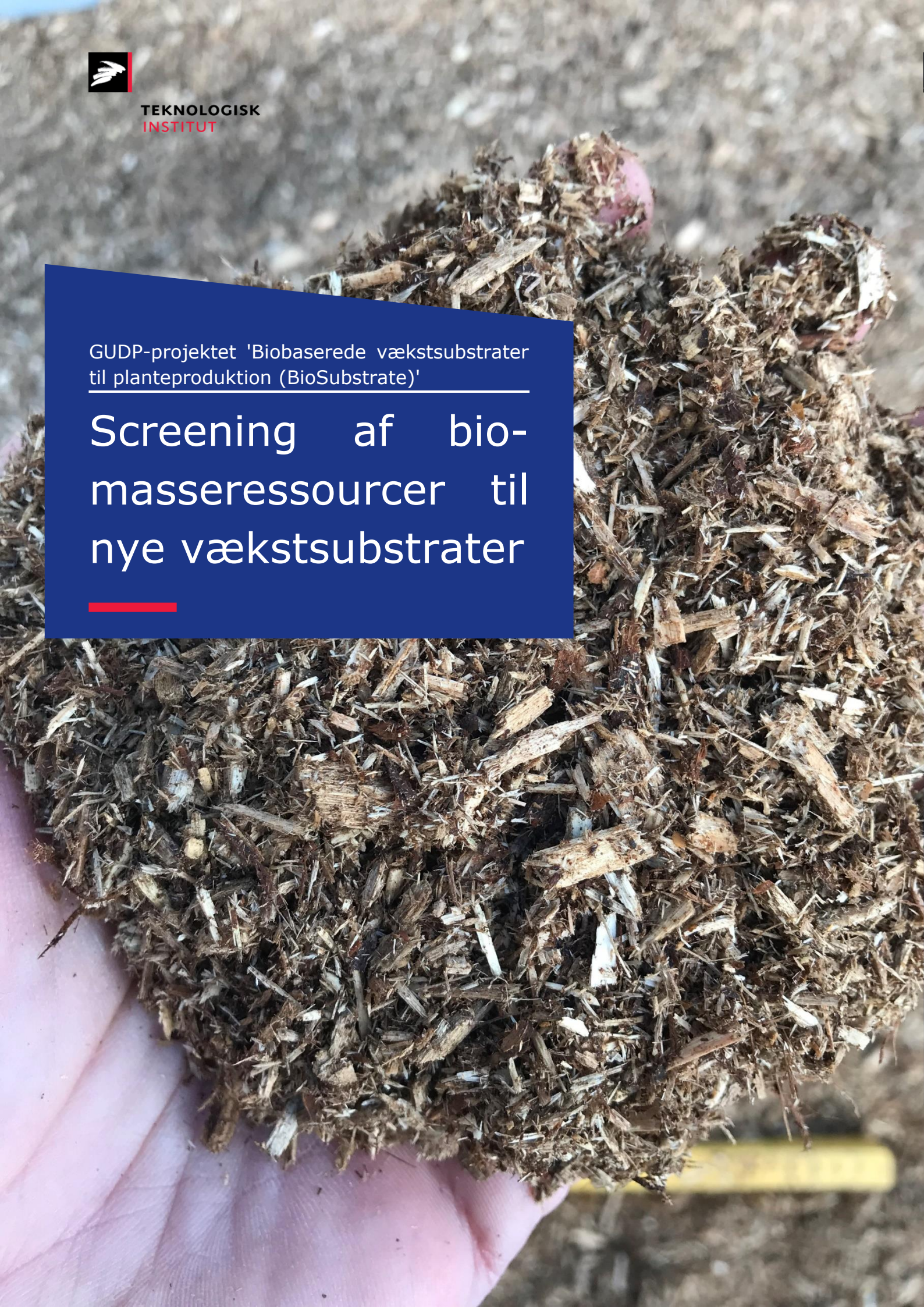
TEKNOLOGISK INSTITUT

GUDP-projektet 'Biobaserede vækstsubstrater til planteproduktion (BioSubstrate)'

Screening af bio-masseressourcer til nye vækstsubstrater



Teknologisk Institut

Titel:
Screening af biomasseressourcer til nye vækstsubstrater

Udarbejdet for:
Udarbejdet i forbindelse med GUDP-projektet 'Biobaserede vækstsubstrater til planteproduktion (BioSubstrate)', 2019-2021.

Udarbejdet af:
Teknologisk Institut
Agro Food Park 15, Skejby
8200 Aarhus N
Bioressourcer og Bioraffinering

September 2019

Forfatter: Søren Ugilt Larsen & Jørgen Hinge

Forsidefoto: Findelt pileflis anvendt til komposteringsforsøg maj 2019. (Foto: Søren Ugilt Larsen)

Indholdsfortegnelse

Sammendrag 4
1. Indledning 6
2. Potentielle biomasseressourcer til nye vækstsubstrater 7
2.1. Pil 7
2.2. Skovflis 9
2.3. Elefantgræs 11
2.4. Enggræs 13
2.5. Halm fra korn og frøgræs 14
2.6. Græsfiber fra proteinekstraktion 17
2.7. Afgasset gyllefiber 18
2.8. Insekt-frass / larvegødning 21
3. Samlet oversigt over biomasseressourcer 23
Referencer 26

Sammendrag

Produktion af bæredygtige biobaserede vækstsubstrater som erstatning for spagnum kræver biomasseressourcer af tilstrækkeligt store mængder og til priser, der kan gøre slutproduktet konkurrencedygtigt. I projektet 'Biobaserede vækstsubstrater til planteproduktion (BioSubstrate)' udgør en af aktiviteterne en screening af potentielle biomasse ressourcer til dette formål, og screeningen præsenteres i denne rapport. I screeningen indgår følgende biomassetyper:

- Energipil
- Skovflis
- Elefantgræs
- Enggræs
- Halm fra korn og raps
- Frøgræshalm
- Græsfiber fra proteinekstraktion
- Afgasset gyllefiber
- Insekt-frass / larvegødning

For hver biomassetype omfatter screeningen en vurdering af størrelsen på de tilgængelige ressourcer og den nuværende markedspris (såfremt en sådan findes) samt forventningerne til den fremtidige udvikling i mængde og pris. Desuden indgår der en vurdering af den potentielle variation i kvalitet indenfor hver biomassetype. Hovedresultaterne af screeningen er sammenfattet i en tabel sidst i rapporten, og de væsentligste konklusioner nævnes her kort.

