roetoppen omlastet og kørt hjem i en stor transportvogn.



Billede 1. Grønthøster og tipvogn.

Foto Kurt Hjort-Gregersen

Forinden havde anlægsejeren etableret en stor stak med lupinhalm, som roetoppen nu blev lagt ovenpå. Ideen med denne metode er, at saftfløbet fra roetoppen skal sive ned i halm og hjælpe til med ensileringen.



Billede 2. Stak med lupinhalm og roetop.

Foto Kurt Hjort-Gregersen

Der blev udtaget prøver til methanpotentialebestemmelse både før og efter ensileringen. I starten da roetoppen blev indført i anlægget oplevede anlægsejeren at gasproduktionen gik ned. Det hænger utvivlsomt sammen med at processen ikke var tilpasset den nye biomasse. Men ved at reducere indføringen i en periode og finde den rette blanding, kom gasproduktionen hurtigt igen ved et blandingsforhold på 1 del roetopensilage og 2 dele lupinhalm. Herefter fungerede det fint, og Jens Krogh vurderede at gasudbyttet var på højde med majsensilage.

I Vrejlev høstes roetop og optages roer i en arbejdsgang med en selvkørende roeoptager som den på nedenstående billede. En Holmer roeoptager fra Sv. Aa. Christiansens maskinstation.



Billede 3. Selvkørende roeoptager af mærket Holmer med transportør til roetoppen.

Foto: Kurt Hjort-Gregersen



Hos Vrejlev Bioenergi vaskes roerne i en stor roevasker og snittes.



Billede 4. Roevaskeren fra Ørumsmeden i aktion hos Vrejlev Bioenergi.
Foto: Kurt Hjort-Gregersen

Roer, roetop og halm læsses i en traditionel møgspreader, som bruges til at køre blanding op på ensilagestakken, hvor den køres til. Der foretages ikke nogen egentlig forudgående oprivning af halmen. Møgspreaderens roterende valser kan gøre dette. Halmen er heller ikke blevet snittet forudgående fordi anlægget på indfødningslinien har en hammermølle.

Den friske roetop indeholder i omegnen af 15 % tørstof, så der er potentiale for betydeligt saftfløb. Derfor gælder det om enten at få det blandet godt op med halm, der kan suge saften eller lægge det ovenpå en tyk pude af halm.

I Vrejlev fungerede blandingsensilagen ligeledes fint. Der blev ikke konstateret nogen effekt på gasproduktionen, selvom ensilagen i en periode erstattede den normalt tilførte roe/roetop/halmensilage. Driftslederen Henning Jensen mente dog, at det er svært at få halm nok i blandingen til at undgå saftfløb. Erfaringerne fra laboratorie og pilotforsøg ifbm. det tidligere projekt viste at 30 % halm er nok til at suge saftfløbet.



I et forsøg på Lolland på initiativ af Nordic Sugar blev der anvendt en Ropa Tiger selvkørende roeptager fra Dalmose Vognmandsforretning.



Billede 5. Selvkørende roeptager af mærket ROPA med transportør til roetoppen
Foto: Kurt Hjort-Gregersen

Den friske roetop ser således ud:



Billede 6: Frisk roetop
Foto: Kurt Hjort-Gregersen



På næste billede ses en stak bigballer med halm der har stået ude.



Billede 7. Bigballer med sekundahalm
Foto: Kurt Hjort-Gregersen

I en traditionel møgspreader læsses først halm i bunden og derefter roetoppen ovenpå. Ved aflæsning sørger de roterende valser for at blande de to fraktioner godt, samtidig med at de kastes ind i stakken.



Billede 8. Møgspreader blander og kaster biomassen bagud.
Foto: Kurt Hjort-Gregersen



Efter at det hele er blandet godt sammen ser det således ud:



Billede 9. Roetop og halm sammenblandet i stakken.

Foto: Kurt Hjort-Gregersen

Halmdelen syner af relativt meget i dette tilfælde, fordi halmens vægtfylde er noget lavere end roetoppens

Methanpotentialebestemmelserne er udført af Teknologisk Institut ved anvendelse af Bioprocess Control-udstyr, typisk ved udrådning i 60 dage. Resultaterne af methanpotentialebestemmelserne er anvendt i de videre analyser.

5. Resultater

Resultaterne af methanpotentialebestemmelserne er vist i Tabel 1.

Nr	Råvare	Høstår	Ton	TS %	Ton TS/ton	VS %	VS kg/ton	Nm ³ CH ₄ /kg VS	Nm ³ CH ₄ /ton	m ³ CH ₄ /ton TS
1	Roetop frossen	2019	1	8,9	0,09	0,79	70	0,28	19	218
2	Roetop frossen	2020	1	13,92	0,14	0,82	115	0,22	25	182
3	Ensileret roetop *)	2019	1	16,99	0,17	0,77	130	0,38	50	294
4	Ensileret roetop	2020	1	12,31	0,12	0,80	99	0,33	32	263
5	Frossen halm fra korn	2019	1	16,2	0,16	0,98	158	0,21	34	208
6	Frossen lupinhalm	2020	1	37,93	0,38	0,92	348	0,22	77	202
7	Ensileret halm fra korn *)	2019	1	25,98	0,26	0,96	249	0,36	88	340
8	Ensileret lupinhalm	2020	1	42,27	0,42	0,93	393	0,25	97	229
9	Roetop halmensilage *)	2019	1	18,13	0,18	0,88	159	0,44	70	389
10	Roetop halmensilage 1	2020	1	25,76	0,26	0,83	214	0,19	41	158
11	Roetop halmensilage 2	2020	1	25,11	0,25	0,77	193	0,25	48	192

*) Ensileret sammen med roer. TS=tørstof, VS=organisk tørstof, Nm³ CH₄= normalkubikmeter methan.

