



MODELVÆRKTØJ

- BIOMASSE FRA MARKEN TIL VÆRKET

I. KJÆRGAARD, M. STØCKLER, H. MORTENSEN, C.G. SØRENSEN OG K. TYBIRK
DCA RAPPORT NR. 050 · DECEMBER 2014



AARHUS
UNIVERSITET

DCA - NATIONALT CENTER FOR FØDEVARER OG JORDBRUG

Modelværktøj – biomasse fra marken til værket

Supplerende oplysninger og præciseringer (oktober 2019)

I bestræbelsen på at rapporten lever op til Aarhus Universitetets retningslinjer for transparens og deklarering af eksternt samarbejde gives følgende supplerende oplysninger og præciseringer, som er udarbejdet i samarbejde mellem forsker(e) og AU/STs dekanat:

Som det fremgår af rapporten, er den en del-rapportering af projektet Fra natur til værk: Biomasse til energi. Projektet har været koordineret af Agro Business Park.

Eksterne projektpartnere har været Region Midtjylland, Agro Business Park, Videnscenter for Landbrug (VFL, nu SEGES), INBIOM, C.F. Nielsen og Maabjerg Energy Concept.

Region Midt har bidraget med en del af finansiering som beskrevet i rapporten og har udliciteret projektet til Agro Business Park, der har udarbejdet en samarbejdsaftale med de deltagende parter.

Agro Business Park v/Knud Tybirk har som projektleder sørget for fremdrift og har desuden bidraget med faglig, operationel viden om biogasanlæg og om biomassehåndtering i forbindelse med biogasanlæg.

VFL/SEGES har leveret en empirisk økonomimodel.

C.F. Nielsen har bidraget med ca. halvdelen af projektets økonomi ved in-kind-finansiering i form af et mobilt briketteringsanlæg. Denne del er således ikke medfinansieret af Region Midt.

Maabjerg Energy Concept har bidraget med konceptudvikling vedrørende bæredygtig og helhedsorienteret energiløsning baseret på lokale råvarer, specifikt Måbjerganlægget.

Rapportens hovedforfatter er Ida Kjærgaard og de øvrige forfattere har bidraget på følgende vis til rapporten:

- Ida Kjærgaard (VLF, nu SEGES): Bidrag vedrørende opstilling af økonomisk model for forsyningskæde.
- Michael Støckler (VLF, nu SEGES): Bidrag vedrørende kortlægning af tilgængelig biomasseopgørelse, kortlægning af regional biomasse.
- Henrik Mortensen (AU): Bidrag vedrørende tekniske opgørelser af ressourcer og kapacitet af de tekniske systemer i logistikkæden
- Claus Grøn Sørensen (AU): Bidrag vedrørende opstilling af en driftsteknisk logistikmodel, hvor modelopbygning tidligere er peer reviewet. Modellen er anvendt uden indflydelse fra eksterne parter.
- Knud Tybirk (Agro Business Park): Bidrag vedrørende faglig sparring, redaktionel korrektur, samt specifik input vedrørende biomasseteknologi, lagringsmetoder m.m.

MODELVÆRKTØJ

- BIOMASSE FRA MARKEN TIL VÆRKET

DCA RAPPORT NR. 050 · DECEMBER 2014



Ida Kjærgaard², Michael Støckler², Henrik Mortensen¹, Claus Grøn Sørensen¹ og Knud Tybirk³

Aarhus Universitet¹
Institut for Ingeniørvidenskab
Blichers Alle 20
8830 Tjele

Videncentret for Landbrug²
Agro Food Park 15
8200 Aarhus N

Agro Business Park³
Niels Pedersens Allé 2
8830 Tjele

MODELVÆRKTØJ

- BIOMASSE FRA MARKEN TIL VÆRKET

Serietitel: DCA rapport
Nr.: 050
Forfattere: Ida Kjærgaard, Michael Støckler, Henrik Mortensen, Claus Grøn Sørensen og Knud Tybirk
Udgiver: DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Blichers Allé 20, postboks 50, 8830 Tjele. Tlf. 8715 1248, e-mail: dca@au.dk, hjemmeside: www.dca.au.dk
Fotograf: Forsidefoto: Knud Tybirk
Tryk: www.digisource.dk
Udgivelsesår: 2014
Gengivelse er tilladt med kildeangivelse
ISBN: 978-87-93176-48-5
ISSN: 2245-1684

Rapporterne kan hentes gratis på www.dca.au.dk

Rapport

Rapporterne indeholder hovedsageligt afrapportering fra forskningsprojekter, oversigtsrapporter over faglige emner, vidensynteser, rapporter og redegørelser til myndigheder, tekniske afprøvninger, vejledninger osv.

Forord

Siden lanceringen af planerne i Måbjerg for både et biogasanlæg og et halmbaseret ethanolanlæg har der været debat om, hvorvidt der nu er nok biomasse lokalt til så store anlæg, og hvordan det evt. vil kunne påvirke priserne lokalt – eller måske i en hel region.

Som en del af projektet Fra natur til værk: Biomasse til Energi er der med økonomisk støtte fra Region Midt og de deltagende partnere udviklet et værktøj til at analysere værdikæden af en biomasse fra marken til værket. Denne rapport dokumenterer dette modelværktøj og illustrerer med nogle udvalgte cases, hvad værktøjet kan bruges til.

Formålet er at udvikle og demonstrere et værktøj, der kan udarbejde en nuanceret og balanceret 'foderplan' for et værk/biogasanlæg i det relevante opland. Desuden kan værktøjet konsekvensberegne den logistiske forsyningskæde fra stald/natur/mark til værk og beregne konsekvenser af forskellige ændringer i f.eks. pris, +/- forbehandling, biomassekvalitet mv. i form af omkostninger, CO₂ mv., inklusive en fordeling over året.

Værktøjet kan bruges af investorer og anlægsejere til at få analyseret forskellige konkrete scenarier før investering eller gennemførelse af ændringer i de eksisterende værdikæder. Videncentret for Landbrug og Aarhus Universitet kan udføre beregninger til konkrete cases med lokalt og aktuelt datainput for at styrke beslutningsgrundlaget.

Eksemplerne er kun illustrative regneeksempler, som skal tilpasses i hvert tilfælde, hvor man har mere detaljeret viden/værdier end standardmodellen.

Citeres som:

Kjærgaard, I.; Støckler, M.; Mortensen, H.; Sørensen, C.G. og Tybirk, K. 2014. Modelværktøj – Biomasse fra marken til værket. www.inbiom.dk og www.dca.au.dk

Indhold

Forord.....	5
Sammendrag	6
Indledning.....	7
Vidensbaggrund	8
Systemgrænse	10
Håndteringskæder.....	10
Lagring.....	11
<i>Ensilering</i>	11
<i>Wrapning</i>	12
<i>Lagring i hal eller ude</i>	13
<i>Lagring i fortank på biogas anlæg</i>	13
<i>Kvalitetsændring under lagring</i>	13
Modelopbygning	15
Økonomimodel.....	15
Driftsteknisk model.....	15
Lagermodel.....	16
GIS-baseret ressourceopgørelse.....	16
Cases.....	17
Biomasseopgørelse omkring Maabjerg og Biocenter Gudenå	18
Resultater	22
<i>Resultater fra lagermodel</i>	22
<i>Resultater fra driftsteknisk- og økonomimodel</i>	25
<i>Følsomhedsanalyser</i>	27
Konklusion	30
Perspektiver	32
Referencer	33
Bilag 1	35
Bilag 2.....	38
Bilag 3.....	39
Bilag 4.....	42
Bilag 5.....	44
Bilag 6.....	45

Sammendrag

Rapporten præsenterer en værdikædemodel, der med konkrete indtastede data og priser kan estimere omkostninger, driftstekniske og miljømæssige effekter i forbindelse med enhedsoperationer i forsyningskæden for biomasser til anlæg. Modellen analyserer:

- tilgængelig biomasse i et givet opland over tid som grundlag for lagerstyring
- den logistiske forsyningskæde fra mark til værk
- centrale parametre som grundlag for beslutning om leverancer og prisforhandlinger
- kapacitet, direkte ressourceforbrug ved håndtering, miljøeffekt m.m.

Resultatet er en optimeret mobilisering af biomasser med minimal miljøpåvirkning og minimal energitab til en fornuftig pris og tilstrækkelig kvalitet.

Konkret består værktøjet af tre elementer integreret i en model: GIS-baseret ressourceopgørelse – et årshjul i form af biomassetilgængelighed over tid – samt værdikædeanalyse for 5 hovedtyper af biomasse (halm, dybstrøelse, enggræs, roer og gylle).

Værktøjet er anvendt på to cases, herunder Måbjerg Energy Concept (MEC) og Biocenter Gudenå. MEC-casen er baseret på to scenarier. Et scenarie, hvor halm transporteres som storballer fra mark via midlertidig lager hos landmanden til MEC-anlægget. I det andet scenarie briketteres halmen på decentrale briketteringsstationer, inden det transporteres til MEC. MEC's halmbehov er 300.000 ton halm pr. år.

Modelværktøjet skal have indtastet konkrete tal i hver case, hvor man har konkret viden, f.eks. om priser. Regneeksempler med specifikke valgte forudsætninger viser, at de samlede omkostninger for indtransport og lagring af storballer er 439 kr./ton og for briketter 672 kr./ton med et opland på 80 km fra anlægget. De rene transport- og håndteringsomkostninger er henholdsvis 329 kr./ton og 338 kr./ton.

Brikettering bliver først fordelagtig ved længere transportafstande. Følsomhedsanalyser viser, at hentes al halmen mere end 150 km fra MEC, bliver brikettering attraktivt. Heri er dog ikke indregnet en fordel af at halmen er forbehandlet og lettere at håndtere som briketter.

I modsætning til MEC-bioethanolanlægget er der for et biogasanlæg flere biomasser at vælge imellem, hvilket kræver, at der skal vurderes meget på logistik og lagerstyring af mængder og kvalitet af biomasser. Igen under specifikke valgte forudsætninger er omkostningen til gylle ca. 21 kr. leveret ved anlægget pr tons, mens tilsvarende tal for dybstrøelse og roer er 60-65 kr./tons og enggræs 267 kr./tons.

Casene illustrerer tydeligt, at en investor ud over økonomi skal tage en række strategiske beslutninger for at få en robust og afbalanceret biomasseforsyning afhængig af type af anlæg. Værktøjet kan ikke decideret evaluere en markedssituation, men foretage konsekvensberegninger, der kan understøtte en beslutning om investering.

Indledning

Siden lanceringen af planerne i Måbjerg for både et biogasanlæg og et halmbaseret ethanolanlæg har debatten gået på, om der nu er nok biomasse lokalt til så store anlæg. Der er fokus på, om der er biomasse nok, og på at øge udnyttelsen af biomassen i mange politiske målsætninger, f.eks. i nye tværkommunale strategiske energiplanlægningsprojekter. Et marked for biomasser er ikke afgrænset af kommunale/regionale skel, og prisdannelsen reagerer på udbud og efterspørgsel, som i høj grad er styret af logistik, forsyningssikkerhed, kvalitet og omkostninger.

Det er oplagt, at logistikken er en klar og stigende udfordring jo større værker og biogasanlæg, og der er et stigende behov for analyser af den konkrete situation, før man investerer. Derfor har Region Midt medfinansieret et projekt om at udvikle et værktøj, der kan analysere, hvor meget biomasse der kan skaffes, og hvad omkostningerne (miljømæssigt og økonomisk) vil forventes at være under specifikke valgte forudsætninger.

En biomasse kan håndteres på flere forskellige måder, inden den forarbejdes i f.eks. et biogasanlæg. Der er ikke et endegyldigt svar på, hvordan forsyningskæden vil se ud for en eksakt biomasse, da det afhænger af faktorer som blandt andet høsttidspunkt, biomassens sammensætning, dens lagerstabilitet og ønsket anvendelsestidspunkt i biogasanlægget. Mulighederne er mange, men kun få er optimale ud fra et økonomisk, miljømæssigt og operationelt synspunkt. Videncentret for Landbrug (VFL) og Aarhus Universitet (AU) tager del i projektet *Fra natur til værk*. Formålet med dette projekt er at udvikle en model, der kan estimere omkostninger, driftstekniske og miljømæssige effekter, der er forbundet med hver enkelt enhedsoperation i forsyningskæden og ud fra dette forbedre forsyningskæden for flere biomasser. Specifikt drejer det sig om:

- at analysere tilgængelig biomasse i et givet opland
- at analysere tilgængelig biomasse i et givet opland over tid som grundlag for lagerstyring
- at analysere den logistiske forsyningskæde fra mark til værk og beregne konsekvenser af forskellige ændringer i inputparametre
- at analysere centrale parametre som grundlag for beslutning om leverancer og prisforhandlinger og samtidig bidrage til at vurdere kapacitet, direkte ressourceforbrug ved håndtering, miljøeffekt og markedseffekt
- at analysere en hensigtsmæssig transport af biomasser med minimal miljøpåvirkning og minimalt energitab til en fornuftig pris og tilstrækkelig kvalitet.

Modelarbejdet udføres i samarbejde mellem VFL og AU, hvor VFL opstiller en økonomisk model og Aarhus Universitet en model, der estimerer ressourceinput som energiforbrug og drivhusgaseffekt ved de enkelte operationer i forsyningskæden. Resultatet er en dynamisk, interaktiv model.

Denne model er afprøvet med baggrund i to specifikke lokaliteter i Region Midtjylland, i Maabjerg og Almind, hvorfor henholdsvis Maabjerg værket og Bio-center Gudenå bliver repræsenteret i hver sin case. For at kunne afprøve modellens anvendelighed ud fra specifikt de to cases, er det nødvendigt med en opgørelse over den tilgængelige mængde biomasse og den geografiske placering af biomassen i området omkring hvert anlæg. Derfor udarbejdes en ressourceopgørelse over de valgte biomasser ved hjælp af til-

gængelige GIS-værktøjer. Biomasseopførelsen vil give nogle kvantitative størrelser til at vurdere markedets udbud i de givne områder ved Måbjerg og Almind, Region Midtjylland, Jylland og hele Danmark.

Vidensbaggrund

Forsyningskæder for biomasse involverer forskellige aktører (producenter, transportører m.m.), forskellige processer (produktion af biomassen, evt. lagring, logistik og transport, processering på anlæg) samt ikke mindst planlægning og kontrol (management) af hele kæden. De fleste biomasser bliver produceret over store geografiske områder, de er kun til rådighed i en begrænset periode og skal ofte håndteres som voluminøse materialer. Som et resultat bliver transporten og logistikken mellem produktionsstedet og anlæg en vital del af den overordnede operationelle, økonomiske og energimæssige feasibility af bioenergiproduktionen. Undersøgelser har vist, at transportdelen af biomassen til anlæg i mange tilfælde genererer omkostninger på ca. 50 % af totalen (se f.eks. Hoefnagels et al., 2011). Der er derfor et stort behov for at udvikle metoder til evaluering og i sidste ende decideret optimering af logistikkæden for biomasse og ikke mindst lokalisere nøgleparametre, som specielt påvirker kapacitet og omkostninger i forsyningskæden.

Der eksisterer en stor mængde forskning omkring forsyningskædedesign og logistik for industrielle produkter (f.eks. Xiaoyan et al. 2011), men biomassens specielle karakteristika bevirker, at biomassens flow inden for et netværk ikke kan vurderes på samme måde som for eksempel varme, elektricitet og gas. Derfor er der udviklet en række deciderede optimeringsmodeller relateret til biomasseforsyningskæder og dækkende emner som lagerproblemer og multi-biomasse forsyningskæder (Rentizelas et al., 2009), optimal kapacitet af varme- og kraftgenerering (Freppaz et al., 2004), og relationen mellem fugtighed og energiindhold (Dyken et al., 2010). Andre forskere har udviklet en række modeller og metoder til design og optimering af forsyningskæder for biomasse (se f.eks. Melo et al. (2009)), men karakteristisk for disse tiltag er klart, at der ikke er tilstrækkelig opmærksomhed på de logistiske begrænsninger og usikkerheder forbundet med biomasse produktion, transport, lagerstyring m.m. (Awudu & Zhang, 2011). Ligeledes er en række EU-projekter i gang på området og omfatter f.eks. LogistEC (<http://www.logistecproject.eu/>) og Logistics for Energy Crops' Biomass (http://cordis.europa.eu/project/rcn/104296_en.html), ligesom EURObioref (<http://www.eurobioref.org/>) har udviklet en model for udvalgte europæiske biomasser.

Biomasselogistik involverer to forskellige dele. Den ene del omfatter produktionen af biomasse på det enkelte landbrug, som det første trin i biomassehåndteringskæden. Dette trin er karakteriseret som en lavt industrialiseret proces, hvor der kun er begrænset tradition for at anvende deciderede planlægningsværktøjer. Den anden del vedrører dedikerede transportsystemer og selve behandlingsanlægget som en højt industrialiseret proces med tradition for specialiserede planlægningsværktøjer. Som nævnt har eksisterende analyser og metoder for optimering af biomassekæden ofte fokuseret på dennes delelementer, og der er ikke set en fuldstændig integration.