Der er i de fleste år store mængder af halm fra korn, raps og frøgræs, som ikke bjærges, og hvor anvendelse til vækstsubstrat dermed ikke umiddelbart vil være i konkurrence med andre anvendelser. Der er også store uudnyttede ressourcer af enggræs, som vil kunne inddrages til produktion af vækstsubstrater. Der produceres årligt en stor mængde skovflis og en mindre mængde pileflis, og anvendelsen af disse biomasser vil typisk være i konkurrence med anvendelsen til varme- og kraftvarmeproduktion. Indtil videre produceres der kun relativt små mængder årligt af elefantgræs og græsfiber fra proteinekstraktion. Det er uklart, hvor stor en mængde gyllefiber, der årligt separeres fra afgasset gylle, men mængden vil potentielt kunne øges væsentligt, hvis der er afsætning for gyllefiberen. Mængden af insekt-frass er indtil videre meget lille.

Markedsprisen for biomasseressourcerne varierer en del, men prisniveauet for energipil, skovflis, elefantgræs og diverse halmtyper, som alle kan bruges til forbrænding til produktion af varme- og kraftvarme, ligger generelt indenfor et relativt snævert interval på typisk mellem 700 og 800 kr. pr. ton tørstof. Enggræs og græsfiber fra proteinproduktion er typisk lidt dyrere, mens afgasset gyllefiber har en meget lav eller endda negativ markedsværdi. Der synes ikke at være en etableret markedspris for insekt-frass. Den fremtidige udvikling i biomassemængder og biomassepriser er selvsagt forbundet med betydelig usikkerhed.

Samlet set er der generelt tale om store biomasseressourcer, som potentielt kan indgå i produktion af vækstsubstrater. Bortset fra afgasset gyllefiber har biomasserne

generelt en betydelig markedspris, som er styret af afsætningsmulighederne og omkostningerne til bjærgning. Ved anvendelse af biomasserne til vækstsubstrater vil omkostningerne til frembringelse af biomassen sammen med biomassens kvalitet og behovet for efterfølgende processering være af afgørende betydning for den samlede forretningsmodel. Det er derfor nødvendigt at analysere den samlede værdikæde for at vurdere forretningsmulighederne ved produktion af biobaserede vækstsubstrater. Prisniveauer, der er afdækket i denne screening, kan indgå i en sådan analyse.

1. Indledning

I projektet 'Biobaserede vækstsubstrater til planteproduktion (BioSubstrate)' er målet at udvikle nye vækstsubstrater på basis af bæredygtige biomasser, der processeres på forskellig vis for at opnå de ønskede dyrkningsegenskaber. I projektets arbejdspakke 2, 'Screening af biomasser til vækstsubstrater', er formålet at afdække hvilke biomasseressourcer, der kan være relevante til produktion af nye biobaserede vækstsubstrater som erstatning for spagnumbaserede substrater. Desuden er formålet at fremskaffe forskellige typer biomasser til forsøg med videre processering og dyrkningsforsøg m.m. i projektets øvrige arbejdspakker. Et bredt udvalg af biomassetyper er udvalgt til den indledende screening i projektet, og formålet med denne rapport er at vurdere disse biomassers tilgængelighed og pris. Tilgængeligheden er her primært defineret som den nuværende størrelse på ressourcerne i Danmark og en vurdering af den potentielle fremtidige størrelse på ressourcerne. Hvad angår prisen er der primært fokuseret på, hvad den nuværende markedspris er – hvis der er en etableret markedspris for biomassen – samt en umiddelbar vurdering af, hvordan prisen kan formodes at udvikle sig fremover. Endvidere er der kort nævnt, hvor vidt kvaliteten af en given type biomasse kan forventes at variere.