De ensilerede prøver fra 2019 høsten er ensileret sammen med roer. Det betyder at prøverne har indeholdt en vis mængde roesaft, og selvom synlige roestykker blev pillet fra, ser det ud til, at methanpotentialet i disse prøver er højere end i de prøver, hvor der ikke er roesaft/roestumper i. Resultaterne for disse prøver er derfor ikke egnede til at vurdere potentialet i roetop/halmensilage alene.



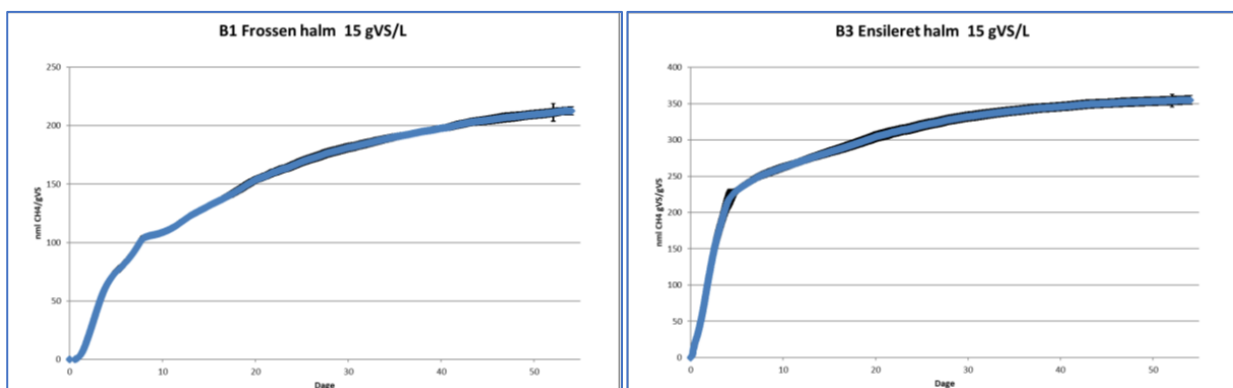
Sammenlignes de frosne prøver af roetop med ensileret roetop, prøve 1,2 og 4 ses en lille effekt af ensileringen på gasudbyttet, hvilket også understøttes af prøve 3, hvor der dog kan være roesaft i. Tilsvarende effekter blev fundet i det forudgående projekt.

Ser man på den frosne prøve af lupinhalm i sammenligning med de ensilerede prøver af lupinhalm, ses der en vis effekt af ensileringen på halmen. Den ensilerede kornhalm her kan ikke rigtig sammenlignes med den frosne kornhalm, da det fundne methanudbytte er endog meget højt, men de må, foruden ensilerings-effekten, tilskrives et muligt indhold af roesaft og små stykker roerod. Med dette forbehold vurderes resultaterne at bekræfte den synergieffekt på gasudbyttet af halmen som effekt af ensileringen, der også blev fundet i det tidligere projekt, og som det var et af projektets delmål at eftervise.

En lidt overraskende ting der blev fundet var, at en af de prøver af lupinhalm der blev udtaget til nedfrysning, var lidt varm ved udtagningen, hvilket indikerer en begyndende kompostering i stakken. Denne prøve viste et lidt højere gasudbytte end en anden prøve, der ikke var varm ved udtagningen. Det kunne indikere, at en begyndende kompostering også kan have en vis effekt som forbehandling, selv om det statistiske grundlag her er begrænset. Denne antagelse styrkes imidlertid af erfaringer fra Kroghsminde Biogas, idet man her oplever at dybstrøelse, der får lov at henligge i en periode, kan give mere gas end frisk dybstrøelse.

Prøve 10 og 11, som begge blev udtaget i Vrejlev viste nogen forskel i gasudbyterne. Det skyldes sandsynligvis, at det ikke er muligt at udtage helt repræsentative prøver fra en stak i praksis. Med tørstofprocenter på omkring 25 kunne det tyde på at halmandelen godt kunne være højere. I hvert fald har det tidligere vist sig at et tørstofindhold på omkring 30 procent sikrer godt mod saftfløb. På den anden side set skal der også være væde nok i stakken til at halmen bliver tilpas opfugtet, så den bliver optimalt ensileret.

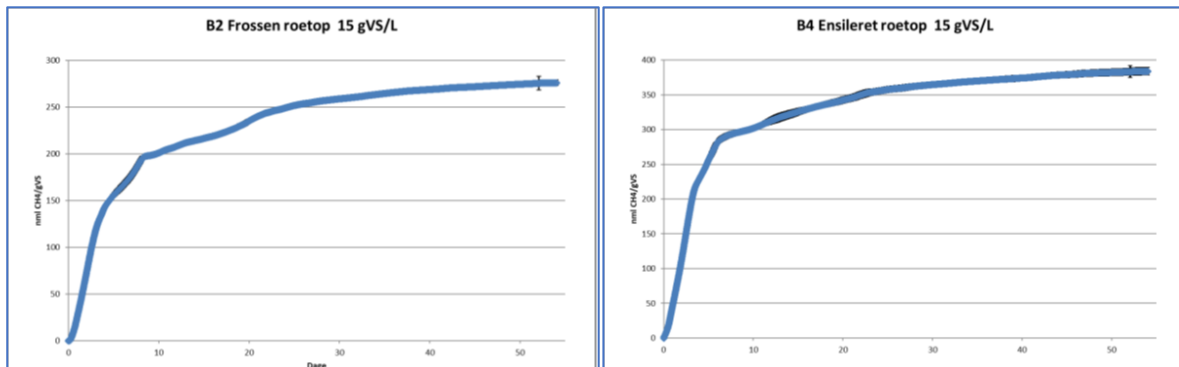
I nedenstående figurer vises forløbet af de forskellige udrådningforsøg til methanpotentialebestemmelser. Figur 1, 2 og 3 hidrører fra høsten 2019 og prøverne er udtaget hos Vrejlev Bioenergi



Figur 1. Methanpotentiale i frossen halm og ensileret halm

Halmen der blev analyseret i figur 1 er fra 2019 høsten i Vrejlev. Med forbehold for at en del af gaspotentialaet i den ensilerede halm stammer fra roesaft, er det meget markant, at biogassen udvindes hurtigere end i den frosne halm ligesom slutniveauet er højere.