I forhold til den første del af biomasseforsyningskæden, nemlig produktionsleddet ude hos den enkelte producent af biomasse, er der i de senere år specielt udviklet metoder for optimal logistik og kørselsmønstre på marken og mellem marker (Bochtis and Sørensen, 2010). Test har vist, at implementeringen af disse metoder medfører en potentiel reduktion af den operationelle tid i størrelsesordenen 9 – 17 %, mens den gennemsnitlige brændstofbesparelse – og dermed CO₂ besparelse – lå på ca. 18 % (Future-

Farm, 2010). Disse besparelser ligger grunden for forbedret omkostningseffektivitet og forbedret kulstofbalance for den producerede bioenergi. Betydningen af sidstnævnte understreges yderligere af, at 1/3 af CO₂-emissionen fra landbruget kan henføres til brændstofforbruget på bedriften (Janzen et al., 1999).

Som nævnt i indledningen er projektets formål derfor at fokusere på biomasselogistikken under reelle operationelle betingelser med en bestemt placering og forventet størrelse af anlægget til modtagelse af biomassen. Hensigten er at fokusere på en operationel model med kapacitet for hurtig simulering og konsekvensberegning modsat deciderede optimeringsmodeller, hvor der foretages en optimering under kriterier, som minimerede omkostninger eller minimeret operationstid med et omkostningstungt krav om betydelige datainput for alle relevante parametre. Derfor udelades for eksempel et såkaldt netværk design med en strategisk bestemmelse af anlæggets placering i forhold til biomasseleverandørerne, og der fokuseres alene på den praktiske udformning af logistikkæden. Forskellige håndteringsteknologier samt konfigurationer af disse vil blive vurderet mht. performance, omkostninger og nødvendige kvalitetsstandarder.

Systemgrænse

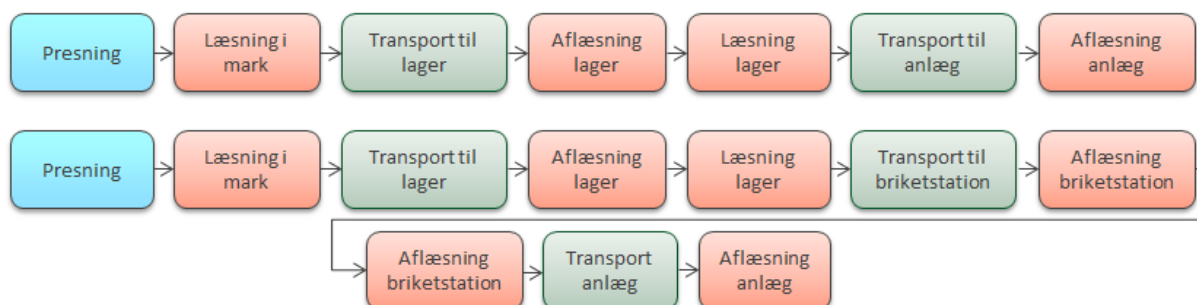
Der er i dette projekt udviklet modeller, der kan simulere transport, lagring og bearbejdning af store mængder biomasser. Modellerne har fokus på økonomien og de driftstekniske faktorer i de forskellige operationer fra mark til biogasanlæg. Der er fokuseret på følgende biomasser:

- Gylle
- Dybstrøelse
- Hvedehalm
- Enggræs
- Roer

Håndteringskæden for disse er vidt forskellig. Biomasserne høstes forskelligt, håndteres forskelligt og udviser varierende lagerstabilitet.

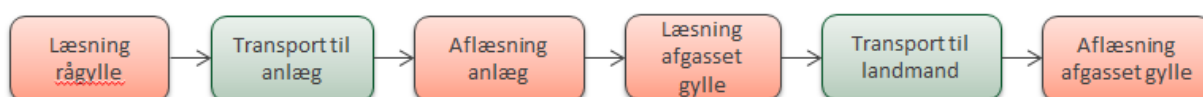
Håndteringskæder

Der er forskellige konfigurationer af håndteringskæder for biomassehåndtering. Håndteringskæden dækker fra produktion og høst til lagring på biogasanlægget for alle biomasser. En undtagelse er halm, hvortil produktion og høst ikke er medtaget, da disse operationer er allokeret til kornet. Første trin i værdikæden for halm er således sammenrivning og presning af halmen. Halmen køres fra marken til lager hos landmanden. Fra lageret hos landmanden er der 2 scenarier: Der kan køres direkte til biogasanlægget med halmen eller halmen kan briketteres. Dette sker på en briketteringsstation (25 km radius fra stationen), hvor halmen forarbejdes til briketter. Disse transporteres herefter til biogasanlægget. Se Figur 1.



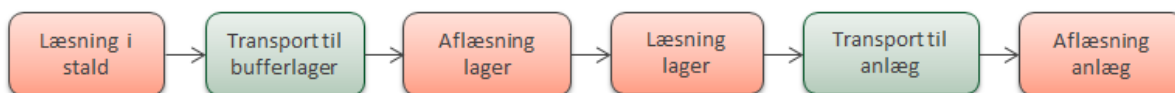
Figur 1: Håndteringskæde for ubehandlet halm og briketteret halm.

Gylle og dybstrøelse er begge restprodukter fra husdyrproduktionen. Forsyningskæden for gylle strækker sig fra opsamling af gylle fra bedriftens fortank til det overføres til biogasanlæggets fortank. Se Figur 2.



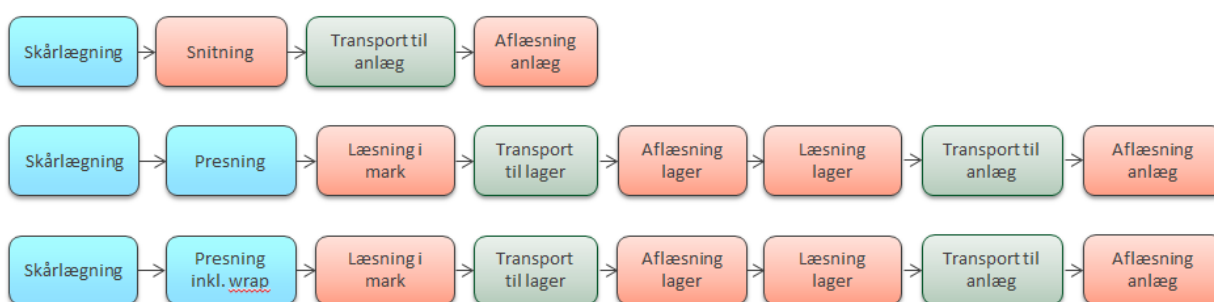
Figur 2: Håndteringskæde for gylle.

For dybstrøelse vil første trin i forsyningskæden være opsamling af biomassen i stalden, hvorefter den aflæsses på en plads eller lignende på bedriften, og sidste trin vil være lagring af biomassen i stak ved biogasanlægget. Se Figur 3.



Figur 3: Håndteringskæde for dybstrøelse.

Enggræs er høstet på "lave ekstensive arealer" med mindre køretøjer. Der kan vælges tre mulige scenarier, - se Figur 4. Alle indeholder skårlægning først, for at gøre biomassen så tør som mulig. Den næste mulighed er at snitte græsset og køre det direkte til biogasanlægget. Nr. 2 mulighed er at presse det i rundballer, som lagres i stak ved marken. Derefter bliver det læsset på en lastbil, som kører det til biogasanlægget. Den 3. mulighed er identisk med nr. 2, bare med den forskel at rundballerne er wrappet for at øge lagringstiden.



Figur 4: Tre håndteringskæder for enggræs.

Roer optages med tankmaskine og aflæsses i kule på marken. Herefter læsses roerne med gummiged på lastbil, som afleverer dem på biogasanlægget, hvor de ensileres - se Figur 5.



Figur 5: Håndteringskæde for roer.

Håndteringskæderne er driftsteknisk og økonomisk vurderet med fokus på de enkelte deloperationer. I håndteringskæderne indgår lagring af biomasserne, som har indflydelse på konfigurationen af håndteringskæden. Lagring kan foregå på forskellige måder afhængig af sammensætningen af biomassen.

Lagring

Af lagringsmetoder kan nævnes ensilering i plansilo, wrapning, lagring i hal eller ude samt lagring i tank. Lagringsmetoden afhænger blandt andet af tørstofindholdet i biomassen.

Ensilering

Biomasser med en lav tørstofprocent svarende til 20-45 % lagres mest optimalt ved ensilering for at undgå svampevækst eller anden forringelse. Ensilering foregår normalt i en plansilo/køresilo, hvor biomassen komprimeres så meget, at anaerobe forhold optræder. Det tager minimum fire uger at få ensileringsprocessen til at løbe til ende. Den tid, ensileringsprocessen vil tage, afhænger af biomassens bufferkapa-

citet. Under ensileringsprocessen falder pH under dannelse af mælkesyre og eddikesyre. Et højt indhold af mælkesyre sikrer en god konservering, og forholdet mellem mælke- og eddikesyresyre bør mindst være 3:1, og gerne 5:1 (Attermann *et al.*, 2003).



Figur 6: Til venstre: ensilering af hele roer i plansilo (Larsen 2012). Til højre: Ensilering af græs.

Roer har et tørstofindhold på 20 % og skal derfor ensileres ved længere tids lagring. Roerne vil kunne anvendes hele året rundt efter en fuld ensileringsproces. Roer kan ved længere tids opbevaring lagres som hele roer eller som roepulp i en tank eller lagune. Ved korttidsoptagelse kan roer lagres i en kule. I Figur 6 ses 5.000 tons vaskede roer til ensilering som hele roer. Roerne kan lægges i en højde op til seks meter, og plansiloen er konstrueret med mulighed for saftafløb gennem dræn i bunden (Larsen, 2012). Det kan også være nødvendigt at ensilere enggræs. Det kommer dog an på tørstofindholdet, som varierer meget. Den kritiske pH-værdi afhænger af tørstofindholdet. F.eks. skal pH under 4,2 for at sikre en god ensileringskvalitet, hvis græsensilagens tørstofindhold er 20 %, hvorimod en god ensileringskvalitet kan fås ved pH under 4,8 ved et tørstofindhold på 45 % (Attermann *et al.*, 2003).

Wrapning

Det er nødvendigt at wrappe biomasser med et tørstofindhold på 45-85 %. En biomasse er først lagerstabil, når tørstoffet er 85 %. Det er ikke velegnet at ensilere biomasser med et tørstofindhold på 45-85 %, da det ikke vil være muligt at fastholde den komprimering, der er ved ensilering, hvorfor ilt vil sive ind mellem biomassen og starte omsætning af biomassen til CO₂. De samme mikrobiologiske processer forløber ved wrapning som ved ensilering i plansilo. Der skabes iltfrie forhold, og biomassen konserveres efter en tid.



Figur 7: Græs i wraprundballer lagret på endefladerne.

Blandt de biomasser, som arbejdes med her, vil wrapning kun kunne blive aktuelt for lagring af enggræs, da tørstofindholdet i enggræs kan ligge i dette tørstofsinterval. Wrappede rundballer står bedst på endefladerne, hvor der er flest lag plastik (Attermann *et al* 2003). Dette er vist i Figur 7.

Lagring i hal eller ude

Lagring i hal eller lignende er specielt velegnet til tørre biomasser som halm for at bevare lagerstabiliteten. Halm har et tørstofindhold på 85-95 %. Der er stort set ingen tab af energi ved lagring af tørre biomasser i hal eller staklade. Halm presses ofte i storballer. Storballer er ikke velegnede til at blive lagret udenfor på mark eller plads over en længere periode.



Figur 8: Til venstre: halm i storballer lagret i staklade. Til højre: Græs i rundballer lagret ude på den runde side.

Enggræs har et meget varierende tørstofindhold, som afhænger af området, hvor det høstes. I nogle områder med enggræs høstes græsset med et tørstofindhold tæt på 85 %. I sådan et tilfælde vil man lade enggræsset ligge på marken og tørre, til det er lagerstabilt og derefter presse det i baller. Enggræs presses i rundballer pga. arealernes sårbarhed over for tung trafik (Bertelsen *et al*, 2012). Forsøg med presning af enggræs i rundballer viste en gennemsnitlig vægt af ballererne på 280 kg (Høy, 2010), hvorimod storballer vejer ca. 550 kg. Enggræs i rundballer behøver ikke nødvendigvis at blive lagret i en staklade eller lignende, da regn ikke i samme omfang kan trænge ind i ballen, hvis den lagres stående på den runde side, som vist i Figur 8.

Lagring i fortank på biogas anlæg

Flydende biomasse som gylle lagres som regel i biogasanlæggets fortank. I nogle tilfælde blandes dybstrøelsen sammen med gyllen i fortanken. Det kommer imidlertid an på, hvor systematisk dybstrøelsen kommer frem til biogasanlægget, samt hvorledes mængden vægter i forhold til mængden af gylle. Kommer dybstrøelsen jævnt over tid og i mindre mængder, lagres det sammen med gylle i fortanken. Bliver mængden af dybstrøelse for stor, så anlægget ikke kan håndtere det rent mekanisk, vil dybstrøelsen blive lagret på en plads med kloakfløb til fortanken med gylle. Få biogasanlæg har en blande- og neddelingstank til dybstrøelse med det formål at få gjort dybstrøelsen mere flydende, så det kan pumpes direkte til fortank eller rådnetank. Den gennemsnitlige opholdstid i en fortank er 4-7 dage.

Kvalitetsændring under lagring

Under lagring ændres biomassen kvantitativt og kvalitativt. Ved ensilering i plansilo vil der ske små tab af energi trods konserveringen, fordi der altid vil være lidt ilt til stede. Der er et tab på omkring 7 % tørstof ved ensilering af græs fra høstudbyttet til opfodret udbytte (Farmtal Online, 2013a). Laursen (2011)

fra Videncentret for Landbrug har imidlertid udført et forsøg på fire bedrifter, hvor ensileringstab fra græsensilage varierede fra 0,5-6,7 % tørstof med et tab på gennemsnitlig 3,7 % tørstof.

Tabet vil være større ved wrapping af græs i baller, da overfladen i forhold til volumen er større ved baller end overfladen af biomassen i en plansilo, hvorfor adgangen for ilt er større.

Lagringstab for ensilerede roer er endnu ikke undersøgt, men der er planlagt aktiviteter i slutningen af 2014 med henblik på bl.a. at undersøge dette. Tabet ved lagring af friske roer i kule ligger på 9 % tørstof (Farmtal Online, 2013b).

Under ensilering sker der en depolymerisering af biomassen, og der dannes blandt andet mælkesyre, men også små mængder CO₂. I rådnetanken vil der ske en forgæring af mælkesyren under dannelse af kuldioxid og reducerende stoffer. Biogaspotentialt efter lagring falder, da noget af biogassen i form af CO₂ fordamper under lagring, men methanpotentialt falder ikke betydeligt. Der vil derfor være en højere metanprocent i den producerede gas i rådnetanken. Totalt set betyder det dog ikke, at der produceres mere metan pga. tabet af tørstof.

Under lagring af dybstrøelse sker der en kompostering og dermed tab af energi, når der er ilt tilstede. Ifølge Sommer (2001) er der et tab på 48,5 % kulstof ved lagring af ubehandlet dybstrøelse fra malkekøer i 132 dage. Det svarer til, at ca. 55 % af det organiske stof er tabt efter lagring. Dybstrøelse vil dog kun være lagret op til 14 dage på biogasanlægget, hvorfor der må påregnes et mindre tab af organisk stof. Generelt afhænger tabets størrelse blandt andet af, om dybstrøelsen stammer fra kvæg, kalve, søer m.fl. Tabet vil være lavere i dybstrøelse fra kvæg end f.eks. fra kalve, fordi dybstrøelsen kan være så fast sammenrampet, at der næppe vil kunne komme ilt i væsentlige mængder ned i materialet. Der bruges mere halm til kalve, og dybstrøelsen er mere løs, hvorfor adgangen for ilt er større. For at minimere tabet fra dybstrøelse skal det ikke flyttes mange gange, for hver gang det sker, iltes biomassen (Møller & Jørgensen, 2003).

Gylle lagres kun i 4-7 dage inden anvendelse i rådnetanken. Fortanken, hvor gyllen er lagret inden anvendelse, er ikke tempereret. Temperaturen varierer derfor fra 5-20 grader afhængig af årstiden. Møller *et al* (2004) har undersøgt tabet af kulstof fra gylle ved lagring, og de fandt et akkumulerende tab på 1,8-3,8 % kulstof efter fem dages lagring ved 15 grader. Tabet er udregnet på basis af det nedbrydelige organiske stof i kvæg- og svinegyde. Det højeste tab var observeret fra lagring af kvæggylle, og det laveste fra lagring af svinegyde. Tabene er således beskedne ved korttidslagring, som er tilfældet i modellen. Indholdet af de flygtige syrer stiger inden for de første fem dage, men den faktiske fordeling mellem de forskellige flygtige syrer er konstant inden for samme periode (Møller *et al*, 2004). Der er således kun et beskedent stof- og energitab.