2. Potentielle biomasseressourcer til nye vækstsubstrater

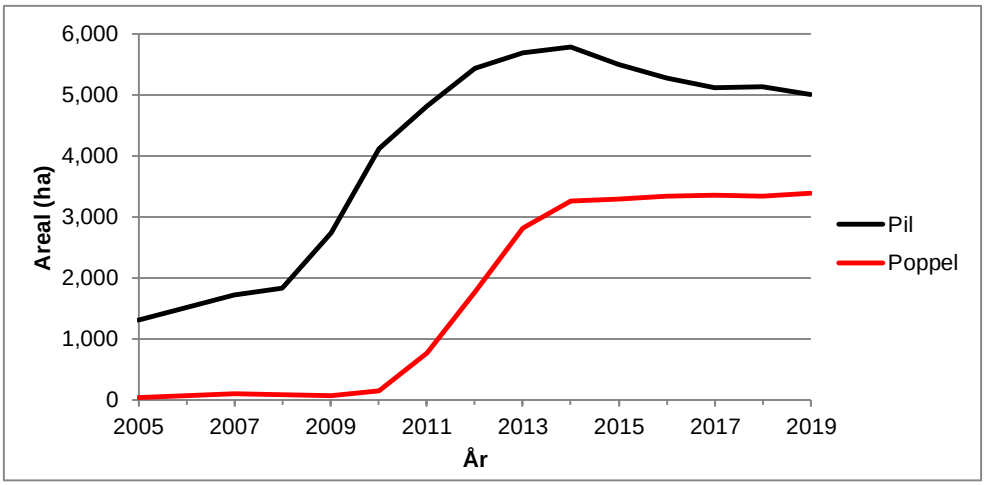
En lang række forskellige biomasser kan potentielt være relevante til produktion af nye vækstsubstrater, såfremt der med den fornødne processering kan opnås tilstrækkelig høj kvalitet af vækstsubstratet. Der kan både være tale om biomasser, der dyrkes specifikt til formålet og restbiomasser eller sidestrømme fra andre produktioner. I dette projekt fokuseres der indenfor dyrkede biomasser på pil, skovflis, elefantgræs og enggræs, mens der indenfor restbiomasser fokuseres på halm fra korn og frøgræs, græsfiber fra proteinekstraktion, afgasset gyllefiber samt insektfrass/larvegødning. For hver biomassetype er der et afsnit om hhv. ressourcer, markedspris og variation i kvalitet.

2.1. Pil

Ressourcer

I dyrkningsåret 2018-2019 er der et samlet areal med pil på landbrugsjord på 5.007 ha (Landbrugsstyrelsen, 2019). Desuden er der et areal på 3.392 ha med poppel på landbrugsjord med relativt kort omdriftstid, dvs. hvor træerne skal høstes minimum hvert 10. år. Der var en betydelig stigning i arealet med pil i perioden 2008-2012, mens arealet har været nogenlunde konstant siden (figur 1). Den fremtidige udvikling i arealet med pil vil især afhænge af, hvilken rolle afgrøden måtte få i forbindelse med de positive miljø- og klimaeffekter, som flerårige afgrøder har sammenlignet med enårige afgrøder. Desuden vil en stigning i prisen på træflis kunne øge interessen for piledyrkning. Umiddelbart forventes der dog ikke store ændringer i arealet med pil.

Udbyttet af pil kan være stærkt varierende som dokumenteret i forskellige undersøgelser af dyrkning i forsøg og praksis med en spændvidde i udbytte mellem kommercielt dyrkede marker fra 1 til 17 tons tørstof pr. ha pr. år (se sammendrag i Larsen & Jørgensen 2015). Det vurderes dog, at et gennemsnitligt årligt udbytte på ca. 8 tons tørstof pr. ha pr. år er realistisk. Med et areal på 5.000 ha og et årligt udbytte på 8 tons tørstof pr. ha pr. år vil der kunne ventes en årlig mængde pilebiomasse på ca. 40.000 tons tørstof fra det nuværende pileareal. Med et typisk vandindhold på 50% svarer dette til en råvaremængde på ca. 80.000 tons pr. år.



Figur 1. Samlet landbrugsareal i Danmark tilplantet med pil og poppel (inkl. areal uden tilskud og arealer som MFO-afgrøder). (Data fra årlige opgørelser af afgrøde-fordeling, fra FødevareErhverv/NaturErhversstyrelsen, Landbrugsstyrelsen, 2019).

Markedspris

Pileflis vil ofte være i konkurrence med træflis til energiformål, og prisen på pileflis vil derfor generelt følge prisen på træflis. Dog kan prisen på pileflis være en anelse lavere, da f.eks. visse varmeværker foretrækker skovflis pga. en højere energitæthed sammenlignet med pileflis. Over de seneste år har prisen på pileflis generelt ligget i intervallet 40-45 kr. pr. GJ, dog med eksempler på både højere og lavere priser. Iflg. Dansk Fjernvarmes brændselsstatistik for 1. kvartal 2019 var den vægtede gennem-snitlige pris for flis 47,17 kr. pr. GJ (Dansk Fjernvarme, 2019). Statistikken formodes primært at dække over skovflis og kun i meget begrænset omfang pileflis, og et realistisk prisniveau for pileflis vurderes derfor at være ca. 45 kr. pr. GJ.

Ved et vandindhold på typisk 50% har pileflis en brændværdi på 8,03 GJ pr. ton råvare eller 16,06 GJ pr. ton tørstof (Larsen, 2015). Dermed svarer prisen på 45 kr. pr. GJ til en pris 723 kr. pr. ton tørstof eller 361 kr. pr. ton råvare med 50% vand-indhold. Med en generel stigning i efterspørgslen efter skovflis (Skovdyrkerne, 2018), må der også forventes en moderat til stor stigning i prisen på pileflis.

Variation i kvalitet

Vandindholdet i friskhøstet pileflis er ofte omkring 50-55%. Rumvægten af flis af-hænger bl.a. af snitlængden med lavere rumvægt ved stor snitlængde (Elsamprojekt, 1997). Som tommelfingerregel kan der regnes med ca. 0,145 tons tørstof pr. m^3. En anden kilde angiver dog 0,125 tons tørstof pr. m^3 (Leer, 2007), mens der i praksis også er målt højere rumvægt end 0,145 tons (over 0,180 tons).