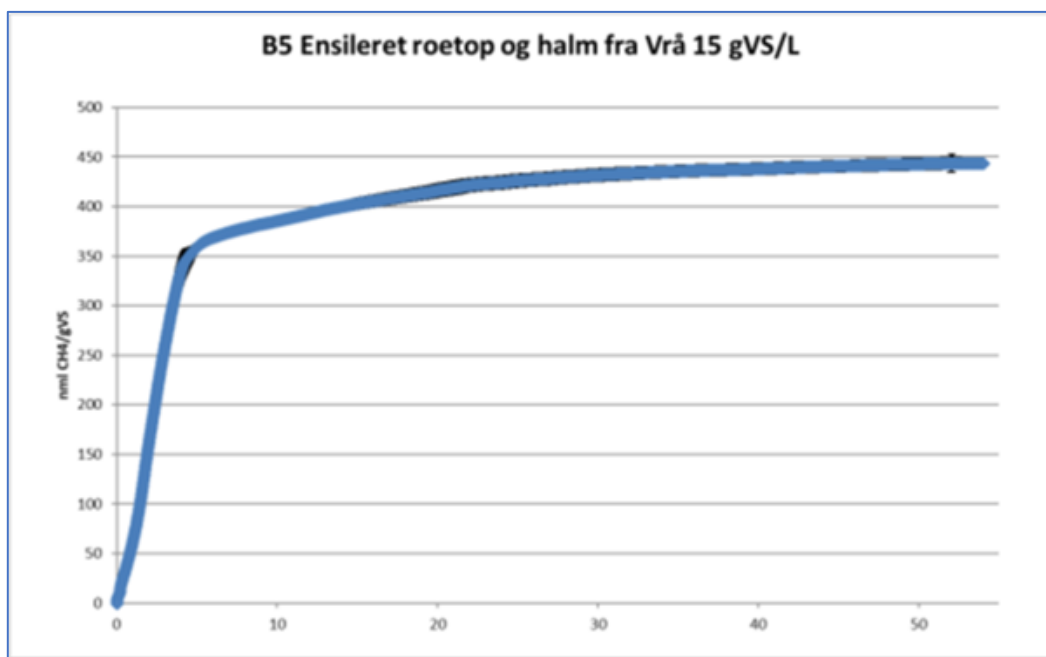
Den samme effekt viser sig når den frosne roetop sammenlignes med ensileret roetop bjærget i 2019



Figur 2. Methanpotentialet i frossen roetop og ensileret roetop fra 2019

Som det var tilfælde i Figur 1 kommer gassen hurtigere i de ensilerede prøver ligesom den akkumulerede værdi også er højere ved de ensilerede prøver.

Der blev også udført methanpotentialebestemmelse af roetop-halmensilagen.

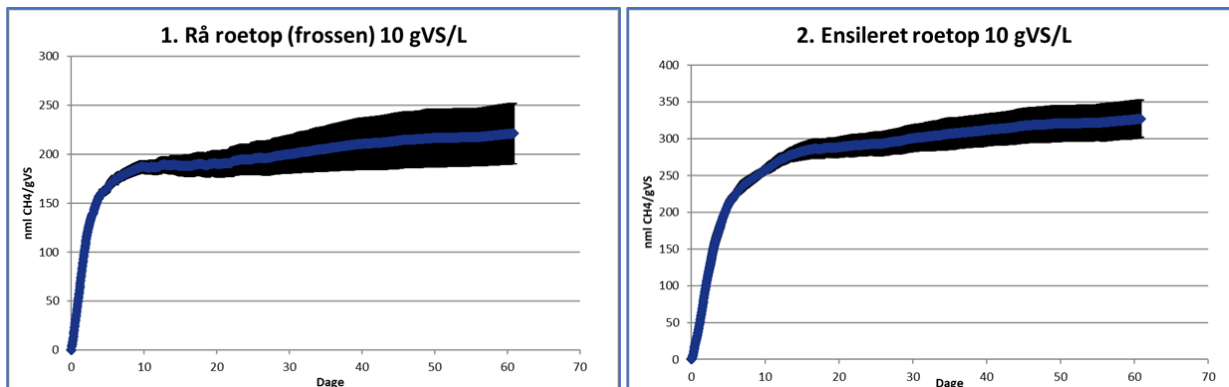


Figur 3. Methanpotentiale i ensileret roetop og halm høstet i Vrejlev i 2019.

Igen skal det understreges at roetop og halm i dette tilfælde er ensileret sammen med snittede roer. Selvom synlige stykker er roer er sorteret fra, vil en del af methanpotentialet utvivlsomt stamme fra sukkerholdig saft fra roerne. I hvert fald forekommer methanpotentialet her noget højere pr. gram VS end forventet ved roetop-halmensilage alene. Igen ses at størstedelen af gassen kommer endog meget hurtigt.



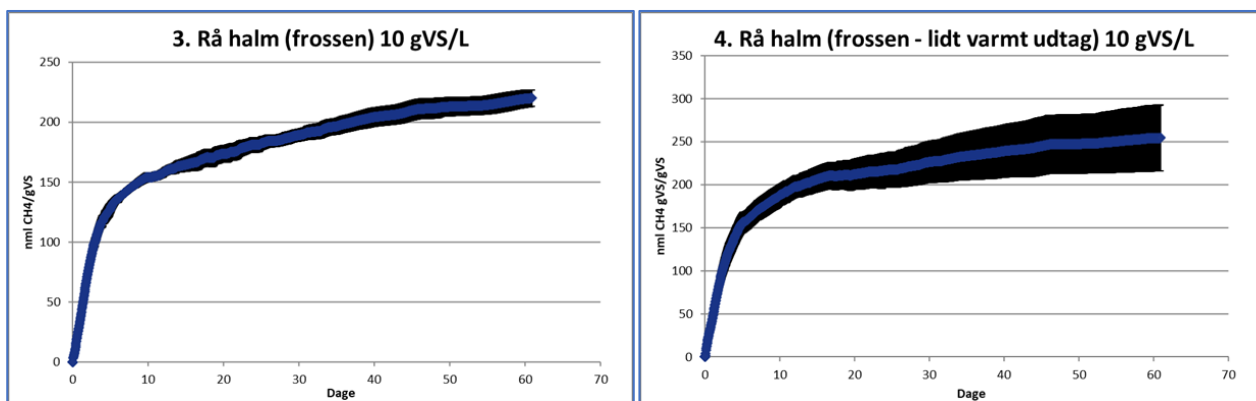
Fra høsten i 2020 blev der taget friske prøver ud af roetoppen høstet ved Ølgod. Nogle af dem blev ensileret i 5 liters poser.