Ovenstående fakta og overvejelser vedrørende lagring og kvalitet har dannet grobund for modeludviklingen for de fem biomasser.

Modelopbygning

VLF's samt AU's bidrag til modellerne er opbygget i Excel[®]. Modelværktøjet er opbygget med tilgængelige data, men for konkrete beregninger er der mulighed for at indtaste andre priser eller driftstekniske data.

Økonomimodel

Modellen er bygget op således, at den består af fem submodeller, én for hver biomasse. Hver submodel består bl.a. af et forudsætningsark, hvor alle forudsætninger kan indtastes. Disse involverer tørstofprocent, pristimesatser for de forskellige maskiner og vogne, kapaciteter, tidsforbrug, transportdistance, virkningsgrad i gasmotor og pris for el og varme. Disse værdier er alle variable og kan ændres, hvis der er grundlag for det. Modellen udregner i sådan et tilfælde de nye resultater automatisk i selve modelarket. Dette ark består af en række forskellige deloperationer.

Alle er delt op i følgende kategorier:

- Biomasse (f.eks. markudbytte, markstørrelse, tørstofprocent)
- Produktion og høst (stykombkostninger og maskin- og arbejdsombkostninger)
- Transport (tidsforbrug på læsning, kørsel og aflæsning)
- Lagring (lagringsmetoder)
- Evt. forbehandling (brikettering)
- Gasudbytte og gasmotorvirkningsgrad

Omkostningen for hver kategori er opgivet i kr. pr tons biomasse, således at omkostningerne er sammenlignelige. Der er korrigeret for eventuelle begrænsede kapaciteter af maskiner og lagre, således, at f. eks. omkostningen for lagring varierer og vil være lavest, når kapaciteten er udnyttet fuldt ud. Der er imidlertid ikke taget højde for, at anden biomasse måske kan optage den frie kapacitet, hvilket vil minimere lagerombkostninger pr ton, hvis kapaciteten ikke udnyttes.

Priserne for maskiner og vogne er baseret på maskinstationspriser, hvor løn til arbejdskraften, forsikring og afskrivning af maskiner også er inkluderet. Tidsforbruget for de enkelte operationer er baseret på tilgængelige driftstekniske data. Forbehandlingerne er begrænset til brikettering af halm, og modellen beregner omkostningerne ved brikettering. I Bilag 1 er vist et eksempel på en submodel, som i dette tilfælde er for halm.

Driftsteknisk model

Modellen er som økonomimodellen bygget op af en række delmodeller repræsenterende de forskellige biomasser. Modellen er interaktiv og baserer sig på en række driftstekniske grunddata for forskellige deloperationer i håndteringskæden for biomasse (f.eks. Nielsen & Sørensen, 1996; Sørensen, 2003).

Hver submodel indeholder skemaer til indtastning af forudsætninger, beregninger af ressourceforbrug samt visning af nøgleresultater. Fremgangsmåden ved brug af modellen er som følger: I skemaet *Håndtering af Biomasser* vælges fra fem forskellige biomasser: Halm, gylle, roer, dybstrøelse og enggræs. Man vælger biomasse, og herefter "starter" modellen i et *Forudsætningsark*. I dette ark er det muligt at indta-

ste/vælg forudsætninger for den pågældende biomasse. Det kan være f.eks. kapacitet, antal ha, udbytte, læsvægte, transportafstand, tidsforbrug for ”deloperationer”, brændstofforbrug/time, udledning af drivhusgasser samt CO₂-udledning (se f.eks. Bilag 5). Når der er valgt forudsætninger i skemaet, er disse automatisk overført til et *Beregningsark*, hvor de valgte data er indarbejdet i beregningen. For at lette overskueligheden er der endvidere overført data til et *Resultatskema*, hvor ”hovedtal” er vist.

Lagermodel

Indfødning af biomasse til et biogasanlæg kræver optimering af, hvilke biomasser der er tilgængelige, og hvornår biomasserne tilføres anlægget, så biogasanlægget kan tilpasse sin produktion af biogas og undgå forskellige former for hæmning som substrathæmning og ammoniakhæmning. Som allerede beskrevet, så er nogle biomasser kun tilgængelige få måneder om året, og kvaliteten af dem kan være ændret siden høst. Der arbejdes derfor med at udvikle en model – et såkaldt årshjul for de valgte biomasser. Dette årshjul skal fungere som en lagerstyringsmodel, hvorfra biogasanlægget kan tilpasse indfødingen af biomasse med henblik på at optimere gasproduktionen og udnyttelsen af hver biomasse. På sigt skal modellen også modelleres til at korrigere for den kvalitetsændring, der er for hver biomasse under lagring, som funktion af tid. Modellen er bygget op på ugebasis, således at hver uge har en fane. I hver fane er der angivet lagerbeholdningen fra ugen forinden, indtastningsfelter til at registrere den tilførte og den fraførte biomasse den givne uge og til sidst den lagerbeholdning, som er tilbage, når den pågældende uge er passeret. Denne mængde svarer til startlagerbeholdningen ugen efter. Lagerbeholdningen er både angivet i vådvægtmængde, tørstofmængde, organisk stof, total kvælstof, fosfor, kalium og metan. Dette er vist i Bilag 2.

Modellen vil således også give en oversigt over, hvad og hvor meget biomasse der er tilført og fraført samlet for et år samt en grafisk afbildning af den forventede gasproduktion sammenholdt med biomasse-tilsætningen. Det bliver således muligt at observere en uheldig tilsætning af biomasse ved hjælp af modellen og at kunne imødegå en evt. forudsagt faldende gasproduktion. Denne kan i så fald spores tilbage på biomassens mængde, indholdsstoffer eller sammensætning. Lagermodellen indikerer også, hvor stor en mængde, der er at arbejde med.

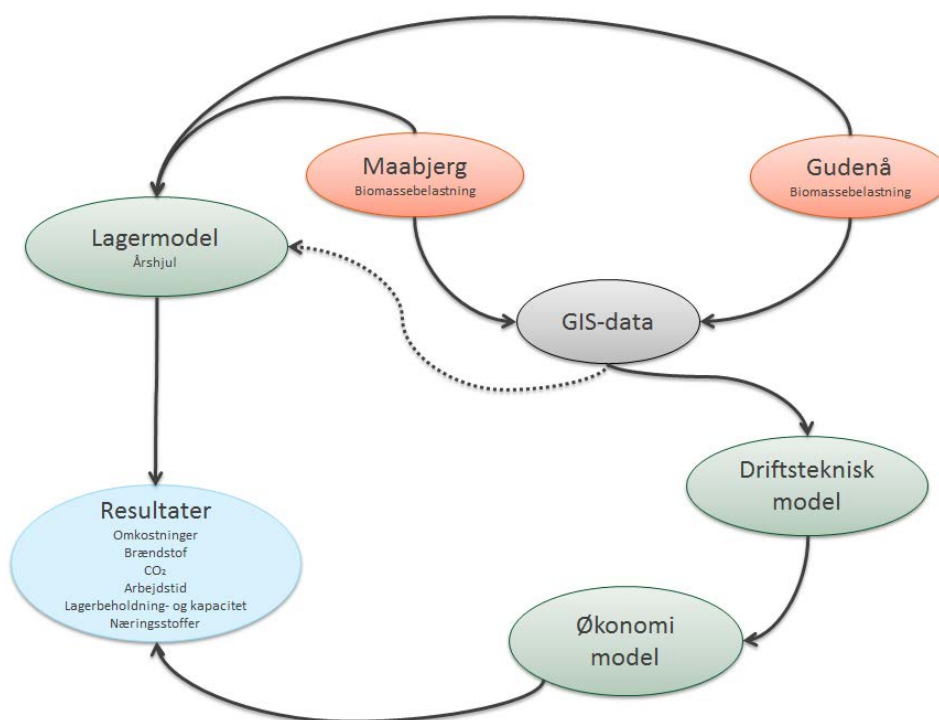
GIS-baseret ressourceopgørelse

Biomasseopgørelsen opgøres ved hjælp af GIS, som er et værktøj, der kan opgøre den eksakte mængde af en given biomasse i forskellige afstande fra en given placering. Programmet angiver hvor meget biomasse, der produceres inden for et antal koncentriske cirkler. Antallet af koncentriske cirkler afhænger af, hvor langt væk fra anlægget der ønskes en opgørelse. Hver koncentrisk cirkel repræsenterer en given afstand fra et anlæg. Den inderste cirkel repræsenterer området op til fem km fra anlægget, og hver efterfølgende cirkel svarer til en afstand fra anlægget på yderligere fem km.

Cases

Værdikædeanalysen er som sagt afprøvet med baggrund i to specifikke lokaliteter i Region Midtjylland, i Maabjerg og Almind, hvorfor henholdsvis Maabjerg værket og Bio-center Gudenå repræsenteres i hver sin case. Proceduren er her før opstart af et givet anlæg at kende anlæggets behov for tilførsel af biomasser. Der tænkes her på gylle, halm, roer, dybstrøelse, enggræs, fjerkrægødning samt animalsk affald. Når behovet er kendt, kan man vha. GIS-data kortlægge hvor meget biomasse, der findes i en given radius fra anlægget. Det vil med andre ord sige: Hvor langt væk fra biogasanlægget skal man hente biomassen for at kunne dække behovet.

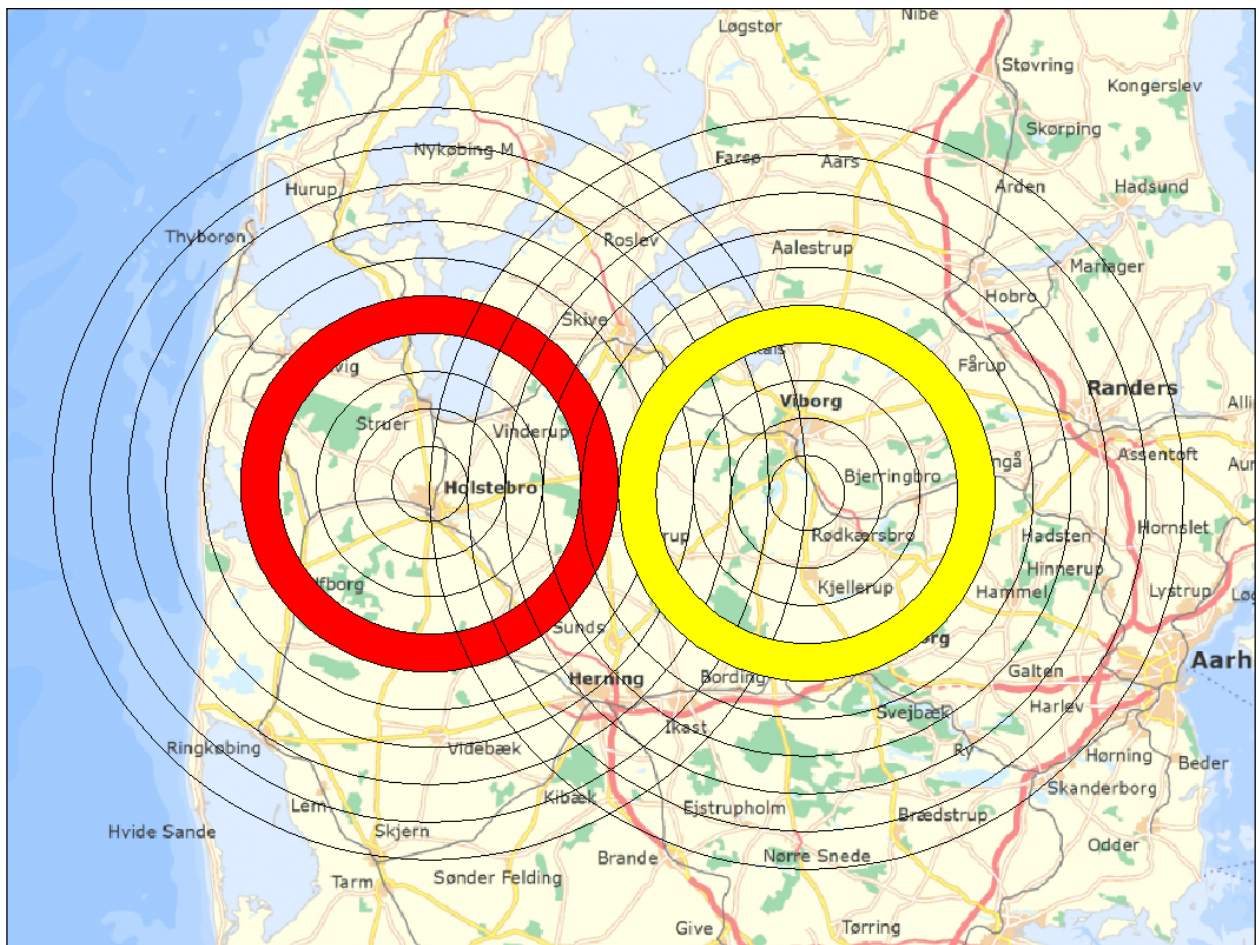
Derefter skal det besluttes, hvorledes biomassen kommer til værket. Her tænkes på faktorer som kapacitet, teknik, logistik, transport mm. Det udviklede værktøj giver mulighed for at vælge forskellige arbejdsgange/tekniker, som alle beregner energi, ressourceforbrug og kapacitet m.m. For de valgte metoder udregnes derudover også udledning af CO₂. Figur 9 viser sammenkoblingen mellem de forskellige elementer i den samlede analysemodel, hvor Maabjerg og Biocenter Gudenå er repræsenteret. De centrale elementer omfatter lokalisering af biomasser ved hjælp af GIS-data, lagermodel for den tidsmæssige tilgængelighed af biomasser, driftstekniske og økonomiske beregninger samt sammenfattende resultater vedr. disse beregninger.



Figur 9: Kobling af elementer i værdikæden.

Biomasseopgørelse omkring Maabjerg og Biocenter Gudenå

De kvantitative mængder af biomasse er opgjort inden for en radius af 80 km fra henholdsvis Maabjerg værket og Biocenter Gudenå i Almind, som er illustreret i Figur 10.



Figur 10: Geografisk placering af Maabjerg værket (inden for den røde cirkel) og Biocenter Gudenås kommende biogasanlæg (inden for den gule cirkel).

De to anlæg ligger forholdsvis tæt på hinanden geografisk, hvilket betyder, at de koncentriske cirkler fra hvert anlæg overlapper hinanden fra 25-80 km, således at mængden af biomasse overestimeres, hvis mængderne regnes med i begge cases.

Opgørelser for de tre plantebiomasser (enggræs, roer og halm) og for husdyrgødningen, som er baseret på de koncentriske cirkler i Figur 10, er vist i Tabel 1-4 på næste side. I Tabel 5 og 6 er vist en oversigt over de kvantitative mængder i af enggræs, roer, halm og husdyrgødning på landsplan, i Jylland og i Region Midtjylland. I Bilag 3 og 4 ses mere specificerede mængder af alle slags biomasser. F.eks. er gylle fra avlstyre, ammekøer, malkekøer, opdræt, småkalve, ungtyre og tyrekalve lagt sammen under betegnelsen kvæg i nedenstående tabeller. Det gælder for alle mængdeangivelser, at de ikke er akkumulerede.

Tabel 1: Opgørelse over mængden af halm, enggræs og roer fra 2013 i en radius op til 80 km fra Maabjerg værket.

Km	Halm, total			Hvedehalm			Enggræs			Roer		
	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS
5	37	12	10	14	6	5	1	1	0,2	0	0	0
10	104	31	27	25	9	7	9	10	2	0,5	1,2	0,2
15	106	30	26	19	6	5	15	17	3	0,6	1,5	0,2
20	123	36	31	21	7	6	25	26	5	1,5	3,5	0,5
25	171	50	42	31	11	9	38	37	7	1,7	4,0	0,6
30	251	76	65	58	21	18	42	43	8	0,9	2,1	0,3
35	258	80	68	78	29	24	45	42	8	1,5	3,7	0,5
40	294	89	75	77	27	23	43	46	8	1,9	4,5	0,7
45	291	86	73	76	26	22	40	40	7	1,7	4,2	0,6
50	304	92	78	75	27	23	50	51	9	1,0	2,5	0,4
55	257	80	68	64	24	20	63	62	11	1,9	4,6	0,7
60	251	75	63	47	17	15	54	59	11	2,2	5,2	0,8
65	260	77	66	55	18	16	60	61	11	2,4	5,6	0,8
70	318	97	82	86	29	25	64	70	13	1,9	4,6	0,7
75	349	108	92	93	32	27	69	77	14	2,3	5,4	0,8
80	375	120	102	102	37	31	102	95	18	2,1	4,9	0,7
Total	3748	1139	968	922	325	276	720	735	135	24	58	8

Tabel 2: Opgørelse over mængden af halm, enggræs og roer fra 2013 i en radius op til 80 km fra Biocenter Gudenå anlægget.