Når pil høstes om vinteren uden blade, vurderes kvaliteten af biomassen generelt ikke at variere meget i forhold til anvendelse til vækstsubstrat. Dog kan kvaliteten

påvirkes af f.eks. skud-alderen ved høst, idet tyndere skud (f.eks. ved høst hvert år) har et relativt højere vandindhold og en større barkandel og dermed højere koncentration af næringsstoffer sammenlignet med tykkere skud (f.eks. fra høst hvert tredje år) (Larsen et al., 2019). Endvidere vil biomassens kvalitet kunne påvirkes af opbevaringen efter høst, hvor der kan ske en begyndende kompostering ved lagring af våd pileflis. Hvis

En pileafgrøde og friskhøstet pileflis. (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

2.2. Skovflis

Ressourcer

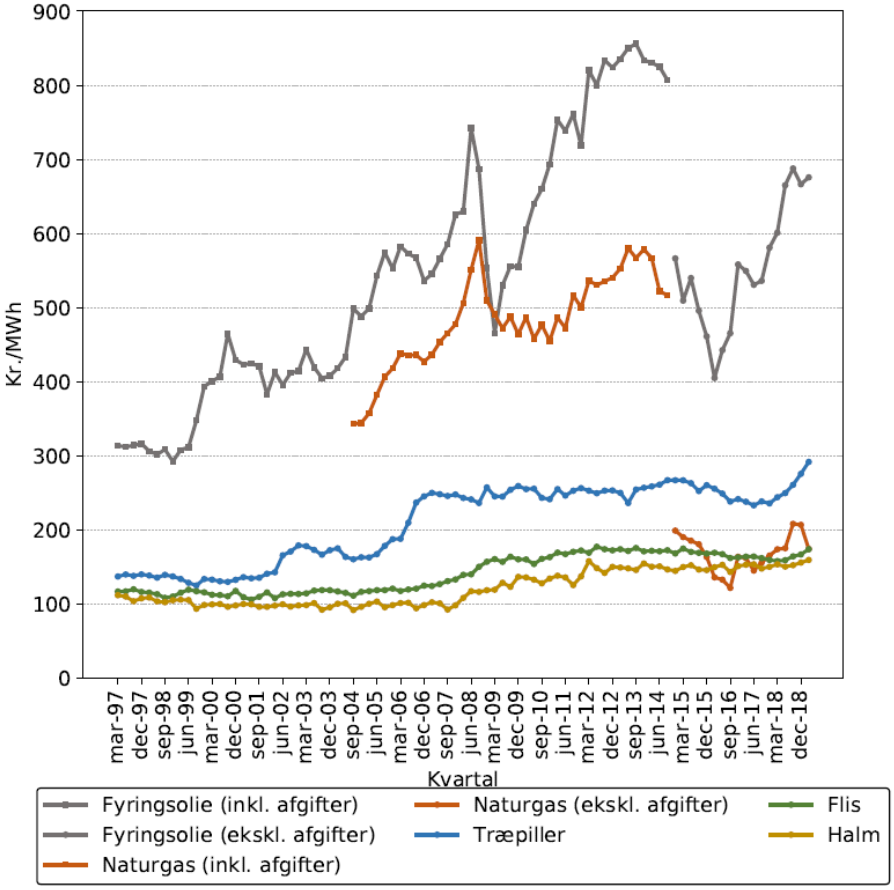
Iflg. Skovdyrkerne ligger den danske flisproduktion nogenlunde stabilt på omkring 2,0 mio. tons flis pr. år (Skovdyrkerne, 2018). Med antagelse om et vandindhold på ca. 42% i skovflis (Skovforeningen, 2013) svarer den årlige danske flisproduktion til 1.160.000 tons tørstof pr. år.

Produktionen vil kunne øges gradvist bl.a. via indplantning af energitræ i nye beplantninger, men det tager en del år, før det giver mulighed for at høste ekstra biomasse. Desuden vurderes det danske forbrug af skovflis at ville stige væsentligt hurtigere, end den danske produktion kan øges, formodentlig med en fordobling af forbruget fra 2015 til 2020 (Skovdyrkerne, 2018). Stigningen i forbruget skyldes bl.a. en stor omlægning til brug af biomasse i varme- og kraftvarmeproduktionen (Ingeniøren, 2018). Der er derfor tale om en meget stor import af træflis til Danmark.

Markedspris

Prisen på skovflis har været relativt stabil i en årrække, men i kraft af den stigende efterspørgsel efter skovflis til især energiformål har der været en tendens til stigende priser siden primo 2018 (Skovforeningen, 2019; Landbrugsavisen, 2018; Dansk Fjernvarme, 2019). Udviklingen i prisen på bl.a. flis og halm over de seneste ca. 20 år fremgår af figur 2.

Iflg. Dansk Fjernvarmes brændselsstatistik for 1. kvartal 2019 var den vægtede gennemsnitlige pris for flis 47,17 kr. pr. GJ (44,38 og 50,98 kr. pr. GJ for hhv. nedre og øvre kvartil) (Dansk Fjernvarme, 2019). Med en brændværdi på 9,36 GJ pr. ton råvare med et indhold på 45% vand (Dansk Fjernvarme, 2019) svarer dette til en pris på 442 kr. pr. ton råvare eller 803 kr. pr. ton tørstof.



Figur 2. Udvikling i brændselspriser (uden afgifter) fra 1. kvartal 2019 til 1. kvartal 2019. Fra Dansk Fjernvarmes brændselsstatistik for 1. kvartal 2019. (Dansk Fjernvarme, 2019).

Variation i kvalitet

En rummeter skovflis vejer ca. 0,300 tons, og med et gennemsnitligt vandindhold på ca. 42% vil der være ca. 0,174 tons tørstof pr. rummeter skovflis (Skovforeningen, 2013). Energiindholdet i et ton skovflis er ca. 10 GJ, og indholdet i en rummeter skovflis er således ca. 3 GJ. Kvaliteten af skovflis vil bl.a. kunne variere afhængig af træart, lagring efter skovning og flishugning osv. Der findes også 'paper-grade' træflis, hvor barken er fjernet før flishugning, og næringsstofindholdet derfor er lavere end i flis med bark.