Figur 3. Methanpotentialet i frossen roetop og ensileret roetop fra 2020

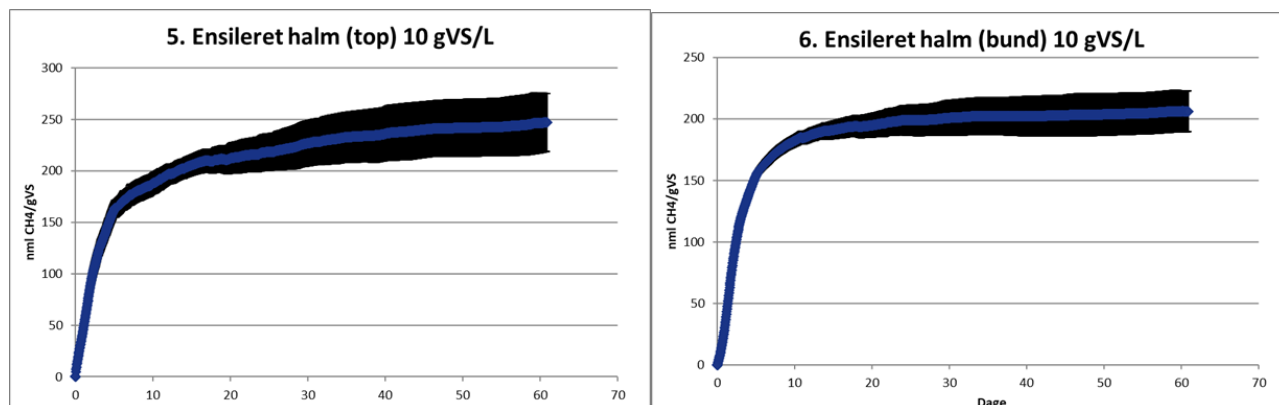
Der observeres indledningsvis en høj methanproduktion fra prøverne med rå og ensileret roetop. Størstedelen af methanudbyttet er således produceret efter 12 døgn udrådning, hvorefter methanudbyttet stiger svagt under resten af udrådningerne. Udrådningen af ensileret roetop resulterede i en ca. 49 % gennemsnitlig højere methanproduktion per gram VS end for udrådningen af rå frossen roetop. Ensileringsprocessen af roetoppene har altså haft en væsentlig indvirkning på omsætteligheden af det organiske materiale i og har forøget methanudbyttet markant.

Ved høsten ved Ølgod blev der udtaget prøver fra bunken af lupinhalm der blev nedfrosset med henblik på sammenligning med gaspotentialet fra den ensilerede lupinhalm, som blev udtaget senere.



Figur 4. Methanpotentiale af to prøver med frossen lupinhalm. Den ene var lidt varm ved udtagning.

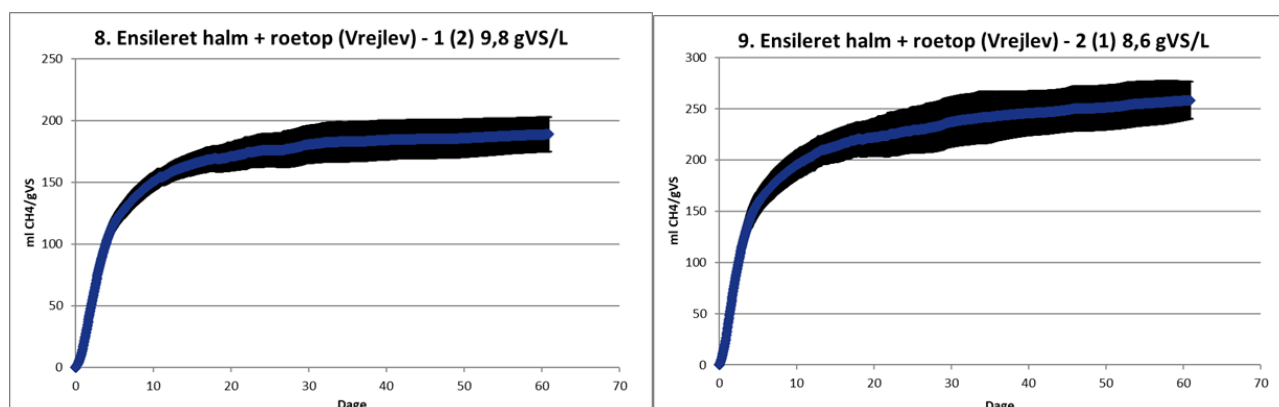
Udrådningforløbene af prøverne med rå halm er næsten identiske. Udrådningen af den rå halm, der var lidt varm ved udtagningen, resulterede dog i at methanudbyttet, der gennemsnitligt var ca. 15 % højere pr. gram VS. Dette kan skyldes, at en begyndende kompostering har haft en positiv effekt på methanudbyttet, ved at forøge tilgængeligheden af det omsættelige organiske materiale i halmen for de anaerobnedbrydende bakterier. Dog er standardafvigelsen på methanudbyttet af prøven også væsentligt større og tages standardafvigelserne i betragtning er der ingen signifikant forskel, hvilket gør det svært at konkludere noget med sikkerhed. Der er endvidere stor forskel i tørstofindholdet i de to prøver, hvilket yderligere vanskeliggøre en sammenligning.