Km	Halm, total			Hvedehalm			Enggræs			Roer		
	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS	100 Ha	1.000 Ton	1.000 Ton TS
5	24	7	6	6	2	2	5	5	1	0,4	0,9	0,1
10	73	23	19	18	7	6	13	14	3	0,6	1,5	0,2
15	108	34	29	21	7	6	18	20	4	1,0	2,5	0,4
20	131	39	33	29	10	8	39	42	8	1,4	3,4	0,5
25	182	56	47	43	15	12	41	48	9	0,8	1,9	0,3
30	246	77	66	51	19	16	52	55	10	1,6	3,7	0,5
35	257	82	70	77	28	24	61	62	11	2,4	5,6	0,8
40	348	110	93	106	39	33	59	65	12	3,1	7,4	1,1
45	480	152	129	157	56	47	67	74	14	2,8	6,7	1,0
50	488	155	132	169	61	52	70	80	15	1,8	4,3	0,6
55	464	150	128	154	56	47	75	73	13	2,4	5,8	0,8
60	556	183	155	195	73	62	93	90	17	2,9	6,9	1,0
65	594	199	169	217	83	70	79	79	15	2,5	6,0	0,9
70	597	204	173	247	95	81	84	85	16	1,6	3,8	0,6
75	536	178	151	197	75	64	100	91	17	1,7	4,0	0,6
80	597	197	167	217	81	68	97	87	16	1,9	4,6	0,7
Total	5.684	1.846	1.569	1.905	705	599	952	969	178	29	69	10

Tabel 3: Opgørelse over mængden af husdyrgødningen i en radius op til 80 km fra Maabjerg værket. Værdierne i tabellen er opgivet i 1000 tons.

Maabjerg	Svin				Kvæg				Fjerkræ			Pelsdyr
Km	Gylle	Dybstrøelse	Fast gødning	Ajle	Gylle	Dybstrøelse	Fast gødning	Ajle	Gylle	Dybstrøelse	Fast gødning	Gylle
5	39	0,3	-	-	5,8	2,9	0,8	0,5	-	2,8	-	14
10	110	1,1	0,1	0,1	57	23	2,6	1,8	-	6,9	-	48
15	162	3,4	0,0	0,0	188	31	3,7	2,8	-	11,3	0,1	52
20	162	3,4	0,0	0,0	293	38	6,0	4,5	-	2,0	0,0	32
25	280	1,5	0,6	1,3	266	40	4,2	2,9	-	5,9	0,2	52
30	460	2,9	1,0	2,3	325	77	7,2	5,3	6,0	2,7	1,2	41
35	511	4,1	0,7	1,6	383	50	7,6	5,8	-	4,8	1,6	27
40	501	2,3	0,9	2,2	294	64	5,4	4,1	-	3,2	0,0	34
45	553	12	1,3	2,8	335	60	7,1	5,1	-	3,4	1,7	42
50	529	9,2	1,5	3,4	279	73	7,4	5,2	-	2,6	0,2	41
55	361	3,3	0,6	1,4	253	56	12	8,5	0,1	2,1	3,1	27
60	282	2,7	0,6	1,2	464	76	11	7,5	1,7	2,9	2,5	31
65	409	5,7	0,7	1,5	425	85	13	9,6	0,4	0,6	1,5	24
70	460	5,7	1,3	2,8	624	115	12	8,3	4,8	18	3,2	26
75	551	5,3	1,2	2,7	571	114	13	8,8	-	16	0,3	41
80	570	4,7	0,7	1,6	608	119	10	7,2	-	12	0,4	53
Total	5.939	68	11	25	5.371	1.023	123	88	13	97	16	585

Tabel 4: Opgørelse over mængden af husdyrgødningen i en radius op til 80 km fra Biocenter Gudenå anlægget. Værdierne i tabellen er opgivet i 1000 tons.

Almind	Svin				Kvæg				Fjerkræ			Pelsdyr
Km	Gylle	Dybstrøelse	Fast gødning	Ajle	Gylle	Dybstrøelse	Fast gødning	Ajle	Gylle	Dybstrøelse	Fast gødning	Gylle
5	29	0,5	0,1	0,2	37	5,4	0,7	0,5	-	0,003	-	0,4
10	114	1,9	0,1	0,3	64	15	3,3	2,5	-	0,1	0,1	4,4
15	133	2,7	1,4	3,1	158	36	6,1	4,0	-	1,1	1,4	0,2
20	191	1,4	0,4	0,9	207	45	8,7	6,7	-	1,3	1,1	4,6
25	271	4,9	0,8	1,8	238	54	8,7	6,3	6,0	4,4	0,6	17
30	280	5,0	1,3	2,8	310	83	9,2	6,7	-	1,1	0,8	38
35	372	2,8	0,5	1,2	351	69	6,3	4,5	-	8,5	1,7	20
40	488	7,6	1,4	3,1	404	76	7,8	5,3	0,1	5,2	0,5	43
45	684	7,7	2,1	4,6	434	122	16	11	-	13	0,2	44
50	707	8,8	1,3	2,7	563	93	11	7,4	2,0	22	2,3	41
55	638	6,4	1,0	2,2	545	113	14	10	-	8,7	4,3	60
60	879	11	1,6	3,5	490	112	16	12	-	15	1,5	63
65	821	10	1,9	4,2	567	133	16	12	-	16	4,4	44
70	937	7,8	0,9	2,0	464	89	16	11	-	27	1,2	82
75	705	5,8	2,0	4,5	443	88	13	9,0	-	8,5	0,7	84
80	852	13	1,3	2,9	534	119	17	12	6,9	9,1	3,3	82
Total	8.102	97	18	40	5.810	1.251	170	121	15	142	24	629

Tabel 5: Plante-biomasseopgørelse fra 2013 for hele landet, Jylland og Region Midtjylland.

Område		Danmark	Jylland	Region Midtjylland
Halm, total	Ton	4.863.074	3.085.058	1.402.915
	Ton TS	4.133.613	2.622.299	1.192.478
Hvedehalm	Ton	2.233.166	1.220.007	536.959
	Ton TS	1.898.191	1.037.006	456.415
Roer	Ton	1.048.200	137.110	45.478
	Ton TS	152.863	19.995	6.632
Enggræs	Ton	2.537.930	1.879.724	732.252
	Tons TS	465.849	344.631	134.519

Tabel 6: Husdyrgødningsovgørelse fra 2011 for hele landet, Jylland og Region Midtjylland. Værdierne er opgivet i tons.

		Danmark	Jylland	Region Midtjylland
Svin	Gylle	17.657.265	13.631.509	6.202.136
	Dybstrøelse	260.899	190.001	74.280
	Fast gødning	35.615	25.419	13.704
	Ajle	78.851	56.384	30.427
Kvæg	Gylle	12.561.807	11.416.672	3.828.310
	Dybstrøelse	2.847.312	2.237.414	871.906
	Fast gødning	341.833	270.767	127.867
	Ajle	240.468	191.249	91.996
Fjerkræ	Gylle	21.022	15.678	8.075
	Dybstrøelse	294.026	264.615	78.114
	Fast gødning	69.877	51.646	18.566
Pelsdyr	Gylle	1.267.970	1.162.176	490.815

Det skal vurderes, hvor meget af denne mængde det er muligt at få fat i. Der kan være lokale forhold eller prisforhold, som afgør, om det er attraktivt for landmanden at levere til biogasanlægget. I den forbindelse er der udarbejdet en oversigt over den skønnede procentvise del, der er tilgængelig i givne afstande fra anlægget – se Tabel 7. Denne procentsats reduceres jo længere, man kommer væk fra anlægget.

Tabel 7: Tilgængelig biomasse.

Km fra værk	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Halm, %	50	50	50	40	40	40	30	30	30	20	20	20	15	15	15	10	10	10	10	10
Gylle, %	80	60	40	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dybstrøelse, %	80	60	40	30	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Roer, %	50	50	50	40	40	30	30	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Enggræs, %	50	40	30	20	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Resultater

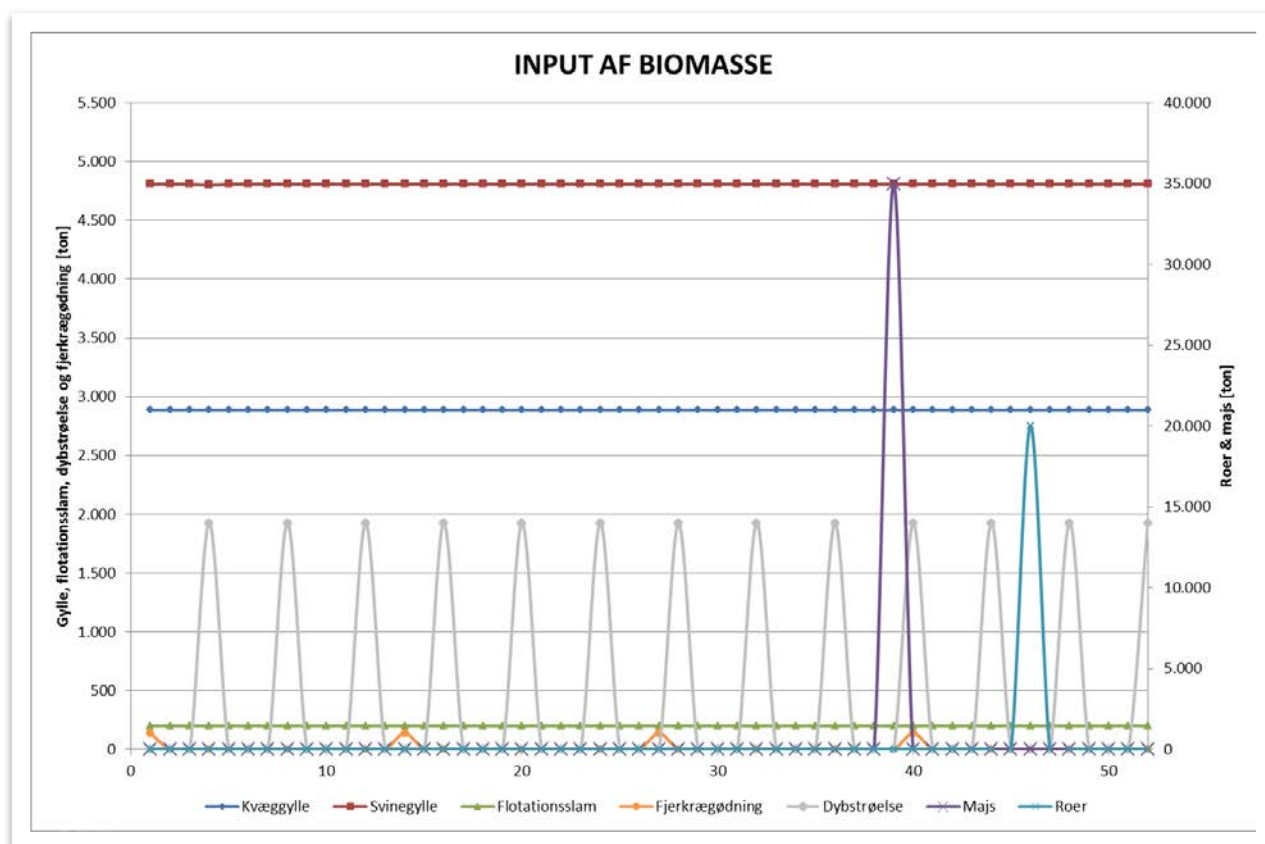
Som tidligere nævnt er både den økonomiske og den driftstekniske model afprøvet med baggrund i to specifikke lokaliteter i Region Midtjylland, i Maabjerg og Almind, hvorfor henholdsvis Maabjerg værket og Bio-center Gudenå bliver repræsenteret i hver sin case.

Resultater fra lagermodel

Lagermodellen er illustreret for Gudenå casen. Lagerbeholdningsmodellen er anvendt på den biomasse, der skal tilføres Biocenter Gudenås biogasanlæg. Biogasanlægget skal belastes med 490.550 tons biomasse pr. år ifølge VVM-redegørelsen. Biomassen er fordelt som følgende:

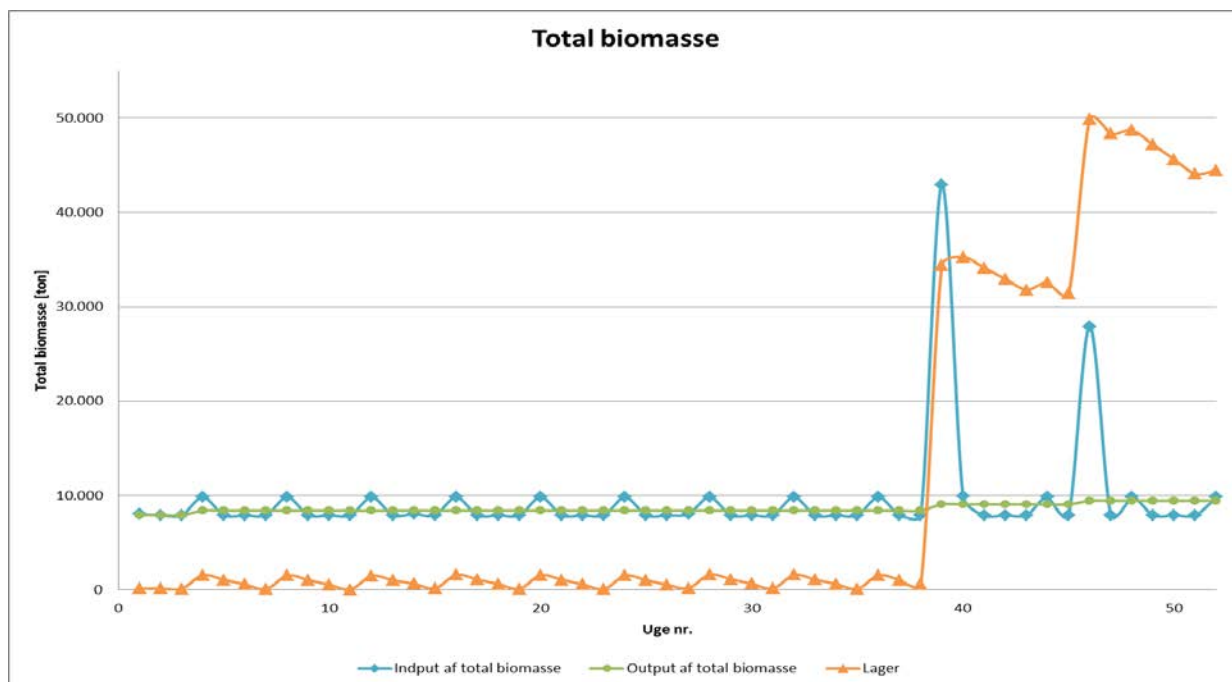
- 20.000 tons roer
- 35.000 tons energiafgrøder (antaget det er majs)
- 150.000 tons kvæggylle
- 150.000 tons svinegylle
- 25.000 tons dybstrøelse
- 550 tons fjerkrægødning
- 10.000 tons animalsk affald (antaget det er flotations slam).

I første driftsår vil der ikke være opbygget et lager af biomasserne, da høsttidspunkterne for biomasserne varierer fra hinanden. Input af de forskellige biomasser over året er vist i Figur 11.



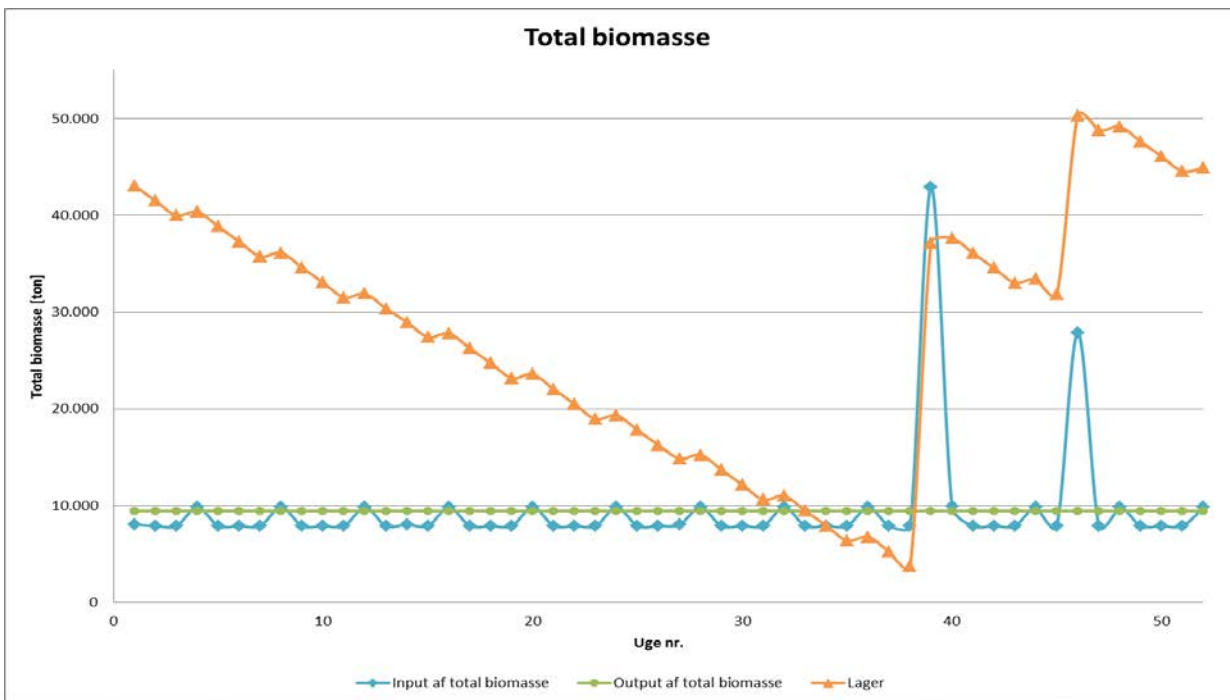
Figur 11: Input af de syv forskellige biomasser.