Skovflis hugget af nåletræs-kævler. Der fås også 'paper-grade' træflis uden bark. (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

2.3. Elefantgræs

Ressourcer

Elefantgræs (*Miscanthus*) dyrkes indtil videre kun i begrænset omfang i Danmark med et samlet areal på 81 ha i 2019 (Landbrugsstyrelsen, 2019). En del af dette areal udgøres af typen tække-miscanthus til tækkeformål, mens hovedparten formodes at udgøres af elefantgræs til energiformål. Der ventes ikke umiddelbart nogen væsentlig udvidelse af det nuværende areal med elefantgræs, men det store udbyttepotentiale og positive miljø- og klimaeffekter ved dyrkning af flerårige afgrøder som elefantgræs sammenlignet med enårige afgrøder kan vise sig at øge interessen for afgrøden. Ligeledes kan nye alternative anvendelsesmuligheder af biomassen også føre til en udvidelse af det nuværende areal.

Elefantgræs kan høstes som 'grøn biomasse' ved efterårshøst eller som 'gul biomasse' ved forårshøst tidligt om foråret. Ved forårshøst er udbytteniveauet typisk 30-40% lavere end ved efterårshøst, men til gengæld er vandindholdet væsentligt lavere og kan under danske forhold komme ned under 20% ved gode høstforhold (Larsen et al., 2014). Ved forårshøst antages det at være realistisk med et gennemsnitligt årligt udbytteniveau over afgrødens levetid på ca. 9 tons tørstof pr. ha pr. år. Hvis ca. 60 ha af det samlede elefantgræsareal kan høstes til vækstsubstrat, vil der være en samlet biomasseressource på ca. 540 tons tørstof pr. år. Hvis biomassen kan høstes med 15% vand, vil det svare til ca. 635 tons råvare pr. år.

Markedspris

Elefantgræs høstet ved forårshøst vil typisk kunne bruges som brændsel til varme eller kraftvarme og vil dermed være i konkurrence med træflis og halm. Afsætningsprisen for elefantgræs formodes derfor nogenlunde at følge priserne for disse biomasser, dog kan den nødvendige afsætningspris for elefantgræs vise sig at være lidt højere, da der fortsat er tale om en nicheproduktion. Den gennemsnitlige pris for halm var i 1. kvartal 2019 44,24 kr. pr. GJ, og med en brændværdi på 14,5 GJ pr. ton råvare med 15% vand svarer dette til 641 kr. pr. ton råvare eller 755 kr. pr. ton tørstof (Dansk Fjernvarme, 2019). Hvis elefantgræs høstes med 20% vandindhold, svarer det til en salgspris på 603 kr. pr. ton råvare.

Variation i kvalitet

Ved forårshøst af elefantgræs er indholdet af næringsstoffer markant lavere i biomassen end ved efterårshøst, og f.eks. reduceres indholdet af aske, kvælstof, kalium og klorid og kvælstof betydeligt (Lewandowski et al., 2003). Det lavere næringsstofindhold kan have betydning for biomassens egenskaber som vækstsubstrat. Ligeledes reduceres vandindholdet i biomassen ved forårshøst (Lewandowski et al., 2003; Larsen et al., 2014), og dette kan have betydning for lagringen af biomassen fra høst og frem til videre processering.

Elefantgræs af biomassetypen Giganteus før løvfald (t.v.) og finsnittet elefantgræs ved 'vinterhøst' i marts-april måned (t.h.). (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

2.4. Enggræs

Ressourcer

Der findes i Danmark et betydeligt areal med enggræs, hvorfra biomassen ikke eller kun delvis udnyttes. Tidligere var disse arealer værdifulde til afgræsning og produktion af hø, men pga. strukturelle ændringer i landbruget er det ikke længere relevant eller rentabelt at udnytte arealerne. Biomassen, der produceres på disse arealer, kan potentielt udgøre en ressource til andre anvendelser som f.eks. vækstsubstrat, og omfanget af mulige engarealer er tidligere kortlagt i forhold til potentiel produktion af protein (Hinge et al., 2017). Denne kortlægning viste et potentielt areal på mellem 149.039 og 454.300 ha afhængig af de specifikke forudsætninger. En helt afgørende faktor for den samlede størrelse af engarealer, der er realistiske at udnytte, er udviklingen af teknologi, som effektivt og rentabelt kan bjærge biomassen fra fugtige og evt. ukurante engarealer. Selv ved det mest konservative estimat er der dog tale om et meget betydeligt arealpotentiale.

Biomasseproduktionen fra det potentielle areal blev estimeret til at være i intervallet 236.000-450.000 tons tørstof pr. år (Hinge et al., 2017). Råvaremængden vil afhænge betydeligt af høsttidspunkt og mulighed for forvejring m.m. Hvis der antages et tørstofindhold på 30%, vil der være tale om en råvaremængde på 787.000-1.500.000 tons pr. år.

Markedspris

Da uudnyttet enggræs ikke høstes og afsættes, er der i sagens natur ikke nogen veletableret markedspris. Som udgangspunkt vil prisen som minimum skulle dække omkostningerne til bjærgning af biomassen, men da en del engarealer er kategoriseret som naturarealer med krav om pleje i form af årlig høst, vil der for lodsejeren kunne være en vis synergi ved at kombinere pleje med høst af biomassen. Udover selve slåningen, som har en positiv effekt på artssammensætningen, vil der også kunne være en positiv miljøeffekt ved, at der med biomassen fjernes næringsstoffer fra arealerne, hvilket kan reducere udledningen af næringsstoffer til vandmiljøet.