Figur 5. Methanpotentiale af ensileret lupinhalm fra Ølgod udtaget i hhv. top og bund fra høsten 2020.

Som tidligere beskrevet blev der lagt en tyk pude med lupinhalm på ensilagepladsen. Roetoppen blev lagt ovenpå, så saften kunne sive ned i halmen. Der blev derfor udtaget en prøve fra toppen og en fra bunden. Prøven fra toppen giver samlet et lidt større methanudbytte end prøven fra bunden med det forbehold, at der er lidt større variation i resultaterne. Det kunne være en indikation af, at saften ikke når at sive helt ned i bunden af den 2-3 meter høje bunke lupinhalm.

I Vrejlev blev der udtaget prøver af roetop-halmensilagen, der blev høstet i 2020. Ved bestemmelse af methanpotentialet viste nogle et overraskende lavt potentiale mens andre svarede til det der kunne forventes ud fra tidligere forsøg.



Figur 6. Methanpotentiale af roetop-halmensilage fra Vrejlev fra høsten 2020.

Figuren viser en del forskel i methanpotentialet fra de to prøver. Forskellen kan skyldes prøveudtagningen. På dagen var alt stivfrossent, så der blev lavet et hul i toppen af stakken, hvorefter prøverne blev udtaget ved at stikke hånden så langt ind som muligt. Udover vanskeligheden ved at udtage fuldstændig homogene prøver af en ensilagestak i praksis, kan forskellen skyldes at den første prøve er taget mere yderligt end den anden, hvorved ensileringen sandsynligvis ikke har helt så stor effekt.

6. Økonomisk analyse

Der er næppe tvivl om at den mest rationelle måde at høste og bjærge roetoppen er at gøre dette samtidig med optagningen af roerne med en selvkørende roeptager med tank til roerne og en transportør til at løfte roetoppen op i en frakørselsvogn. Der kan ikke køre både en frakørselsvogn til roetop og til roer på siden af roeptageren samtidig. Det betyder, at roeptageren må holde stille når der skal læsses roer fra tanken over i frakørselsvognen. Det giver en vis ventetid for frakørselsvognen og naturligvis også for roeptageren. Derved reduceres roeptagerens kapacitet. Denne effekt på kapaciteten vil fordyre roeptagningen, som der



skal tages højde for i den økonomiske kalkule. Dette gælder imidlertid ikke nødvendigvis for optagning af sukkerroer, hvor optageren ofte læsser roerne af i en kule ved markkanten. I disse tilfælde er der ikke ekstra ventetid for optageren, men kun for de frakørselsvogne, der hjemkører roetoppen.

Udgangspunktet for beregningerne er oplysninger fra maskinstation S. A. Christiansen, som med en Holmer roeoptager foretager roeoptagningen, og dermed bjærgningen af roetop hos Vrejlev Bioenergi, og maskinforretningen Johannes Mertz, der sælger roeoptagere fra Ropa.

Herfra er det oplyst (S. A. Christiansen), at roeoptagningen koster 1000 kr. pr. ha, og at der ikke som udgangspunkt tages en merpris for bjærgningen af roetop. I økonomikalkulen er det imidlertid vigtigt at få indregnet alle de medgåede ressourcer. Skal toppen opsamles skal der en anden type aftopper til, som kan fås for en merpris på godt 50.000 kr. Desuden koster selve transportøren godt 100.000 ifølge oplysninger fra maskinforretningen Johannes Mertz. (Anvendt som forudsætninger i analysen). Merinvesteringen i bjærgningudstyr til roetop er således begrænset og udgør kun 3,4 % af investeringen i en gennemsnitlig roeoptager af dagens standard. I analyserne er der derfor anvendt en merpris for bjærgning af roetop på 34 kr. pr. time til forrentning og afskrivning af ekstraudstyret, og 16 kr. skønnet til øget vedligeholdelse, og omkostningerne er derfor øget med 50 kr. pr. time, svarende til drift, forrentning og afskrivning af transportør og merinvestering i aftopper. Indirekte bliver bjærgningen af roetop imidlertid dyrere på grund af den tid der går med at holde stille når roerne skal læsnes over i en frakørselsvogn. Ved 65 ton roer pr. ha og 17 ton pr. læs vil det medføre stop for overlæsning 3,8 gange pr. ha, svarende til 19 minutter ekstra pr. ha. Det betyder at optagningen, og dermed bjærgningsomkostningerne, i så fald øges med 19/60 svarende til 32% når roerne skal køres hjem til biogasanlægget eller til foder, men ikke hvis det er sukkerroer til fabrik, der lægges i kule ved markkanten.

Der er i alle beregningerne taget udgangspunkt Aarhus Universitets vurdering af at der kan bjærges 5000 kg. tørstof pr. ha. i roetop. Desuden er der anvendt det i praksis målte tørstofindhold på knap 14 % i frisk roetop i 2020 høsten. Det kan variere en del afhængigt af vejret. Det har den betydning, at jo vådere, des mere halm skal der blandes i for at opnå et gennemsnitligt tørstofindhold på 30 %. I den top, der blev høstet hos Jens Krogh, blev der i den friske top målt 13,92 % tørstof (TS).

I Tabel 2 er vist de benyttede forudsætninger for beregning af de høst- og bjærgningsomkostninger, der kan henføres til bjærgning af roetoppen. Tabellen gælder for det tilfælde, at der skal køres roer fra, så der dermed er ventetid for optageren, og bjærgningsomkostningerne er derfor øget med 32 % ifht. en situation, hvor roerne ikke skal køres fra.

Tabel 2. Forudsætninger og beregning af ekstraomkostninger til bjærgning af roetop.