Majs og roer høstes en gang om året henholdsvis i slutningen af september og i midten af november. Dybstrøelse antages at blive leveret til anlægget hver 4. uge, hvorimod kvæg- og svinegyde samt flotationslam leveres hver uge. Fjerkrægødning formodes at blive leveret en gang i hvert kvartal. Med baggrund i disse antagelser er mængderne indsat i modellen. Modellen er anvendt i to omgange til henholdsvis opstartsåret og det efterfølgende år. Det lager, som bliver opbygget efter første driftsår, er anvendt som startbeholdning i det efterfølgende år. De overordnede resultater for brug af ovenstående biomassesammensætning og mængde er vist i Figur 12 og 13.



Figur 12: Input til lageret, output fra lageret og lagerbeholdningen af den totale biomasse i opstartsåret.

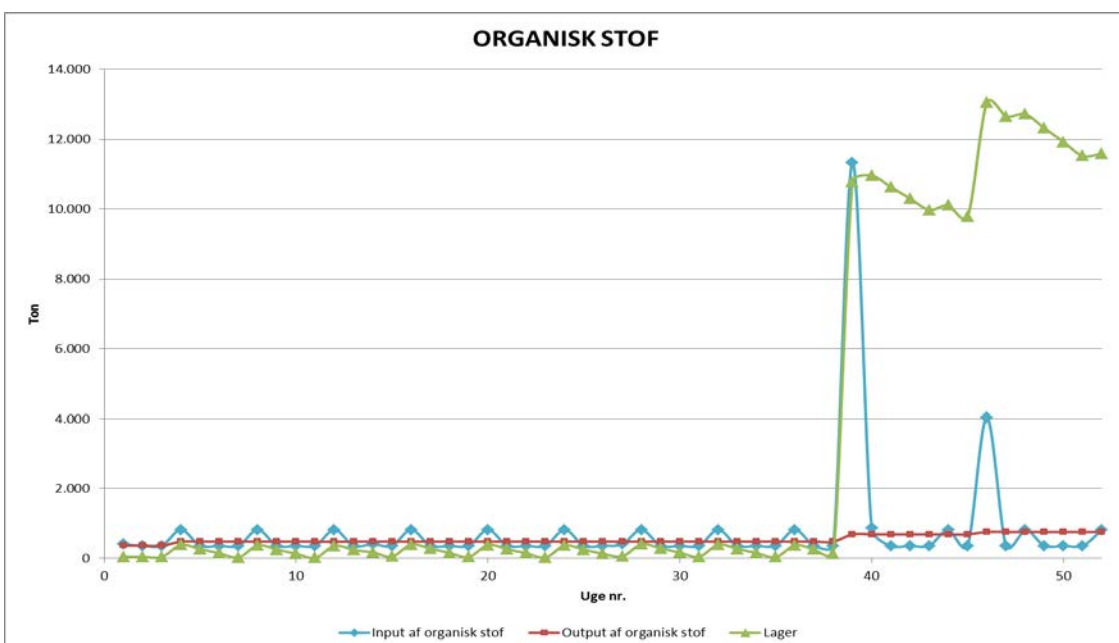
Det ses i Figur 12, at lagerbeholdningen er tilnærmelsesvis nul indtil uge 39, hvor majs høstes og leveres til lageret. Inputkurven har mange små toppe, som skyldes levering af dybstrøelse. De to store toppe viser levering af majs og roer. Outputtet er nogenlunde konstant gennem året. Det stiger lidt efter uge fire, hvor det første læs dybstrøelse leveres til lageret og stiger yderligere lidt efter uge 39 og endnu lidt efter uge 46, hvor henholdsvis majs og roer er på lager.



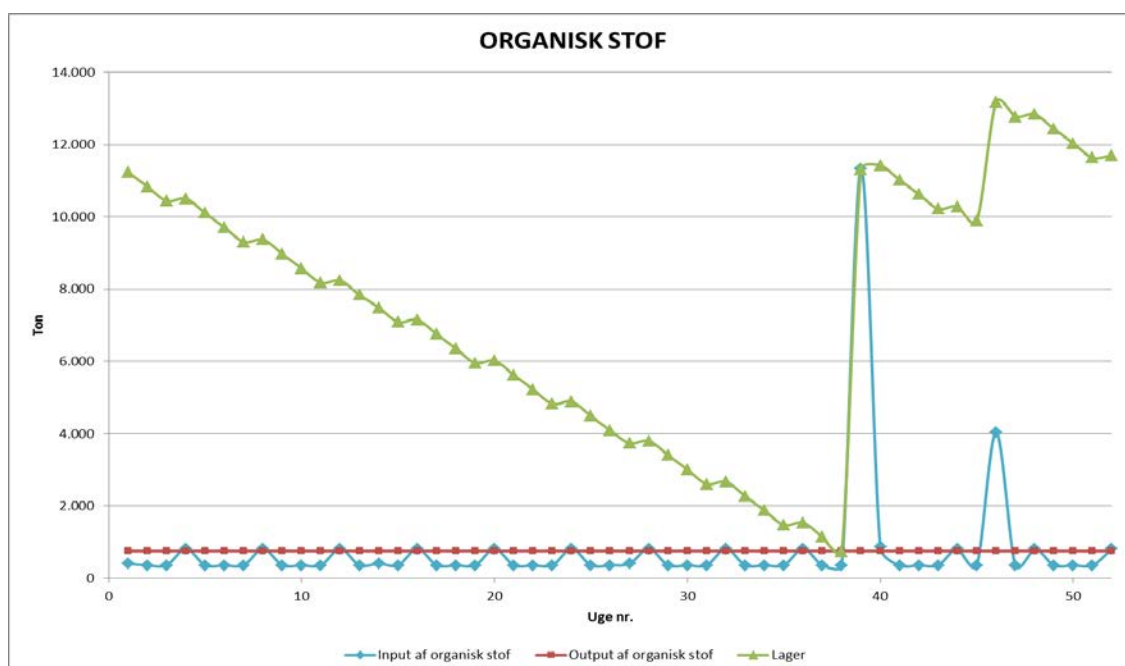
Figur 13: Input til lageret, output fra lageret og lagerbeholdningen af den totale biomasse mængde efter opstartsåret.

Figur 13 viser et eksempel på, hvordan input, output og lageret vil se ud, når anlægget er i fuld drift med en belastning på ca. 9.430 ton biomasse pr. uge. Lagerbeholdningen kommer ikke længere ned end ca. 3.700 tons biomasse, outputtet er konstant, og inputtene har samme størrelse som i opstartsåret.

Modellen giver også en indikation for, hvad niveauet af tørstof, organisk stof, kvælstof, fosfor og methan er uge for uge i inputtet til lager, outputtet fra lageret og i lageret. Modellen vil automatisk generere diagrammer af den forventede mængde af de forskellige stoffer i inputtet, outputtet og lageret. Eksempelvis viser Figur 14 og 15, hvad niveauet af organisk stof er gennem året for opstartsåret og det efterfølgende år.



Figur 14: Mængden af organisk stof uge for uge i opstartsåret.



Figur 15: Mængden af organisk stof uge for uge i et normalt driftsår.

Det ses blandt andet, om biogasanlægget belastes nogenlunde konstant gennem året. Med nuværende biomassesammensætning og mængde modtager biogasanlægget 756 tons organisk stof pr. uge svarende til 108 tons pr. dag, når det ikke er i opstart længere. Dette tal kan eksempelvis bruges til at vurdere, om anlægget belastes korrekt ud fra anlæggets størrelse. Det er også vigtigt, at den organiske belastning på anlægget er nogenlunde konstant uge for uge. Modellen genererer tilsvarende diagrammer for de andre parametre.

Resultater fra driftsteknisk- og økonomimodel

Modelværktøjet benytter sig af en række specifikke og valgte forudsætninger vedrørende de involverede enhedsoperationer for begge scenarier/cases. Bemærkninger vedrørende disse forudsætninger er anført i Bilag 6.

For MEC-casen viser Tabel 8 de driftstekniske resultater vedr. indtransporten af biomasse til MEC for henholdsvis scenariet med alm. halm og scenariet med inkludering af brikettering.

Tabel 8: Halm contra brikettering til MBE. 300 000 ton halm hentet i op til 80 km afstand fra MBE, 4+(1) briketteringsstationer med 27,5 km radius til landmænd, lastbiltransport.

Driftstekniske parametre	Alm. halm	Brikettering
Gns. transportafstand, km	42,2	62,2/13,8/18,33 #)
Arbejdsindsats, mandår &)	61,7	85,3
Kørte km, mill. [□]	1,92	1,64
Dieselforbrug, liter/ton	4,6	5,0
GJ (1000)	49,0	52,8
CO ₂ , ton (1000)	3,66	3,95
kWh (mill.)		27
kr./ton	329	338
Lagring ved landmand, kr./ton		
- fast gulv	200	200
- jordgulv	153	153
- staklade	110	110
Lagring ved briketstation, kr./ton		
- fast gulv		71

Brikettering, decentral briketteringsstation, kr./ton		153
Eks: håndtering og staklade, kr./ton	439	672

^{#)} Transportafstand fra briketteringsstation til MEC 62,2 km
Transportafstand fra mark til briketteringsstation 18,33 km
Transportafstand til mark direkte til Måbjerg 13,8 km

^{&)} Mandår beregnet ved 1760 timer/år

^{*)} Læsvægt med halmballer 13,2 t, læsvægt med briketter 33 t

For Gudenå-casen er de driftstekniske resultater vist i Tabel 9 fordelt på de forskellige biomasser, som transporteres til anlægget.

Tabel 9: Dimensionering af BCG, Almind.

Driftstekniske parametre	Kvæg-gylle	Svi-ne-gylle	Dybstrøel-se	Fjer-krægød.	Roer	Enggræs (Rundbal-ler)	Slag-teri-affald	I alt
Tons (1000)	150	250	25	0,55	12,3	35	10	482,85
Gns. km trans- portafstand	10,7	14,1	9,5	12,8	35,2	18,0	67,7	
Arbejdstid, mandår	1,99	3,90	1,74	0,02	0,23	5,96	0,50	14,34
Kørte km (1000)	100,6	219,6	14,8	0,44	27,1	50,0	42,3	454,84
Diesel, l/ton	0,45	0,58	2,55	1,24	1,99	4,14	1,70	
GJ (1000)	2,402	5,151	2.263	0,024	0,866	5,132	0,602	16,440
CO₂ (ton)	180	385	169	2	65	384	45	1230
Kr./ton	21,4		65,9	32,6	62,6	267	72,1	

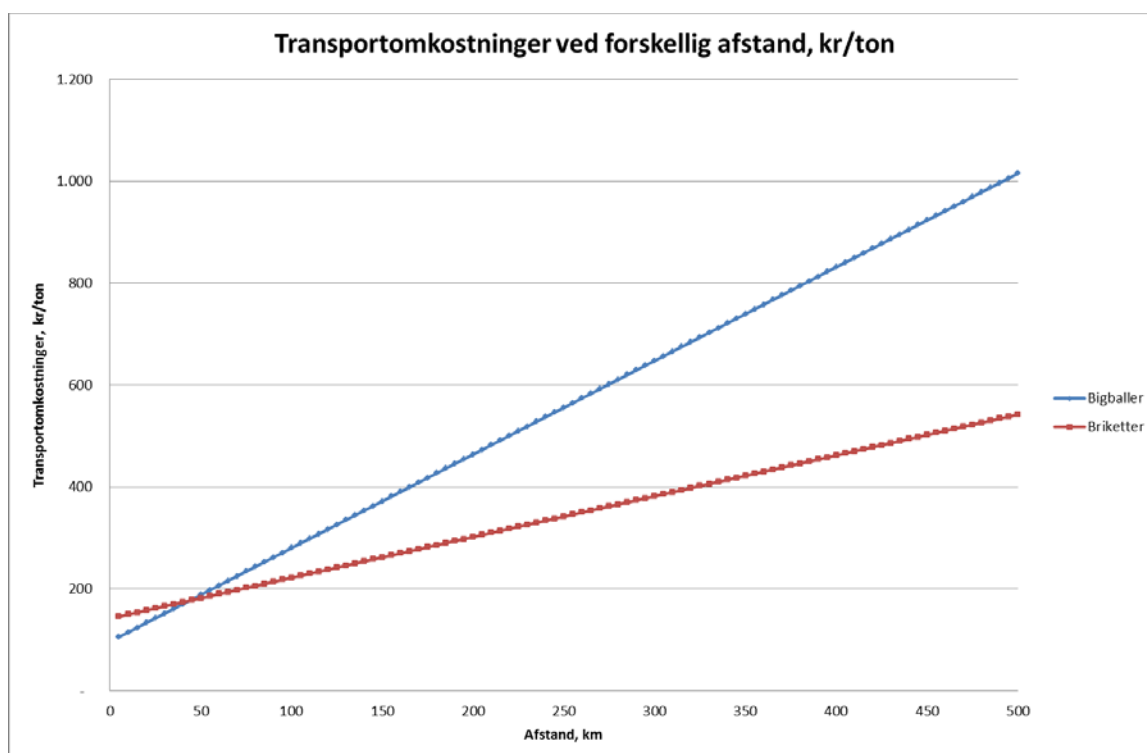
Tabel 10: Dimensionering af MBE, Maabjerg.

Driftstekniske para- metre	Kvæggylle	Svinegylle	Minkgylle	I alt
Tons (1000)	202,1	205,0	60,9	468,0
Gns. km transportaf- stand	14,4	11,2	9,1	
Arbejdstid, mandår	3,21	2,80	0,74	6,75
Kørte km (1000)	182,3	144,1	34,8	361,2
Diesel, l/ton	0,60	0,47	0,39	
GJ (1000)	4,3	3,4	0,8	8,5
CO₂ (ton)	319	256	63	638
Kr./ton				21,0

Følsomhedsanalyser

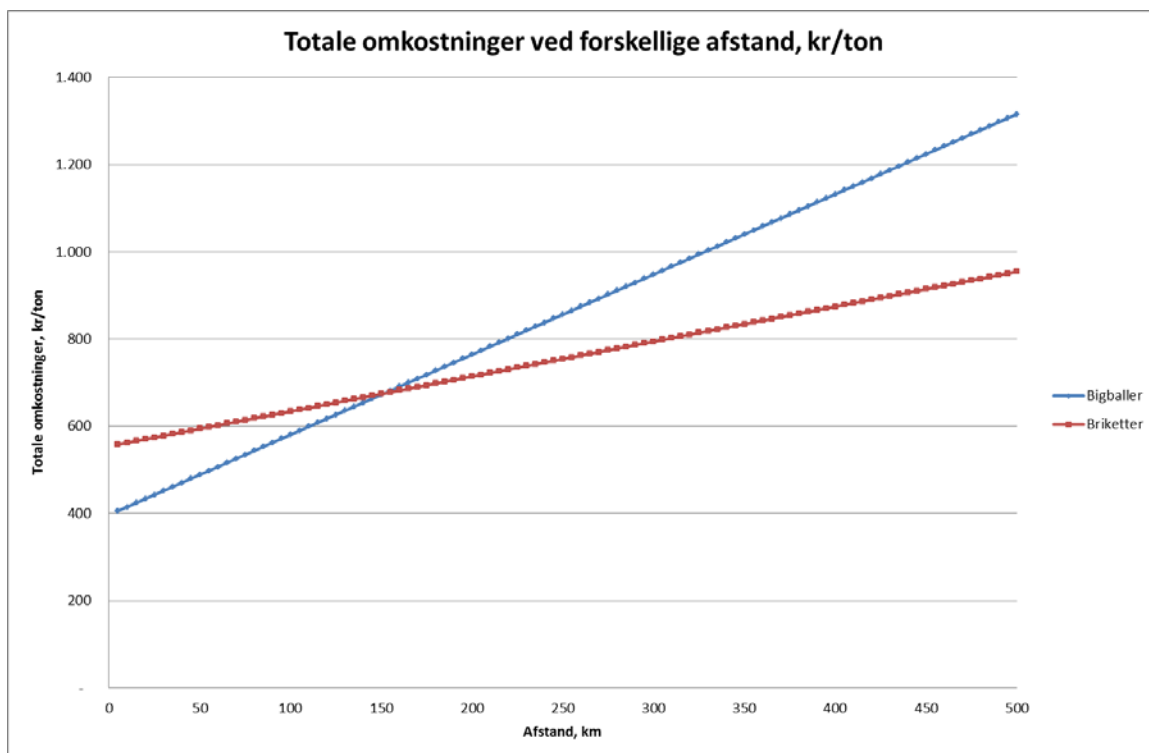
Der er udarbejdet følsomhedsanalyser på transportafstand og kapacitet pr. læs for at vise, hvor stor betydning det har på transportomkostningerne og totale omkostninger. Tilsvarende kan der laves følsomhedsanalyser på andre parametre.