Enggræs kan anvendes som foder til drøvtyggere, men som nævnt er behovet og efterspørgslen af enggræs til dette formål taget meget af gennem årene. Enggræs kan også anvendes til biogasproduktion. Det vurderes, at enggræs på nuværende tidspunkt kun anvendes til biogas i meget begrænset omfang, primært i forbindelse med biogasanlægget på Aarhus Universitet i Foulum (Henrik Møller, personlig kommunikation). Her leveres græsset til biogasanlægget til en relativt lav pris, som ikke dækker omkostningerne, men til gengæld får leverandørerne økologisk gødning retur. Tidligere er der aftalt en pris på 520 kr. pr. kg tørstof (BioM, 2012), men det vurderes, at omkostningerne i dag vil være væsentligt større. Afhængig af værdien af eksternaliteter ved høst af enggræs vurderes prisen at være i intervallet 600 og 1.000 kr. pr. ton tørstof. Ved 30% tørstof svarer det til 180-300 kr. pr. ton råvare.

Variation i kvalitet

Kvaliteten af biomasse fra engarealer vil kunne variere væsentligt afhængig af den botaniske sammensætning på det givne areal og ikke mindst høsttidspunkt og antal slæt pr. år. Tidlig høst og høst ved flere slæt pr. år vil generelt give græs med højere næringsstofindhold og lettere omsættelige kulstofforbindelser, mens høst af græs senere i vækstsæsonen vil give lavere indhold af næringsstoffer og mere tungt omsættelig biomasse (Hinge et al., 2017). Ved anvendelse af enggræs til vækstsubstrat vurderes det at være mest hensigtsmæssigt med sen høst for at få tungt omsættelig biomasse med kraftigere struktur.

Enggræs kan i princippet minde om alm. slætgræs fra marker i omdrift, men ofte vil der ikke blive høstet mere end én eller to gange om året, og da vil græsbiomassen være mere grov. (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

2.5. Halm fra korn og frøgræs

Ressourcer

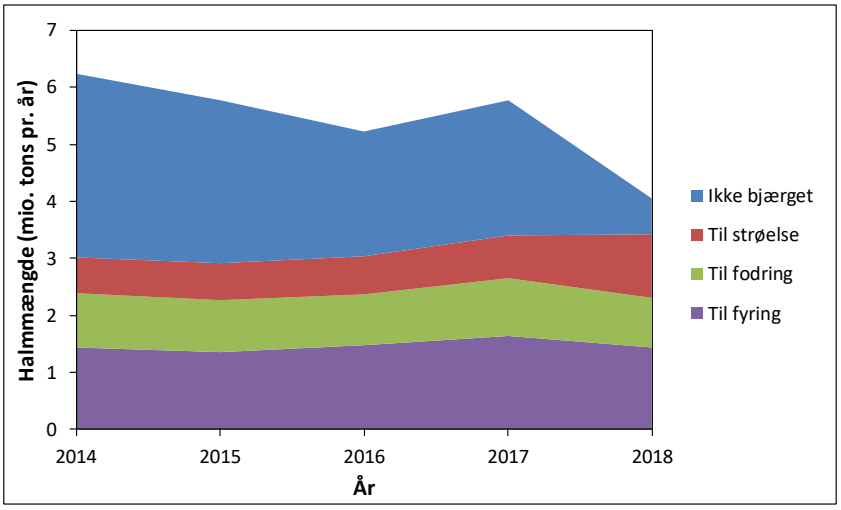
Den samlede halmressource fra korn, raps og bælgsæd (dvs. ekskl. frøgræshalm) udgjorde 5,4 mio. tons halm pr. år som gennemsnit af årene 2014-2018 (figur 3) (Statistikbanken, 2019). Vinterhvede og vårbyg udgjorde den største andel med hhv. 44 og 31% af den samlede halmmængde. Af den samlede halmmængde blev 27,1% anvendt til fyring, 17,1% blev anvendt til foder, 14,1% blev anvendt til strøelse, mens de resterende 41,7% ikke blev bjærget. Der er dog store årsvariationer i halmmængden og dermed også i mængden af halm der ikke bliver bjærget. F.eks. var der i tørkeåret 2108 kun 0,62 mio. tons halm, der ikke blev bjærget, mens denne mængde i årene 2014-2017 varierede mellem 2,20 og 3,23 mio. tons halm (figur 3). Halmressourcen, der potentielt kan bruges til vækstsubstrat, kan således variere mellem 0,62 og 3,23 mio. tons halm pr. år. Med et tørstofindhold på 15% svarer denne mængde til mellem 0,53 og 2,75 mio. tons tørstof pr. år. Der synes ikke umiddelbart at være udsigt til væsentlige ændringer i det samlede areal med korn og raps, så den primære variation i størrelsen på halmressourcen vil være betinget af

årsvariationer i halmudbyttet. Mængden af halm, der ikke bjærges, vil potentielt kunne udnyttes til vækstsubstrater uden at konkurrere med andre anvendelser. Dog er der stigende opmærksomhed på betydningen af at tilbageføre kulstof til jorden, f.eks. i form af halmnedmuldning, og anvendelsen til vækstsubstrat vil derfor kunne komme i konkurrence med denne interesse. Samlet set vurderes der dog at være en meget stor halmressource til rådighed til fremstilling af vækstsubstrat.

Udover halmressourcen fra korn, raps og bælgsæd findes der også en ressource af frøgræshalm. I årene 2014-2018 har det gennemsnitlige areal med frøgræs været 68.300 ha pr. år, hvoraf rajgræs og rødsvingel tilsammen udgør ca. 70% (Statistikbanken, 2019). Det årlige areal med frøgræs svinger noget, men samlet set forventes der ikke en større ændring i det gennemsnitlige areal med frøgræs indenfor de nærmeste år.