Kapacitet roeoptager, 65 ton roer/ha		1	ha/time
Udbytte top		5000	kg/TS/ha
TS% rå		13,92	%
Friskvægt		36	Ton/ha
Optagning af roer		1000	kr/ha
Optagning af roer		1000	kr/time
Bjærgning af top		50	kr/time
Frakørselsvogne		600	kr/time
Læsstørrelse		20	m³
Læsstørrelse		17	tons
Antal læs/ha		2,1	læs
Stop for aflæsning af roer a 5 min		3,8	gange
Tidsforbrug ved stop		19,0	min/ha
Ekstraomk. ved bjærgning af top		367	kr/ha



Tabellen viser beregnede bjærgningsomkostninger for roetoppen på 367 kr. pr. ha. 85% af omkostningerne kan henføres til tidsforbrug ifbm. overlæsning af roer, som imidlertid ville kunne undgås, hvis roerne aflæsses i kule ved markkanten.

Tabel 3 viser forudsætninger og beregning af omkostninger til hjemkørsel, indlægning og lagring af roetop i ensilagestakken.

Tabel 3: Forudsætninger og beregning af omkostninger til hjemkørsel og indlægning

Frakørsel			
Frakørselsvogn		600	kr/time
Afstand til stak		5	km
Hastighed på vej		25	km/t
Tid til aflæsning		5	min
Køretid pr læs		24	min
Kørsel i marken		28	min
Ventetid ved aflæsning af roer		5	min
Tid i alt pr læs		62	min
Nødvendigt antal vogne		2,1	
Omkostninger frakørsel		1241	kr/ha
Indlægning		600	kr/time
Lagring		20	kr/ton

Tabel 4 viser de samlede omkostninger til høst og bjærgning af roetoppen i det tilfælde, at bjærgningen medfører ekstraomkostninger for roeoptagningen på grund af stop ved aflæsning af roer. Maskinomkostningerne er baseret på Håndbog til driftsplanlægning og omkostninger til ensilageplads er baseret på en investering på 300 kr/m³ plansilo med 30 års levetid. Der er ikke indregnet plastoverdækning og ej heller lagertab.

Tabel 4: Samlede omkostninger til høst, bjærgning, hjemkørsel og indlægning af roetop

Bjærgning af top		367	kr/ha
Frakørsel		1241	kr/ha
Indlægning		600	kr/ha
Lagring		718	kr/ha
Omkostninger i alt		2926	kr/ha
Omkostninger pr. kg. TS		0,59	kr/kg TS
Omkostninger pr. kg VS		0,73	kr/kg VS
Omkostninger pr. Nm³ CH₄		2,23	Kr/m³ CH₄

De samlede beregnede omkostninger udgør således 2926 kr. pr. ha, og knap 0,6 kr. pr. kg. tørstof.

Omkostningerne reduceres naturligvis en smule i tilfælde, hvor der ikke er stop for overlæsning af roer, hvilket fremgår af tabel 5.



Tabel 5: Samlede omkostninger for bjærgning af roetop uden stop for aflæsning af roer

Bjærgning af top		50	kr/ha
Frakørsel		1241	kr/ha
Indlægning		600	kr/ha
Lagring		718	kr/ha
Omkostninger i alt		2610	kr/ha
Omkostninger pr. kg TS		0,52	kr/kg TS
Omkostninger pr. kg VS		0,65	kr/kg VS
Omkostninger pr. Nm³ CH₄		1,99	Kr/m³ CH₄

Kan stop for overlæsning af roer undgås reduceres omkostningerne til 2610 kr./ha.

For at kunne producere en roetop halmensilage skal der i sagens natur også bruges noget halm. Som led i projektet har deltagerne anvendt halm fra egen produktion, Lupinhalm i Ølgod og halm fra korn i Vrejlev. Det kan diskuteres til hvilken pris halmen skal indgå i beregningerne. Ikke mindst fordi der findes et meget veletableret marked for halm til fjernvarmeproduktion hvor prisniveauet typisk ligger på omkring 500 kr/ton halm. Men det er vel at mærke halm af prima kvalitet, som varmeværkerne ønsker at aftage. Ringere kvaliteter, ofte kaldet sekundahalm, har i sagens natur en lavere pris. Det betyder at hvis halmen alternativt kunne sælges som prima kvalitet, ville den i beregningerne herunder skulle indgå til 500 kr. Tilsvarende kan halmen indgå til reduceret pris, hvis kvaliteten er ringere. Endelig kan der være tilfælde, hvor halmen alternativt ville blive snittet under tærskningen og derfor ikke alternativt skulle sælges, men dog vil have en vis gødningseffekt på sigt. I så fald vil landmanden stadig skulle afholde bjærgningsomkostningerne (presning og transport) når halmen anvendes til biogasproduktion. Derfor er beregningerne gennemført for halm med en købspris eller alternativ omkostning på 500 kr. pr. ton halm for primakvalitet og 250 kr. pr. ton for halm af sekundakvalitet eller halm, der alternativt ville være blevet snittet under tærskningen. I sidste tilfælde skal der ikke indregnes en alternativomkostning eftersom biogasanlægget så at sige låner halmen inden den leveres tilbage til dyrkningsjorden, hvor den alternativt ville have som snittet efter mejetærskeren

De prøver af halm der blev taget ud før ensileringen, var ret våde, fordi halmen har stået eller ligget ude. Det påvirker naturligvis halmens evne til at opsuge saftfløb, men jo også det gasudbytte der opnås pr. ton råvare der ensileres. Det må derfor gælde om at halmen før ensilering er så tør som muligt, så der skal håndteres mindre uproduktivt vand i systemet, men at den fugtighed, der skal til for at ensilere halmen kommer fra saften af roetoppen. Erfaringerne fra projektet Fleksibel kraft-varmeproduktion baseret på restbiomasser fra landbruget viste at ca. 30 % tør halm var passende til at opsuge saftfløbet og samtidig opnå en god ensilering.

I Tabel 6 vises en beregning af Produktionsomkostningerne på halm udtrykt pr. m³ methan. Der er taget udgangspunkt i en halmpris på 500 kr. De angivne methanpotentialer er fundet i projektet samt erfaringstal for methanpotentialiet i tør halm.