Resultaterne af følsomhedsanalysen på transportafstand viser, at afstanden har stor betydning for omkostningernes størrelse. Sammenligner man transport af storballer med transport af briketter, er det mest favorabelt at transportere storballer, hvis afstanden er under 45 km til værket. Over 45 km er det derimod mest fordelagtigt at transportere briketter. Dette er illustreret i Figur 16.



Figur 16: Følsomhedsanalyse på transportafstand i forhold til transportomkostninger.

I forhold til de totale omkostninger betyder det, at hvis halmen skal transporteres som briketter, skal de som minimum transporteres 150 km for at omkostningerne til brikettering, og ekstra lager kan bære det, sammenlignet med storballer jf. Figur 17.



Figur 17: Følsomhedsanalyse på transportafstand i forhold til de totale omkostninger.

Resultaterne af følsomhedsanalysen på kapaciteten pr. læs, dvs. antal m³ pr. læs ved transport af briketter og antal storballer pr. læs ved transport af storballer, er vist i nedenstående tabeller (Tabel 11).

Tabel 11: Følsomhedsanalyser på kapaciteten ved forskellige antal kørte km. (50 km, 100 km, 200 km og 500 km).

50 km		
Kapacitet	Transportomkostninger	Totale omkostninger
m3	kr/ton	kr/ton
20	288	700
30	239	652
40	215	627
50	200	612
60	190	603
70	183	596
Baller/læs	kr/ton	kr/ton
16	234	534
20	206	507
24	188	488
28	175	475
32	165	465
36	157	458

100 km		
Kapacitet	Transportomkostninger	Totale omkostninger
m3	kr/ton	kr/ton
20	435	847
30	337	749
40	288	700
50	259	671
60	239	652
70	225	638
Baller/læs	kr/ton	kr/ton
16	372	672
20	317	617
24	280	580
28	254	554
32	234	534
36	219	519

200 km		
Kapacitet	Transportomkostninger	Totale omkostninger
m3	kr/ton	kr/ton
20	728	1.141
30	533	945
40	435	847
50	376	789
60	337	749
70	309	721
Baller/læs	kr/ton	kr/ton
16	648	948
20	537	838
24	464	764
28	411	712
32	372	672
36	341	642

500 km		
Kapacitet	Transportomkostninger	Totale omkostninger
m3	kr/ton	kr/ton
20	1.609	2.021
30	1.120	1.532
40	875	1.287
50	728	1.141
60	631	1.043
70	561	973
Baller/læs	kr/ton	kr/ton
16	1.475	1.776
20	1.199	1.500
24	1.015	1.316
28	884	1.185
32	786	1.086
36	709	1.009

Det ses, at kapaciteten pr. læs har stor indflydelse på både transportomkostninger og de totale omkostninger. Kapaciteten har specielt stor betydning jo længere, der køres.

Konklusion

Værdikædeanalysen er testet med baggrund i to specifikke lokaliteter i Region Midtjylland, i Maabjerg og Almind med hhv. Maabjerg værket og Bio-center Gudenå som cases. Værdikædeanalysen bestemmer først anlæggets behov for tilførsel af biomasser, hvorefter der vha. GIS-data kortlægges tilgængelighed af biomasse i en given radius fra anlægget. Endelig bestemmes med baggrund i nævnte biomassetilgængelighed de driftstekniske og økonomiske konsekvenser ved indtransport af givne biomasser til anlægget.

Resultater fra caseberegninger under specifikke valgte forudsætninger viser f.eks., at omkostningerne ved håndtering af råhalm (storballer) til MEC via lokalt lager hos landmand beløber sig til 439 kr./ton ved indhentning af 300.000 tons halm i et opland med en maksimal afstand på 80 km samt en gennemsnitlig vægтет afstand på 42,2 km. I et andet scenarie med brikettering af råhalm og efterfølgende transport af briketter til MEC øges omkostningerne til 672 kr./ton, når der indregnes lager og selve briketteringen. I sidstnævnte tilfælde er ligeledes regnet med et opland med en maksimal afstand på 80 km, men der hentes 60.000 tons råhalm i en cirkelafstand af 25 km (vægтет gennemsnitlig transportafstand 13,8 km) samt placeres fire briketteringsanlæg med hver et cirkulært opland på 25 km samt en gennemsnitlig transportafstand til anlæg på 62,2 km. De rene håndterings- og transportomkostninger beløber sig til henholdsvis 329 kr./ton og 338 kr./ton. Det skal her understreges, at beregningerne baserer sig på givne forudsætninger vedr. teknologier, arbejdsmetoder m.m.

Følsomhedsanalyser, der er baseret på MEC-casen, viser, at det briketterede halm skal transporteres over 150 km for, at det bliver økonomisk attraktivt at anvende briketter i forhold til storballer. Værdien af briketter er imidlertid højere end værdien af storballer for et potentielt biogasanlæg eller ethanolanlæg. Briketter vil ikke kræve yderligere behandling, inden de anvendes i et anlæg, hvorimod storballer skal forbehandles. Følsomhedsanalyserne, der er baseret på kapaciteten pr. læs, viser, at kapaciteten har stor betydning for omkostningernes størrelse, specielt ved lange transportafstande.

For Gudenå Biocenter varierer i det aktuelle scenarie omkostningerne fra 21 til 267 kr./ton afhængig af den enkelte biomassetype samt tilgængelighed. For MEC indtransporten af gylle beløber omkostningerne sig til 21,00 kr./ton. I det konkrete tilfælde viser beregningerne ikke overlap mellem biomasse-oplandene for Biocenter Gudenå og MEC, hvilket man kan forestille sig i andre tilfælde med deraf følgende konkurrence om en given biomasse i det samme opland. Dette kan igen betyde, at transportafstandene for indhentning af givne biomasser øges.

Det skal igen understreges, at de beskrevne værktøjer udelukkende estimerer omkostningerne (driftstekniske og økonomiske) for enhedsoperationerne i biomasseforsyningskæden. Værktøjet kan ikke som sådan evaluere eller forudsige 'markedssituationen' for biomasse i et givet område, men værktøjet kan kvantificere de ressourcemæssige konsekvenser ved at placere et givet optag i et givet opland, herunder specielt hvor langt omkring man skal for at hente den nødvendige biomasse.

Jo mere energi en vare indeholder, jo længere kan den transporteres – økonomisk set. Derfor vil markerne forventes at indrette sig, så våde biomasser (gylle) forbliver lokal ressource, mens fugtige biomasser (f.eks. roer og dybstrøelse) kan transporteres længere. Briketteret halm har potentialer for længst transport – og dermed det nationale/globalt marked. Kapaciteten på lastvogne/skibe kan blive afgøren-

de for briketteringens økonomiske gennemslagskraft i fremtiden, hvorfor det kan være relevant at gennemregne forskellige scenarier med varierende læskapaciteter pr. enhed. Samtidig skal der vurderes på lagerkapacitet, lagertab, miljøtab ved logistikken og det endelige energiudbytte af den valgte kombination.

Som output af værktøjet kan brugeren få viden om, hvilke led i værdikæden, der er dyre i forhold til f.eks. energiforbrug, omkostninger m.m. Dette giver mulighed for at prioritere optimering af de dele af værdikæden, hvor der er den største gevinst at hente. Idet værdikædeanalysen er generisk i sin struktur, kan den anvendes i en lang række scenarier, hvori der indgår håndtering af biomasse, både for eksisterende og potentielle anlæg.

Det kan anbefales, at nye aktører på biomassemarkedet foretager konkrete beregninger og scenarier med modellen for at kunne opstille en tilpasset forretningsplan for leverancer, lagring og prisforhandling for indkøb af biomasser. Modelværktøjet kan anvendes som en brik i at opfylde de ambitiøse politiske målsætninger om et fossiltfrit samfund i 2050 ved at give indspil til et beslutningsgrundlag for investorer, og give indblik i leverancer og prisforhandlinger. Dermed kan modelværktøjet bidrage til en optimeret brug af biomasser med minimal miljøpåvirkning og energitab til en fornuftig pris og god kvalitet.

Perspektiver

Hovedsigtet med planlægningsværktøjet er at betjene konkrete biomasseaftagere med værdikædeanalyser i forhold til de konkrete logistikudfordringer og løsninger. Undersøgelser har vist, at logistikken og transporten udgør omkring halvdelen af en biomassevares omkostninger.

Værktøjet kan bidrage til en mere hensigtsmæssig og bedre koordineret brug af biomasser især til de større aftagere, og man kan forhåbentlig både undgå forkerte investeringer og øge anvendelsen af de lokale tilgængelige biomasser til VE formål. Biogas Task Force har bl.a. analyseret biomasser til biogas, og der er stadig store mængder uudnyttede biomasseressourcer tilgængelige, særligt halm, dybstrøelse, engræs og husholdningsaffald (Energistyrelsen 2014). Der er dog stadig kun i begrænset omfang, der bruges halm, engræs og dybstrøelse i biogasanlæg i dag.

Der er ikke umiddelbart mangel på halm eller de øvrige hoved-biomasser i Region Midt eller i Jylland, og markedet vil reagere ved at en øget efterspørgsel fra nye anlæg vil kunne øge den mængde, der faktisk bliver anvendt. Hvis varen ikke umiddelbart er tilgængeligt lokalt f.eks. som halm i baller til en fornuftig pris, vil prisen enten stige og/eller brikettering af halmen bliver relativt set mere relevant. Netop derfor er dette analyseværktøj relevant for nye anlæg til at vurdere, hvordan forskellige scenarier vil kunne sikre biomassen fra nærområdet eller over længere transportafstande.

Fremtidens udfordringer for biomassen er logistikken og forbehandling af biomasserne – samt forventet øget efterspørgsel. Briketterings-/pelletteringsteknologi kan ændre markedet og transportafstande, og er samtidig en forbehandling, ligesom ny forbehandlingsteknik som ekstrudering af vanskelige biomasser til biogas kan ændre efterspørgslen og værdien af biomasser.

Biomassemarkedet er i hastig udvikling og derfor meget dynamisk på både udbuds- og efterspørgselsiden. Derfor er der løbende behov for at vurdere de faktorer, der influerer på tilgængelighed og omkostninger med et modelværktøj til at analysere situationen og understøtte investeringsbeslutninger.

Referencer

- Attermann K., Thøgersen R. & Ohlsson C. (2003): Ensilering – et håndværk, Landbrugsforlaget 1. udgave.
- Bochtis D.D; Sørensen C.G. (2010). The vehicle routing problem in field logistics: Part II. *Biosystems Engineering*, 105, 180-188
- Bertelsen I., Bredin H., Briseid T., Emanuelsson J., Eriksson P., Fjørtoft K., Gustafsson K., Johansson L., Møller H. & Stefanek K. (2012): Evalueringsrapport Biogas, BioM – Bæredygtig bioenergi.
- Dyken, et al. (2010). Linear mixed-integer models for biomass supply chains with transport, storage and processing. *Energy* 35: 1338– 1350
- Energistyrelsen (2014). Biogas i Danmark – status, barrierer og perspektiver. www.ens.dk
- Farmtal Online (2013a): Budgetkalkuler for vedvarende græs til slæt i 2014, Link til side: <https://farmtalonline.dlbr.dk/>
- Farmtal Online (2013b): Budgetkalkuler for foderroer i 2014, Link til side: https://farmtalonline.dlbr.dk/Kalkuler/VisKalkule.aspx?Prodgren=K_4010
- Freppaz et al. (2004). Optimizing forest biomass exploitation for energy supply on a regional level. *Biomass and Bioenergy*, 26: 15–25
- FutureFarm (2010). Fleet Management: Assessment of Potential Savings. WP 3: Analysis Influences of robotics and biofuels on economic and energetic efficiencies of farm production. <http://www.futurefarm.eu/node/218>
- Hoefnagels, R. Junginger, M., Resch, G., Panzer, C. (2011). Long Term Potentials and Costs of RES, Part II: The Role of International Biomass Trade, D12 Report
- Høy J. (2010): Kapacitetsmålinger I 2010 v/Nørreå, BioM – Bæredygtig bioenergi.
- Iddrisu Awudu, Jun Zhang (2012). Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 1359–1368.
- Janzen, H.H., Desjardins, R.L., Asselin, J.M.R and Grace, B. (1999). The Health of our Air: Towards sustainable agriculture in Canada. Research Branch, Agriculture and Agric-Food Canada, Ottawa, Ontario, Publication No. 1981/E.
- Larsen E.W. (2012). Roer til biogas og foder. Plantekongres – produktion, plan og miljø side 294-297.
- Laursen P.H., (2011). Grovfoderets pris på foderbordet, Landbrugsinfo, DBLR. Link til side: <https://www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Foder/Grovfoder/Grovfodermatchen/Sider/2190-Grovfoderets-pris-paa-foderbordet.aspx>
- Melo, M.T., Nickel, S., Saldanha-da-Gama, F., (2009). Facility location and supply chain management – a review. *European Journal of Operational Research* 196 (2), 401–412.
- Møller H.B., Sommer S.G. & Ahring B.K (2004): Biological Degradation and Greenhouse Gas Emissions during Pre-Storage of Liquid Animal Manure, *J. Environ. Qual.* 33, p. 27-36
- Møller H.B. & Jørgensen P.J (2003): Praktisk anvendelse af dybstrøelse som substrat i biogasanlæg – kommende som eksisterende, PlanEnergi
- Nielsen, V & Sørensen, C.G (1993), DRIFT: Et program for beregning af Arbejdsbehov, Arbejdskapacitet, Arbejdsbudget og Arbejdsprofil
- Rentizelas et al. (2009). Logistics issues of biomass: the storage problem and the multi-biomass supply chain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 887–894.

- Sommer S.G. (2001): Effects of composting on nutrient loss and nitrogen availability of cattle deep litter, *European Journal & Agronomy* 14, p. 123-133
- Sørensen C G; Bochtis D D (2010). Conceptual model of fleet management in agriculture. *Biosystems Engineering*, 105(1), 41-50
- Sørensen, C.G., Møller, H.B. (2006). Operational and Economic Modeling and Optimization of Mobile Slurry Separation. *Applied Engineering in Agriculture* 22(2): 185-193
- Sørensen, C.G., Jacobsen, B.H., & Sommer, S.G., (2003). An Assessment Tool applied to Manure Management Systems using Innovative Technologies. *Biosystems Engineering* 86(3), 315-325.
- Sørensen, C.G., (2003). A Model of Field Machinery Capability and Logistics: the Case of Manure Application. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of AE Scientific Research and Development*, Vol 5, ISSN 1682-1130
- Xiaoyan Zhua, Xueping Lia, Qingzhu Yaoa, Yuerong Chenb (2011). Challenges and models in supporting logistics system design for dedicated-biomass-based bioenergy industry. *Bioresource Technology*. Volume 102, Issue 2, January 2011, Pages 1344-1351

Bilag 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Indtastning af forudsætninger - halm											
2	Biomasseinformationer											
3	Markstørrelse, ha		17143									
4	Udbytte, ton/ha		3,5									
5	Tørstof, %		85%									
6	Organisk stof - VS/TS, %		95%									
7	Methanpotentiale, L CH ₄ /kg VS		230									
8												
9												
10	Maskin- og arbejdsomkostninger i marken											
11	Sammenrivning, kr/ton		0									
12	Bigballepresning, kr/bigballe		-80									
13												
14	Transport til landmandens lager											
15	Afstand, km		0,5									
16	Traktor med frontlæsser og halmvogn, kr/time		-650									
17	Kapacitet, bigballe/læs		20									
18	Læssekapacitet, min/ton		2,8									
19	Aflæsekapacitet, min/ton		2,2									
20												
21	Transport til anlæg											
22	Lastbilkørsel											
23												
24	Lastbil med forvogn og anhænger, kr/time		-625									
25	Kapacitet, bigballe/læs		24									
26	Hastighed, km/time		51,5									
27	Afstand på vej, km		62,2									
28												
29	Læsse/aflæsse											
30	Teleskoplæsser											
31												
32	Teleskoplæsser, kr/time		-800									
33	Læsse/aflæsse kapacitet, min/ton		0,82									
34												

Lagring på biogasanlæg

Staklade

Pris, kr	1.001.500
Kapacitet, m3	5.000
Udnyttelse af kapacitet, %	90%
Levetid, år	30
Rente, %	4,5%
Afskrivning, %	5%