Ældre målinger af udbyttet af frøgræshalm viser et udbytteniveau på mellem 3,45 og 5,40 tons råvare pr. ha afhængig af græsart (Oversigt over Landsforsøgene, 1996). Hvis der antages et gennemsnitligt udbytte på 4,0 tons tørstof pr. ha pr. år og det gennemsnitlige areal på 68.300 ha, må der forventes en mængde af frøgræshalm på 273.200 tons pr. år, svarende til 232,220 tons tørstof pr. år.

Danmarks Statistik opgør ikke anvendelsen af frøgræshalm til forskellige formål, så det er derfor uklart, hvor stor en uudnyttet mængde frøgræs der vil kunne bruges til f.eks. vækstsubstrater. Frøgræshalm anvendes ligesom kornhalm bl.a. til foder og energiformål, og frøgræshalm af visse græsarter såsom engrapgræs eksporteres eksempelvis til Holland og Tyskland til strøelsesprodukter (Thomas Holst, personlig kommunikation). Det vurderes dog, at en væsentlig andel af den samlede mængde frøgræshalm potentielt vil kunne være til rådighed til f.eks. vækstsubstrater.



Figur 3. Samlede halmmængder i Danmark i årene 2014-2018, fordelt på hovedkategorier af anvendelse. (Data fra Statistikbanken, tabellen HALM1, tilgået 29/8 2019).

Markedspris

Iflg. Dansk Fjernvarmes brændselsstatistik for 1. kvartal 2019 var den vægtede gennemsnitlige pris for halm 44,24 kr. pr. GJ (40,61 og 46,29 kr. pr. GJ for hhv. nedre og øvre kvartil) (Dansk Fjernvarme, 2019). Med en brændværdi på 14,5 GJ pr. ton råvare med et indhold på 15% vand (Dansk Fjernvarme, 2019) svarer dette til en pris på 641,48 kr. pr. ton råvare eller 754,68 kr. pr. ton tørstof. Dette svarer til det generelle prisniveau på 600-650 kr. pr. ton råvare, der opleves i halmbranchen for tiden (Thomas Holst, personlig kommunikation). Halmprisen var iflg. brændselsstatistikken for 1. kvartal 2019 ca. 13% højere i Vestdanmark end i Østdanmark (Dansk Fjernvarme, 2019). Hvis der vil kunne anvendes halm af sekunda kvalitet (se afsnit om kvalitet) til fremstilling af vækstsubstrat, kan denne formodentlig erhverves til en lidt lavere pris.

Variation i kvalitet

Kvaliteten af halm kan variere mellem forskellige afgrødearter, f.eks. med lavere indhold af aske og klorid i rughalm sammenlignet med andre kornarter, og vinterhvede har et højere siliciumindhold (Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1995a). Øget kvælstofgødskning af vinterhvede kan øge kvælstofindholdet og reducere siliciumindholdet i halm, mens indholdet af kulhydrater og lignin synes stort set upåvirket af gødskningen (Jørgensen et al., 2019). Nedbørsmængden efter modning af kornet og efter høst har stor betydning for indholdet af næringsstoffer i halmen, da nedbøren gradvist udvasker opløselige salte; store mængder nedbør giver såkaldt 'grå halm' med bl.a. lavere indhold af kalium og klorid sammenlignet med 'gul halm', der kun har fået lidt nedbør (Videncenter for Halm- og Flisfyring, 1995b). Askeindholdet i halmen kan variere mellem 2 og 10%, bl.a. afhængig af jordtype med lavest indhold i halm dyrket på sandjord og højest på lavbundsjord (Skøtt, 2011). Hvis halmen må vendes på marken for at tørre inden presning i baller, vil dette ofte medføre højere askeindhold pga. sand og jord i halmen.

For både kornhalm og frøgræshalm vil halmkvaliteten kunne ændre sig væsentligt under lagring, hvis ikke vandindholdet er tilstrækkeligt lavt. Hvis vandindholdet er over ca. 15%, vil der begynde en komposteringsproces, hvorved de lettest omsættelige kulstofforbindelser bliver nedbrudt, og halmen bliver brun og kan pakke sammen i flager, der er vanskelige at adskille. Ved udendørs lagring af halm i uoverdækkede stakke vil det øverste lag halmballer (ud af typisk 5 eller 6 lag) ofte have fået så meget nedbør, at denne nedbrydningsproces er begyndt. Halm med for højt vandindhold og begyndende nedbrydning er således af sekunda kvalitet og vil normalt blive kasseret fra anvendelse til forbrænding men kan potentielt anvendes til f.eks. biogasproduktion og muligvis også til vækstsubstrat.

Halmballer med hvedehalm (t.v.) og hvedehalm før og efter findeling i hammermølle (t.h.). (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

2.6. Græsfiber fra proteinekstraktion

Ressourcer

Der har de seneste år været gennemført en række udviklingsprojekter vedr. udvinding af proteinjuice fra græsbiomasse. Ved denne proces presses proteinrig juice ud af biomasse og forarbejdes videre til foderprodukter til en-mavede dyr, mens fiberfraktionen kan anvendes til f.eks. grovfoder til drøvtyggere, til biogasproduktion eller potentielt til fremstilling af vækstsubstrater. Indtil videre har der primært været tale om afprøvning i pilot-skala, især ved Aarhus Universitet, men i juni 2019 er der indviet et større anlæg i demonstrationsskala, hvor målet er at kunne forarbejde 10 tons frisk biomasse pr. time, og hvor delstrømmene især skal bruges til fodringsforsøg (Landbrugsavisen, 2019). Den nuværende produktion af græsfiber er således meget beskeden og vil i 2019 næppe overstige 1.000 tons frisk græsfiber svarende til maks. 300 tons tørstof. Der er dog betydelig interesse for 'grøn bioraffinering' bl.a. i landbruget, og der er behov for at understøtte etableringen af de første kommercielle anlæg (Toft, 2018). På sigt kan græsfiber derfor komme til at udgøre en ganske betydelig ressource til f.eks. fremstilling af vækstsubstrater.