Tabel 6. Produktionsomkostninger pr. Nm³ CH₄ for ensileret og tør halm.



	Ensileret halm		Ubehandlet tør halm	
Pris halm	500	kr/ton	500	kr/ton
Oprivning	50	kr/ton	50	kr/ton
Lagring	20	kr/ton	0	kr/ton
TS	900	kg	900	kg
VS	723	kg	720	kg
CH4/kg VS	0,247	ensileret	0,200	tør
CH4/ton	179	m3 CH4	144	m3 CH4
kr/m3 CH4	3,19	Kr/m3 CH4	3,82	Kr/m3 CH4

Beregningerne viser at ubehandlet tør halm, med de anvendte forudsætninger, som råvare koster 3,82 kr. pr. m³ metan og at den reduceres med knap 75 øre pr. m³ når halmen er ensileret sammen med roetop på grund af det øgede metanpotentiale.

Reduceres halmprisen til 250 kr. pr. ton reduceres produktionsomkostningerne for den ensilerede halm til 1,68 kr. pr. m³ metan og yderligere til 1,4 kr. pr. m³ metan hvis halmen bjærges med en snittervogn hvorved oprivningen forventeligt kan undværes. Det er i denne analyse anslået at bjærgning med snittervogn kan gøres for samme omkostning som bjærgning i bigballe, hvor der jo som bekendt er en omkostning til presning.

Det er således klart at halmdelen, og prisen på den, spiller en væsentlig rolle for produktionsprisen for den ønskede blandingsensilage. Der er som nævnt gennemført beregninger for en halmpris på 500 hhv. 250 kr. pr. ton. Begge dele for tør halm. Desuden er en snittervogn medtaget som bjærgningsmetode, fordi dens snitningsfacilitet bør kunne fjerne behovet for oprivning af bigballe. Tidligere analyser har vist at snittervognen med fordel kan anvendes ved kortere transportafstande, indenfor 10 km, ved længere afstande er bigballe erfaringsmæssigt det mest rationelle. Et eksempel på det er en snittervogn fra Krone, der kan fås med lastrum op til 56 m³, og som er i stand til i en vis udstrækning at kompaktere halmen for at øge kapaciteten.



Billede 10: Opsamler/snittervogn fra Krone

Kilde: Brøns Group



Snittervognen har nok en lidt lavere kapacitet, men til gengæld er der som nævnt ingen omkostninger til presning. Det er derfor antaget at bjærgningsomkostningerne i de to tilfælde er nogenlunde ens, i hvert fald hvis transportafstandene ikke er for store. Oprivningsomkostningen på 50 kr/ton er motiveret af firmaet AB Skovservice, der tilbyder knusning af bl.a. dybstrøelse i en ombygget grenknuser for 50 kr/ton. I tabel 7 er der med udgangspunkt i de fundne methanudbytter foretaget en beregning af gaspotentialet i 1 ton blandingsensilage produceret af frisk roetop og tør halm.

Tabel 7. Beregnet methanpotentiale af 1 ton blandingsensilage produceret af frisk roetop og tør halm.

Andel	Roetop, halm og blandingsensilage	Nm ³ CH ₄ /ton
66%	af 1 ton roetopensilage giver	21,3
33%	af 1 ton tør halm ensileret giver	58,9
100%	af 1 ton blandingsensilage giver	80,3

I så fald kan methanpotentialet beregnes til 80 Nm³ CH₄ pr. ton ensilage.

De på den baggrund beregnede produktionsomkostninger for blandingsensilagen fremgår af Tabel 8. I tabellen er methanpotentialet beregnet med en forudsætning om at ensilagen er produceret af 2/3 roetop og 1/3 tør halm.

Tabel 8. Produktionsomkostninger til 1 ton blandingsensilage pr. Nm³ CH₄

Andel	Roetop, halm og blandingsensilage	Kr/m ³ CH ₄
66%	af 1 ton roetop koster	1,47
33%	af 1 ton tør halm ensileret koster	1,05
100%	af 1 ton blandingsensilage koster	2,52

En anden måde at udtrykke resultaterne er pr. kg tørstof, som nogle anlæg bruger som målestok. Resultaterne af en sådan beregning er vist i Tabel 9

Tabel 9: Produktionsomkostninger i kr. pr. kg tørstof.

Omkostninger pr. kg. TS, roetop	0,59	kr/kg TS
Omkostninger pr. kg. TS, halm, tør	0,61	kr/kg TS
Omkostninger til ensilage pr. kg. TS, 66% top, 33% halm	0,59	kr/kg TS

For eksempel energiafgrøden majsensilage afregnes ofte pr. kg. tørstof eller pr. foderenhed. Her ligger afregningen ofte i størrelsesordenen 1 kr. pr. kg tørstof eller foderenhed. Til gengæld er gaspotentialet noget højere. Med ca. 30 % TS vil et ton majs således koste 300 kr/ton. Af et ton vil der typisk kunne produceres 100 Nm³ CH₄, hvorved råvareprisen til sammenligning udgør 3,3 kr. pr. Nm³ CH₄. Roetop-halmensilagen er således fuldt ud konkurrencedygtig i sammenligning med majsensilage, jvf. Tabel 10, der viser produktionspriser for blandingsensilagen under forskellige prisforudsætninger for halm delen og bjærgningsform.

Tabel 10. Produktionsomkostninger for blandingsensilagen som funktion af halmpris og bjærgningsform



Halmpris indregnet, kr/ton	500	250	250
Bjæringsform	Bigballer	Bigballer	Snittervogn
Råvarepris, kr. pr. Nm³ CH₄	2,52	2,06	1,97

Tabellen viser de beregnede produktionsomkostninger til mellem ca. 2 og 2,5 kr. pr. Nm³ CH₄. Erfaringsmæssigt er anlæggene villige til at betale op til 2,5 kr. pr. m³ methan for de mest attraktive restbiomasser. Med de for tiden meget høje gaspriser og stigende konkurrence om affaldet er der givetvis et opadgående pres på betalingsvilligheden.