Beregn resultater

Tilbage til hovedmenu

Forbehandling på anlæg

Ingen forbehandling

Ekstrudering:

Ekstruder, mikser og transportbånd, kr	-
Levetid, år	-
Rente, %	-
Driftsomkostninger, kWh/ton	-
Vedligeholdelsesomkostninger, kr/ton	-
Kapacitet, ton/år	-
Afskrivning, %	-

Brikettering:

Hammermølle, transportbånd og opriver, kr	-
Briketpresser, kr/presser	-
Presser kapacitet, ton/år	-
Installation mv., kr	-
Driftsomkostninger, kWh/ton	-
Vedligeholdelsesomkostninger, kr/ton	-
Forsikring, kr/år	-
Afskrivning, %	-
Levetid, år	-
Rente	-

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Indtastning af forudsætninger - halm med decentrale briketteringsstationer													
1	Biomasseinformationer												
2	Markstørrelse, ha		17142										
3	Udbytte, ton/ha		3,5										
4	Tørstof, %		85%										
5	Organisk stof - VS/TS, %		95%										
6	Methanpotentiale, L CH4/kg VS		277										
7	Maskin- og arbejdsomkostninger i marken												
8	Sammenrivning, kr/ton		0										
9	Bigballepresning, kr/bigballe		-80										
10	Transport til landmandens lager												
11	Afstand, km		0,5										
12	Traktor med frontlæsser og halmvogn, kr/time		-650										
13	Kapacitet, bigballe/læs		20										
14	Læsekapacitet, min/ton		2,6										
15	Aflæsekapacitet, min/ton		2,0										
16	Transport fra landmandens lager til briketterstation												
17	Lastbilkørsel												
18	Afstand, km		18,3										
19	Lastbil med forvogn og anhænger, kr/time		-625										
20	Kapacitet, bigballe/læs		24										
21	Hastighed, km/time		51,5										
22	Læse/aflæse - bigballe												
23	Teleskoplæsser												
24	Teleskoplæsser, kr/time		-800										
25	Læse/aflæse kapacitet, min/ton		0,82										
26	Decentral briketteringsstation												
27	Hammermølle, transportbånd og opriver, kr												
28	Briketpresser, kr/presser												
29	Presser kapacitet, ton/år												
30	Installation mv., kr												
31	Driftsomkostninger, kWh/ton												
32	Vedligeholdelsesomkostninger, kr/ton												
33	Forsikring, kr/år												
34	Afskrivning, %												
35	Levetid, år												
36	Rente												
37	Leje af bygning, kr/år												
38	Personaleomkostninger, kr/år												
39	Transport fra briketterstation til anlæg												
40	Afstand, km												
41	Lastbil med tipvogn, kr/time												
42	Kapacitet, m3/læs												
43	Læse/aflæse - briketter												
44	Teleskoplæsser, kr/time												
45	Læsekapacitet, min/ton												
46	Aflæsekapacitet, min/ton												
47	Lagring på biogasanlæg (i lade med fast gulv)												
48	Pris, kr												
49	Kapacitet, m3												
50	Udnyttelse af kapacitet, %												
51	Levetid, år												
52	Rente, %												
53	Afskrivning, %												
54	Beregnet resultater												
55	Tilbage til hovedmenu												

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Resultater - Halm							
2								
3	Slutprodukt:	BIGBALLER			BRIKETTER			
4								
5	Forventet anskaffelsespris:							
6	Presningsomkostninger, kr/ton	-145						
7	Lagingsomkostninger, kr/ton	-156						
8	Transportomkostninger, kr/ton	-210						
9	Forbeholdning, kr/ton	-						
10	Samlede omkostninger, kr/ton	-512						
11	Samlede omkostninger, kr.	-30.724.961						
12								Følsomhedsanalyse ift. afstand (transportomkostninger)
13								
14	Forventet udbytte:							
15	Energiudbytte, kWh/ton	2.185						
16	Elektricitet, kWh/ton	874						
17	Varme, kWh/ton	1.093						
18	Salg af elektricitet, kr/ton	970						
19	Salg af varme, kr/ton	273						
20	Samlet indtægt, kr/ton	1.243						
21	Samlet indtægt, kr.	74.596.522						
22								Følsomhedsanalyse ift. afstand (totale omkostninger)
23								
24	Difference, kr	43.871.561						
25								
26	Tilbage til indtæstning							
27								
28								
29	Tilbage til hovedmenu							
30								
31								
32	Bigballer							
33	Følsomhedsanalyse ift. kapacitet (transportomkostninger)							
34								
35								
36	Bigballer							
37	Følsomhedsanalyse ift. kapacitet							

Bilag 2

Opbygning af lagerbeholdningsmodel ses nedenfor for uge 2 og uge 3. Slutbeholdningen i uge 2 føres videre til startbeholdningen i uge 3 osv. op til uge 52.

Annual cycle of biomasses

Week 1

Stock, start

Type of biomass	Amount tons	m3	Density tons/m3	Dry matter %	Dry matter tons	Volatile solids %	Volatile solids tons	Nitrogen kg/tons	Nitrogen tons	Phosphorus kg/tons	Phosphorus tons	Gas-potential, CH4 m3/ton VS
Std. pig slurry, mixed, 3.5 % DM	1	1	1.00	3.5%	0.0	3%	0.0	3.51	0.00	0.85	0.00	330.0
Std. pig slurry, mixed, 4.0 % TS	1	1	1.01	4.0%	0.0	3%	0.0	4.00	0.00	0.90	0.00	330.0
Std. pig slurry, mixed, 4.5 % DM	1	1	1.02	4.5%	0.0	4%	0.0	4.20	0.00	1.00	0.00	330.0
Std. pig slurry, mixed, 5.0 % DM	1	1	1.03	5.0%	0.1	4%	0.0	4.30	0.00	1.05	0.00	330.0
Std. pig slurry, mixed, 5.5 % DM	1	1	1.04	5.5%	0.1	4%	0.0	4.10	0.00	1.10	0.00	330.0
Std. pig slurry, mixed, 6.0 % DM	1	1	1.05	6.0%	0.1	5%	0.1	4.25	0.00	0.90	0.00	330.0
Std. pig slurry, mixed, 7 % DM	1	1	1.10	7.0%	0.1	6%	0.1	3.30	0.00	0.80	0.00	250.0
Std. Cattle slurry, mixed, 8.2 % DM	1	1	1.15	8.2%	0.1	5%	0.1	3.50	0.00	0.80	0.00	250.0
Std. Cattle slurry, mixed, 9 % DM	1	1	1.20	9.0%	0.1	7%	0.1	3.70	0.00	0.80	0.00	210.0
Mink slurry	1	1	1.10	7.5%	0.1	6%	0.1	15.00	0.02	2.00	0.00	280.0
Deep litter, cattle	1	1.1	0.90	30.0%	0.3	24%	0.2	8.50	0.01	0.80	0.00	230.0
Deep litter, pig	1	1.1	0.90	25.0%	0.3	20%	0.2	11.00	0.01	1.70	0.00	250.0
Poultry manure	1	1.1	0.90	32.0%	0.3	35%	0.3	20.77	0.02	7.20	0.01	280.0
Chicken manure	1	1.3	0.80	46.3%	0.5	22%	0.2	20.77	0.02	7.20	0.01	280.0
Horse manure	1	1.1	0.90	28.0%	0.3	21%	0.2	8.50	0.01	1.75	0.00	170.0
Straw	1	7.1	0.14	86.0%	0.9	77%	0.8	5.00	0.01	0.70	0.00	260.0
Beets	1	1.4	0.70	20.0%	0.2	18%	0.2	5.00	0.01	1.00	0.00	360.0
Top of beets	1	1.4	0.70	18.0%	0.2	15%	0.1	5.00	0.01	1.00	0.00	420.0
Meadow grass (hay)	1	7.1	0.14	85.0%	0.9	81%	0.8	5.00	0.01	0.60	0.00	260.0
Clover grass	1	6.7	0.15	19.0%	0.2	17%	0.2	5.00	0.01	0.60	0.00	320.0
Corn silage	1	1.1	0.90	33.0%	0.3	31%	0.3	7.00	0.01	1.00	0.00	340.0
Total	22	41			5		4		0		0	1.146

Input

Amount tons	m3	Density tons/m3	Dry matter %	Dry matter tons	Volatile solids %	Volatile solids tons	Nitrogen kg/tons	Nitrogen tons	Phosphorus kg/tons	Phosphorus tons
900	900	1.00	3.5%	31.5	2.8%	25.2	3.5	3.16	0.9	0.77
1.818	1.800	1.01	4.0%	72.7	3.2%	58.2	4.0	7.27	0.9	1.64
2.550	2.500	1.02	4.5%	114.8	3.7%	93.7	4.2	10.71	1.0	2.55
8.858	8.600	1.03	5.0%	442.9	4.0%	354.3	4.3	38.09	1.1	9.30
7.245	3.900	1.04	5.5%	223.1	4.4%	178.5	4.1	16.63	1.1	4.46
6.380	5.800	1.05	6.0%	434.7	4.8%	347.8	4.3	30.79	0.9	6.52
5.520	4.800	1.10	7.0%	446.6	5.6%	357.3	3.3	21.05	0.8	5.10
9.240	7.700	1.20	9.0%	831.6	7.2%	665.3	3.7	34.19	0.8	7.39
6.600	6.000	1.10	7.5%	495.0	6.0%	395.0	15.0	99.00	2.0	13.20
500.0	555.6	0.90	30.0%	150.0	24.0%	120.0	8.5	4.25	0.8	0.40
300.0	333.3	0.90	25.0%	75.0	20.2%	60.7	11.0	3.30	1.7	0.51
700.0	777.8	0.90	32.0%	224.0	34.7%	243.1	20.8	14.54	7.2	5.04
950.0	1.187.5	0.80	46.3%	439.9	22.4%	212.8	20.8	19.73	7.2	6.84
100.0	111.1	0.90	28.0%	28.0	21.0%	21.0	8.5	0.85	1.8	0.18
5.000.0	35.714.3	0.14	86.0%	4300.0	77.4%	3870.0	5.0	25.00	0.7	3.50
3.000.0	4.285.7	0.70	20.0%	600.0	18.4%	552.0	5.0	15.00	1.0	3.00
1.000.0	1.438.6	0.70	18.0%	180.0	14.6%	145.8	5.0	5.00	1.0	1.00
1.500.0	10.714.3	0.14	85.0%	1275.0	80.8%	1211.3	5.0	7.50	0.6	0.90
1.000.0	6.666.7	0.15	19.0%	190.0	17.1%	171.0	5.0	5.00	0.6	0.60
4.500.0	5.000.0	0.90	33.0%	1485.0	31.4%	1410.8	7.0	31.50	1.0	4.50
71.717	115.675			12.492		10.784		412		82

Bilag 3

Biomasseopgørelsen for enggræs, roer, halm er vist på landsplan, i Jylland og i Region Midtjylland.

Beregning halm 2013 hele landet				
Gruppe	Afg_Kode	AfgNavn	Halm tons i alt	Tons tørstof i alt
Enggræs	250	Permanent græs, meget lavt udbytte	47.344	9.042
Enggræs	251	Permanent græs, lavt udbytte	219.639	38.859
Enggræs	252	Permanent græs, normalt udbytte	1.402.074	252.373
Enggræs	253	Miljøgræs MVJ-tilsagn (80 N)	1.955	346
Enggræs	254	Miljøgræs MVJ-tilsagn (0 N)	322.107	61.516
Enggræs	258	Permanent græs, ø-støtte	1.695	305
Enggræs	264	Græs og kløvergræs uden norm	81.781	15.618
Enggræs	266	Græs under 50 % kløver, ekstremt lavt udbytte	7.095	1.348
Enggræs	267	Græs under 50 % kløver, meget lavt udbytte	37.652	7.154
Enggræs	268	Græs under 50 % kløver, lavt udbytte	237.199	45.068
Enggræs	271	Rekreative formål	25.457	4.862
Enggræs	276	Permanent græs og kløver uden norm	150.515	28.745
Enggræs	315	Miljøgræs med udtagning	551	105
Enggræs	350	Miljøgræs med N-kvot	2.867	507
kornhalm	1	Vårbyg	1.540.867	1.309.737
kornhalm	2	Vårhvede	62.212	52.880
kornhalm	3	Havre	142.654	121.256
kornhalm	4	Andre kornarter, vårsæt	12.332	10.483
kornhalm	5	Majs til modenhed	48.090	40.877
kornhalm	6	Vårhvede, brødhvede	6.761	5.747
kornhalm	10	Vinterbyg	357.899	304.214
kornhalm	11	Vinterhvede	2.023.412	1.719.900
kornhalm	13	Vinterhvede, brødhvede	140.780	119.663
kornhalm	14	Vinterrug	137.343	116.742
kornhalm	15	Hybridrug	372.526	316.647
kornhalm	16	Vintertriticale	66.287	56.344
Majs	216	Silomajs	6.779.586	2.068.043
Roer	160	Roer til fabrik	902.499	131.614
Roer	280	Fodersukkerroer	145.701	21.248
SUM			15.276.881	6.861.245

Beregning halm 2013 Jylland				
Gruppe	Afg_Kode	AfgNavn	Halm tons i alt	Tons tørstof i alt
Enggræs	250	Permanent græs, meget lavt udbytte	36.078	6.890
Enggræs	251	Permanent græs, lavt udbytte	162.100	28.679
Enggræs	252	Permanent græs, normalt udbytte	1.077.577	193.964
Enggræs	253	Miljøgræs MVJ-tilsagn (80 N)	1.156	205
Enggræs	254	Miljøgræs MVJ-tilsagn (0 N)	225.445	43.056
Enggræs	258	Permanent græs, ø-støtte	1.439	259
Enggræs	264	Græs og kløvergræs uden norm	56.148	10.723
Enggræs	266	Græs under 50% kløver, ekstremt lavt udbytte	5.679	1.079
Enggræs	267	Græs under 50% kløver, meget lavt udbytte	30.367	5.770
Enggræs	268	Græs under 50% kløver, lavt udbytte	151.707	28.824
Enggræs	271	Rekreative formål	19.476	3.720
Enggræs	276	Permanent græs og kløver uden norm	109.897	20.988
Enggræs	315	Miljøgræs med udtagning	352	67
Enggræs	350	Miljøgræs med N-kvoté	2.302	407
kornhalm	1	Vårbyg	1.048.019	890.816
kornhalm	10	Vinterbyg	235.918	200.530
kornhalm	11	Vinterhvede	1.112.883	945.950
kornhalm	13	Vinterhvede, brødhvede	52.821	44.898
kornhalm	14	Vinterrug	100.533	85.453
kornhalm	15	Hybridrug	290.454	246.886
kornhalm	16	Vintertriticale	57.555	48.922
kornhalm	2	Vårhvede	49.312	41.916
kornhalm	3	Havre	122.198	103.868
kornhalm	4	Andre kornarter, vårsæet	10.374	8.818
kornhalm	5	Majs til modenhed	37.771	32.105
kornhalm	6	Vårhvede, brødhvede	4.991	4.243
Majs	216	Silomajs	6.061.870	1.849.111
Roer	160	Roer til fabrik	511	75
Roer	280	Fodersukkerroer	136.598	19.921
SUM			11.201.532	4.868.142

Beregning halm 2013 Region Midtjylland				
Gruppe	Afg_Kode	AfgNavn	Halm tons i alt	Tons tørstof i alt
Enggræs	250	Permanent græs, meget lavt udbytte	13.929	2.660
Enggræs	251	Permanent græs, lavt udbytte	71.262	12.608
Enggræs	252	Permanent græs, normalt udbytte	383.010	68.942
Enggræs	253	Miljøgræs MVJ-tilsagn (80 N)	410	73
Enggræs	254	Miljøgræs MVJ-tilsagn (0 N)	85.687	16.365
Enggræs	264	Græs og kløvergræs uden norm	31.291	5.976
Enggræs	266	Græs under 50% kløver, ekstremt lavt udbytte	2.136	406
Enggræs	267	Græs under 50% kløver, meget lavt udbytte	13.921	2.645
Enggræs	268	Græs under 50% kløver, lavt udbytte	72.093	13.698
Enggræs	271	Rekreative formål	7.954	1.519
Enggræs	276	Permanent græs og kløver uden norm	48.509	9.264
Enggræs	315	Miljøgræs med udtagning	115	22
Enggræs	350	Miljøgræs med N-kvote	1.935	342
kornhalm	1	Vårbyg	510.856	434.227
kornhalm	10	Vinterbyg	115.089	97.826
kornhalm	11	Vinterhvede	497.159	422.585
kornhalm	13	Vinterhvede, brødhvede	16.209	13.778
kornhalm	14	Vinterrug	51.122	43.454
kornhalm	15	Hybridrug	113.325	96.326
kornhalm	16	Vintertriticale	27.967	23.772
kornhalm	2	Vårhvede	21.607	18.366
kornhalm	3	Havre	44.367	37.712
kornhalm	4	Andre kornarter, vårsæt	3.230	2.746
kornhalm	5	Majs til modenhed	14.597	12.408
kornhalm	6	Vårhvede, brødhvede	1.985	1.687
Majs	216	Silomajs	1.893.328	577.540
Roer	160	Roer til fabrik	190	28
Roer	280	Fodersukkerroer	45.289	6.605
SUM			4.088.572	1.923.577

Bilag 4

Mængden af husdyrgødning i hele landet, Jylland og region Midtjylland er vist (rådata).

Opgørelse på landsplan GHI 2011					
Dyreart	Dyregrupper	Gylle StaldBiogas afgr, tons	Dybst StaldBiogas afgr, tons	Fast staldBiogas afgr, tons	Ajle StaldBiogas afgr, tons
Svin	Slagtesvin	9.745.450	99.715	31.181	67.841
Svin	Smågrise	2.702.604	14.166	3.159	8.143
Svin	Søer	5.209.211	147.018	1.274	2.867
Pelsdyr	Pelsdyr	1.267.970	-	-	-
Kvæg	Ammekøer	50.030	374.971	25.783	20.359
Kvæg	Avlstyre	252	9.031	101	51
Kvæg	Malkekøer	10.427.774	527.475	207.243	166.261
Kvæg	Opdræt	1.365.861	609.648	71.734	35.034
Kvæg	Småkalve	214.508	28.944	-	-
Kvæg	Tyrekalve	-	287.005	-	-
Kvæg	Ungtyre	503.382	1.010.239	36.973	18.763
Fjerkræ	Fjerkræ	21.022	294.026	69.877	-
SUM		31.508.065	3.402.236	447.324	319.319

Opgørelse inden for Jylland GHI 2011					
Dyreart	Dyregrupper	Gylle StaldBiogas afgr, tons	Dybst StaldBiogas afgr, tons	Fast staldBiogas afgr, tons	Ajle StaldBiogas afgr, tons
Svin	Slagtesvin	7.486.134	75.520	21.975	47.828
Svin	Smågrise	2.084.344	11.628	2.462	6.347
Svin	Søer	4.061.032	102.853	982	2.210
Pelsdyr	Pelsdyr	1.162.176	-	-	-
Kvæg	Ammekøer	45.073	286.460	21.321	16.852
Kvæg	Avlstyre	146	7.005	35	18
Kvæg	Malkekøer	9.461.673	354.069	165.870	133.119
Kvæg	Opdræt	1.247.707	459.694	55.411	26.987
Kvæg	Småkalve	193.881	18.210	-	-
Kvæg	Tyrekalve	-	253.412	-	-
Kvæg	Ungtyre	468.192	858.564	28.130	14.274
Fjerkræ	Fjerkræ	15.678	264.615	51.646	-
SUM		26.226.035	2.692.030	347.833	247.633

Opgørelse inden for Region Midt GHI 2011					
Dyreart	Dyregrupper	Gylle StaldBiogas afgr, tons	Dybst StaldBiogas afgr, tons	Fast staldBiogas afgr, tons	Ajle StaldBiogas afgr, tons
Svin	Slagtesvin	3.365.162	27.371	11.645	25.316
Svin	Smågrise	991.689	3.421	1.458	3.759
Svin	Søer	1.845.285	43.487	601	1.352
Pelsdyr	Pelsdyr	490.815	-	-	-
Kvæg	Ammekøer	16.479	117.076	8.846	6.984
Kvæg	Avlstyre	56	1.657	22	11
Kvæg	Malkekøer	3.129.815	123.452	84.944	68.173
Kvæg	Opdræt	415.984	169.935	22.159	10.791
Kvæg	Småkalve	67.957	5.192	-	-
Kvæg	Tyrekalve	-	102.929	-	-
Kvæg	Ungtyre	198.020	351.666	11.895	6.036
Fjerkræ	Fjerkræ	8.075	78.114	18.566	-
SUM		10.529.336	1.024.300	160.137	122.423

Bilag 5

Eksempel på forudsætninger vedr. driftstekniske beregninger.

Operationsdata		
Afstand til lager	500	m
Afstand til biogasanlæg	20	km
Skårlægning	Skårlægning	Enhed
mark form 1 - 5	2	
udbytte	10	ton/ha
arbejdsbredde	3	m
fremkørselshastighed	6	km/time
tidsforbrug	0.76	time/ha
brændstofforbrug	18.1	l/time
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ
Presning, Rundballer	Presning	Enhed
presning	13.6	ton/time
fremkørselshastighed		km/time
tidsforbrug	1.17	time/ha
brændstofforbrug	18.1	l/time
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ
Læsning, mark	Frontlæsser	Enhed
læsning	5.83	min/ton
brændstofforbrug	4.2	l/time
antal baller på vogn	18	stk
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ
Transport fra mark til lager	Traktor + vogn	Enhed
hjemkørsel af baller	1.65	min/ton
transportafstand	500	m
transporthastighed	15	km/time
antal baller på vogn	18	stk
læs vægt	5328	kg
brændstofforbrug	4.2	l/time
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ
Aflæsning, lager	Frontlæsser	Enhed
aflæsning	3.3	min/ton
tidsforbrug	0.55	time/ha
brændstofforbrug	4.2	l/time
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ
Læsning, lager	Teleskoplæsser	Enhed
læsning	24	min/læs
brændstofforbrug	18.1	l/time
antal baller på lastbil	48	stk
læs vægt	13.2	ton
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ
Transport til værk	Lastbil	Enhed
antal km til værk	20	km
brutto vægt	28.7	ton
tara vægt	14.5	ton
læs vægt	14.2	ton
hastighed	51.5	km/time
brændstofforbrug 0,013 l/ton/km	0.013	l/ton/km
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ
Aflæsning, værk	Teleskoplæsser	Enhed
aflæsning	24	min/læs
brændstofforbrug	18.1	l/time
antal baller på lastbil	48	stk
læs vægt	14.2	ton
Energiindhold	42.7	GJ/ton
Diesel, vægtfylde	0.83	kg/l
Emission	0.074	ton CO2/GJ

Bilag 6

Halm:

- BufferRing: Afstanden fra Måbjerg værket er inddelt i 10 bufferringe fra 0 til 100 km. I hver af disse bufferringe er den tilgængelige halmmængde opregnet (VFL, 2013). Tilgængelig halmmængde udregnes som 80 % af den mængde halm, der er til rådighed da både kapacitet, logistik, vejrlig og andet kan spille ind.
- Presning af halmen foregår med BigBalle presser med en kapacitet på 18,7 ton/time, et tidsforbrug 4,6 min/ton, et udbytte på 3 ton/ha, et brændstofforbrug på 25,5 l/time (DRIFT, 2004, DjF rapport nr 4, 1998 og rapport nr 44, 2001).
- Læsning af halm på mark foregår med frontlæsser og 2 baller ad gangen og med 20 baller på vogn. Tidsforbrug 3,1 min/ton, brændstofforbrug 4,2 l/time (DRIFT, 2004; DjF rapport nr 4, 1998 og rapport nr 44, 2001).
- Hjemkørsel til lager hos landmand: Transport på mark ca 500 m, 20 baller på vogn. Tidsforbrug 1,2 min/ton, brændstofforbrug 4,2 l/time (DRIFT, 2004; DjF rapport nr 4, 1998 og rapport nr 44, 2001).
- Aflæsning af halm ved lager: Der aflæsses 2 baller ad gangen, frontlæsser, 20 baller på vogn. Tidsforbrug 2,3 min/ton, brændstofforbrug 4,2 l/time. (DRIFT 2004, DjF rapport nr 4 1998 og rapport nr 44 2001).
- Læsning ved lager: Der læsses 2 baller ad gangen, teleskoplæsser, 24 baller på lastbil. Tidsforbrug 10,8 min/læs, brændstofforbrug 18,1 l/time. (DRIFT 2004, DjF rapport nr 4 1998 og rapport nr 44 2001. Scantruck 2012).
- Lastbiltransport til MBE: Lastbiler, 12 stk på forvogn + 12 stk på hænger = 24 stk a ca 550 kg = 13200 kg/læs. Tidsforbrug afhængig af afstanden fra 0 til 100 km. Brændstofforbrug, 0,013 liter diesel pr tonkm, tomvægt 14,5 ton, fuldlastet 27,7 ton. (Landscenteret, nr. 1513, 2006)
- Aflæsning af halm ved MBE: Der læsses 2 baller ad gangen, teleskoplæsser, 24 baller på lastbil. Tidsforbrug 10,8 min/læs, brændstofforbrug 18,1 l/time. (DRIFT 2004, DjF rapport nr 4 1998 og rapport nr 44 2001. Scantruck 2012).
- Brændstofforbrug for teleskoplæsser, der læsser 2 big baller ad gangen? Kilder som DjF rapport nr 44 2001 anfører ca 10,5 l/time. Eskild Jensen hos SCANTRUCK (personlig kommunikation) anfører, at brændstofforbruget for disse operationer faktisk har været stigende de seneste år. Dette skyldes bl.a. miljøhensyn, som kræver at brændstoffet bliver forbrændt ved en højere temperatur i motoren og kræver mere energi, som påvirker brændstofforbruget i negativ retning. Typisk bruger en motor på 102 kW ved kontinuerlig drift mellem 20 og 24 l diesel/time. "tommelfingerreglen" er at motoren bruger ca 200 g brændstof pr kWh, som ved en motorstørrelse på 75 KW (eller 100 HK) beløber sig til 18,1 liter/time. ($75 \cdot 200 / 0,83$).

Gylle:

- Transportafstand til og fra leverandører: Mængden af svine- og minkgylle hentes indenfor 15-20 km fra Måbjerg. Ca. 85 % af gyllemængden kan hentes inden for en radius af 15 km, medens de sidste 15 % gylle hentes op til 20 km væk (Hans Søgård MBE, personlig kommunikation). Enkelte leverandører er dog længere væk, da de kunne se en fordel ved at kunne levere gylle til værket og disse betaler ekstra 0,50 kr/ton/km for kørselsafstanden over 20 km.
- Pumpekapacitet på lastbil, når der læsses/aflæsses hos landmand samt læsses/aflæsses på Måbjerg Bio Energi samt evt. dieselforbrug? Sinding-Ørre rapport 1990 anfører en fyldegrad for rågylle på 85 % og for afgasset gylle på 97,5 %. Jørgen Krogh hos VM Tarm A/S (personlig kommunikation) anfører, at pumpekapaciteten pr. læs ligger på mellem 3 og 3,5 min = 10 667 - 9143 l gylle pr. minut for både rågylle og afgasset gylle. Forudsætningen er en tilstrækkelig omrøring ude hos landmanden. Pumperne er centrifugalpumper som "bundfylder" tanken, hvorved undgås skumdannelse og "skåner" tanken mod store vacumpåvirkninger lige før tanken er fuld. Ang. brændstofforbrug: lastbilens motor kører 800-1000 omdr./min under pumpning, ifølge flowmeter i førerkabinen svarer det til ca 4 l/time. På asfalt vej bruges der 1 liter diesel pr 3 km vej. Chauffør anfører, at der køres ca. 2 - 2,3 km pr liter diesel incl. læsning og aflæsning. (54 ton totalvægt)
- Brændstofforbrug: Der forefindes computer og div. flowmålere i lastbilen som viser forbrug og ydelser mm. Lastbilen bruger i gns. 1 l diesel pr kørte 1,50 km incl omrøring. Lastbilens computer siger at gennemsnits hastigheder en tilfældig dag har været 51,53 km/time. Adgangsforholdene omkring gylletankene hos landmanden skal være optimale for at udnytte kapaciteten bedst mulig. For at optimere til det mest fordelagtige tidsforbrug koster det landmanden 12 kr/min lastbilen holder ved gylletanken. Lastbilerne kører ca 9 ture pr dag fra mandag til fredag og ca 6 ture om lørdagen. Hos landmændene er der i gylletankene monteret nogle sensorer som automatisk melder ind til Måbjerg når tanken er fuld. Ligeledes gives besked om laveste niveau i fortanken (32 m3) så der kun køres med "fyldt" tank. Alle disse oplysninger indgår i lastbilernes logistikplanlægning. Når chaufførerne møder ind om morgenen ligger der en ruteplan klar med hvilke landmænd der skal have hentet gylle. Dette sker bla. vha GPS så en "ny" chauffør kan træde til uden at kende leverandørenes adresser på forhånd.
- Transport1 til leverandør: Lastbiltransport til leverandør med afgasset gylle. 32 M3. Tidsforbrug afhængig af afstand 0 til 20 km, KRAK.DK, brændstofforbrug 0,013 l diesel pr. tonkm. fuldlastet 48 ton. Rapport fra Landscenteret, nr. 1513 2006, Jørgen Pedersen (Farmers Weekly).
- Klargøre/afslutte aflæsning: Der køres til gylletank1 hvor der klargøres til aflæsning. Tidsforbrug 2 x 1 min, brændstofforbrug 2 l/time. Hans Søgård MBE, HM
- Aflæse afgasset gylle: Der aflæsses afgasset gylle i gylletank1, afslutte. Tidsforbrug 3 min, brændstofforbrug 4 l/time. Hans Søgård MBE, VM Tarm tanke/lastbiler.
- Klargøre/afslutte læsning: Der køres til gylletank2 hvor der klargøres til læsning. Tidsforbrug 2 x 1 min, brændstofforbrug 2 l/time. Hans Søgård MBE, HM.
- Læsse rågylle: Der læsses rågylle i gylletank, afslutte. Tidsforbrug 3 min, brændstofforbrug 4 l/time. Hans Søgård MBE, VM Tarm tanke/lastbiler.
- Transport2 til MBE: Lastbiltransport til MBE med rågylle. 32 M3. Tidsforbrug afhængig af afstand 0 til 20 km, KRAK.DK, brændstofforbrug 0,013 l diesel pr. tonkm. fuldlastet 48 ton. Rapport fra Landscenteret, nr. 1513 2006, Jørgen Pedersen (Farmers Weekly)
- Klar/afslutte aflæsning: Der køres til gylletank1 hvor der klargøres til aflæsning. Tidsforbrug 2 x 1 min, brændstofforbrug 2 l/time. Hans Søgård MBE, HM.
- Aflæse rågylle: Der aflæsses rågylle i gylletank1. Tidsforbrug 3 min, brændstofforbrug 4 l/time. Hans Søgård MBE, VM Tarm tanke/lastbiler.
- Klargøre/afslutte læsning: Der køres til gylletank2 hvor der klargøres til læsning. Tidsforbrug 2 x 1 min, brændstofforbrug 2 l/time. Hans Søgård MBE, HM
- Læsse afgasset gylle: Der læsses afgasset gylle i gylletank2. Tidsforbrug 3 min, brændstofforbrug 4 l/time. Hans Søgård MBE, VM Tarm tanke/lastbiler.

Andre input vedr. driftstekniske basisdata er velvilligt stillet til rådighed af Mogens Kjeldal, Danske Maskinstationer og Entreprenører i Vejle, Jens Johnsen Høj, Agrotech, Bejstrup Maskinstation, Fjerritslev ved Kim K. Kristensen og Vesterhavegård Maskinstation, Horslunde, Lolland ved Gert Pedersen.

DCA - Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug er den faglige indgang til jordbrugs- og fødevarerforskningen ved Aarhus Universitet (AU). Centrets hovedopgaver er videnudveksling, rådgivning og interaktion med myndigheder, organisationer og erhvervsvirksomheder.

Centret koordinerer videnudveksling og rådgivning ved de institutter, som har fødevarer og jordbrug, som hovedområde eller et meget betydende delområde:

Institut for Husdyrvidenskab
Institut for Fødevarer
Institut for Agroøkologi
Institut for Ingeniørvidenskab
Institut for Molekylærbiologi og Genetik

Herudover har DCA mulighed for at inddrage andre enheder ved AU, som har forskning af relevans for fagområdet.



RESUME

Siden lanceringen af planerne i Måbjerg for både et biogasanlæg og et halmbaseret ethanolanlæg har der været debat om, hvorvidt der nu er nok biomasse lokalt til så store anlæg, og hvordan det evt. vil kunne påvirke priserne lokalt – eller måske i en hel region.

Som en del af projektet 'Fra natur til værk: Biomasse til Energi' er der med økonomisk støtte fra Region Midt og de deltagende partnere udviklet et værktøj til at analysere værdikæden af en biomasse fra marken til værket. Denne rapport dokumenterer dette modelværktøj og illustrerer med nogle udvalgte eksempler, hvad værktøjet kan bruges til. Formålet har været at udvikle og demonstrere et værktøj, der kan udarbejde en nuanceret og balanceret 'foderplan' for et værk/biogasanlæg på grundlag af biomasse fra nærområdet.

Værktøjet kan bruges af investorer og anlægsejere til at få analyseret forskellige konkrete scenarier før investering eller gennemførelse af ændringer i de eksisterende værdikæder.

Rapporten er udarbejdet af Videnscentret for Landbrug, Agro Business Park og Århus Universitet.