7. Konklusion

Under de anvendte forudsætninger er roetop-halmensilage en udmærket biomasse til biogasproduktion. Både med hensyn til energiindhold og produktionsomkostninger til etablering af ensilagen er den konkurrencedygtig i forhold til for eksempel energiafgrøden majsensilage.

Ved en omkostning på halm til 500 kr/ton er halmen lidt dyrere end roetoppen og koster mellem 1,5 og 3,2 kr. pr. m³ methan eller op til 61 øre pr. kg. tørstof afhængigt af halmprisen og bjæringsmetode.

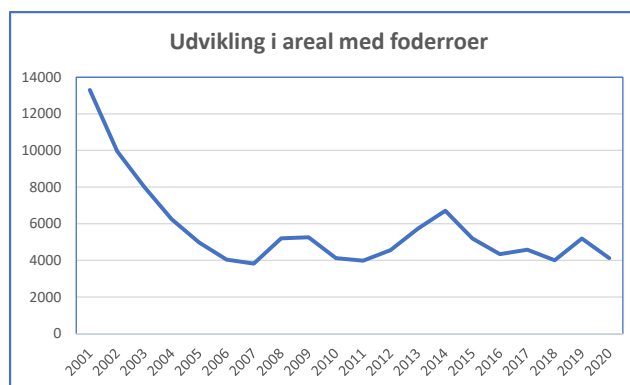
Tilsvarende koster roetoppen mellem 2 og 2,25 kr. pr. m³ methan at bjærge eller 59 øre pr. kg. tørstof.

Blandingsensilagen kan etableres for mellem 2 og 2,50 kr. pr. m³ methan eller 60 øre pr. kg. tørstof.

8. Perspektivering

Det er for ganske nylig besluttet at energiafgrøder til biogasproduktion over en kort årrække skal så godt som udfases i Danmark. Med de forudsætninger der er anvendt i nærværende analyser, viser beregningerne at roetop-halmensilage er et rigtig godt og rimeligt alternativ til traditionelle energiafgrøder som majsensilage. Hvor roerne hidtil er dyrket til biogasproduktion og roetop dermed ligeledes har været til rådighed, vil potentialet blive reduceret i takt med at roerne som energiafgrøde udfases.

Der synes at være et potentiale for at øge mængderne af roetop til biogasproduktion i det omfang mælkeproducenter vil genoptage anvendelsen af roer i foderrationen til køerne. Men det går det desværre mere end trægt med. Ifølge Danmarks Statistik er der siden 2005 kun dyrket omkring 5.000 ha. med foderroer. Årsagen hertil er at håndteringen af roerne er mere besværlig end majs, som kan bjærges og håndteres særdeles rationelt. Derfor foretrækker de fleste mælkeproducenter tilsyneladende majs, selvom roerne har potentiale for et højere udbytte pr. ha.



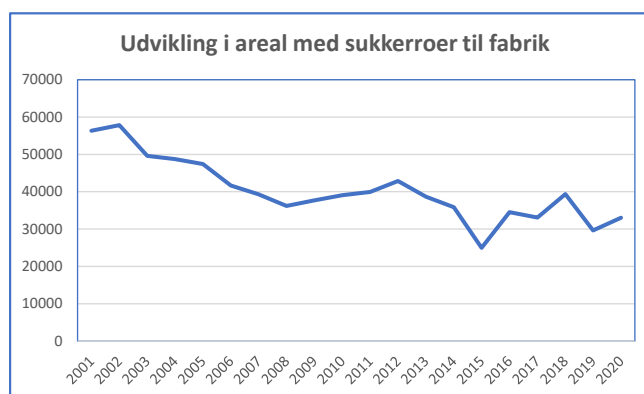
Figur 1. Udvikling i areal med foderroer

Kilde: Danmarks Statistik



En anden barriere er, at der pt. kun findes ganske få roeoptagere der giver mulighed for at opsamle roetoppen. Langt de fleste optagere har en såkaldt integralaftopper, der lægger toppen ned mellem rækkerne, og således ikke kan opsamles. Imidlertid er merinvesteringen for at opnå muligheden for at bjærge roetoppen altså ganske beskednen, og udbud af denne service kan hurtigt brede sig ved nye maskiner så snart efterspørgslen kommer.

På kort sigt er det sandsynligt at det bliver i de områder af Danmark, hvor der dyrkes store arealer med sukkerroer der får mulighed for at realisere det største potentiale, nemlig primært Lolland, Falster og i mindre grad Sydsjælland og Møn.



Figur 2. Udvikling i areal med fabriksroer

Kilde: Danmarks statistik.

Det dyrkede areal med sukkerroer til fabrik er faldet relativt kraftigt efter årtusindskiftet, det svinger lidt, men ligger nu mellem 30 og 40.000 ha. ifølge Danmarks Statistik. Hvis der for hver af 35.000 ha. kan bjærges 36 ton roetop, som er beregnet i denne analyse, kan der i alt bjærges 1,3 mio. ton frisk roetop. Det kan blandes med 390.000 ton halm ved 30 % iblanding, så der i alt produceres knap 1,7 mio. ton roetop-halm ensilage. Med et beregnet methanudbytte på 80 Nm³ CH₄ pr. ton kan det samlede methanpotentiale for roetop-halmensilage beregnes til 135 mio. Nm³ CH₄. Der findes i dag 2-3 mio. ton halm, der ikke nyttiggøres til energi, så potentialet her er betydeligt større, men roetoppen slipper op først. Men det betyder også at roetop-halmensilage kan udgøre et meget væsentligt biomassegrundlag for adskillige nye store biogasanlæg (eller eksisterende) også betydeligt flere end der er gylle til på Lolland, Falster Sydsjælland og Møn. Derved vil der være et potentiale for at eksportere roetop-halmensilage til biogasanlæg i andre dele af Danmark.