Markedspris

Fiberfraktionen af græs efter ekstraktion af protein vil typisk kunne bruges til kvægfoder eller til biogasproduktion. En foreløbig analyse tyder på, at det i langt de fleste tilfælde vil være mest økonomisk fordelagtigt at anvende pressekagen til kvægfoder fremfor til biogasproduktion (Larsen, 2018). Der er dog endnu ingen etableret markedspris for græsfiber. Siden foderværdien af græsfiber synes at være fuldt på højde med foderværdien af den oprindelige græsafgrøde (se afsnittet om kvalitet), er det sandsynligt, at prisen på græsfiber vil følge prisen på slætgræs til foder.

Prisprognosen for 2020 for græsensilage er 1,28 kr. pr. Norfor-foderenhed (FEN) til konventionelt foder og 1,50 kr. pr. FEN til økologisk foder (Farmtal Online, 2019). Med antagelse om behov for mellem 1,2 og 1,4 kg tørstof pr. FEN i græsfiber svarer

dette til en pris på 914-1.066 kr. pr. ton tørstof til konventionelt foder og 1.071-1.250 kr. pr. ton tørstof til økologisk foder. Ved et tørstofindhold på 30% i græsfiberen svarer dette til 274-375 kr. pr. ton råvare.

Variation i kvalitet

Fodringsforsøg ved Aarhus Universitet har vist, at fodring med en vis andel af ensileret kløvergræsfiber gav lidt højere mælkeydelse end, hvis den tilsvarende andel af rationen blev udgjort af alm. kløvergræsensilage (Sørensen, 2017). De foreløbige resultater vedr. foderværdien af pressekage er derfor lovende. Pressekagen vil ofte have omtrent samme proteinindhold som den oprindelige, ubehandlede afgrøde, men 1-2 procentenheder lavere in vitro fordøjelighed af organisk stof, og foderværdien af pressekagen vil derfor afhænge af kvaliteten af den oprindelige afgrøde (Weisbjerg, personlig kommunikation). En enkelt analyse af græsfiberensilage viser en foderværdi på 0,76 FEN pr. kg tørstof svarende til 1,31 kg tørstof pr. FEN (Henrik Martinussen, personlig kommunikation).

For at opnå et relativt højt udbytte af proteinjuice formodes det at være mest oplagt at høste græs relativt tidligt og hyppigt, hvorved fiberfraktionen antageligt også vil være relativt fordøjelig. Der er dog stadig behov for flere undersøgelser af kvaliteten af fiberfraktionen ved forskellige bioraffineringsprocesser og ved anvendelse af forskellige kvaliteter og typer af biomasser til bioraffineringen.

Frisk græs (t.v.) og frisk græsfiber efter proteinekstraktion med skruepresse (t.h.). (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

2.7. Afgasset gyllefiber

Ressourcer

Der har de seneste få år været en meget stor udbygning af husdyrgødningsbaseret biogasproduktion. Det vurderes, at over 20% af husdyrgødningen på nuværende tidspunkt bliver anvendt til biogasproduktion, svarende til i størrelsesordenen 8 mio. tons om året (Henrik Møller, personlig kommunikation). Efter afgasning af biomassen

vil der stadig være noget tørstof tilbage i den afgassede gylle, og en del af dette tørstof kan separeres fra i en fraktion af afgasset gyllefiber. Separationen kan ske ved en række forskellige teknologier, bl.a. skruepresser og dekantercentrifuger (Birkmose et al., 2019). Indtil videre praktiseres separation af afgasset gylle kun i moderat omfang, og det vurderes, at der er ca. 10 biogasanlæg, der har faciliteter til at separere afgasset gylle, bl.a. MEC Biogas ved Maabjerg (Henrik Møller, personlig kommunikation) og stort set kun i form af dekantercentrifuger (Birkmose et al., 2019). Separation af uafgasset gylle på husdyrbedrifter sker derimod primært vha. skruepressere (Birkmose et al., 2019).

Indførelse af en lovmæssig regulering af den maksimale mængde fosfor, som landmænd må udbringe pr. ha (det såkaldte fosforloft), har medført udfordringer med afsætning af den afgassede gylle, da et højt indhold af fosfor kan være begrænsende for, hvor meget kvælstof, der kan udbringes pr. ha (Birkmose et al., 2019). Denne problemstilling udgør et væsentligt incitament for at separere afgasset gylle, da en stor del af fosforen vil ende i fiberfraktionen, mens koncentrationen af fosfor reduceres i væskefraktionen. Efter separation af afgasset gylle vil det således være muligt at transportere fiberfraktionen og dermed en væsentlig del af fosforen bort til anvendelse i andre områder med lavere fosforbelastning eller til andre anvendelser. Der er især store mængder organisk gødning og dermed fosfor i Syd-, Vest- og Nordjylland, og separation af afgasset gylle ses derfor som en mulighed for at løse et regionalt fosforproblem (Birkmose et al., 2019).

Der synes ikke at være præcise opgørelser af mængden af gyllefiber, der separeres fra afgasset gylle (Torkild Birkmose, personlig kommunikation), og dermed er det vanskeligt at vurdere den potentielle mængde til brug for f.eks. fremstilling af vækstsubstrat. Det er dog sandsynligt, at der bl.a. i kraft af fosforproblematikken vil ske en stigning i anvendelsen af separation især i de vestlige dele af Danmark, hvor der er stor husdyrtæthed.

Markedspris

Gyllefiber af uafgasset gylle kan bl.a. anvendes som strøelse til malkekøer i sengebåse (Holm & Pedersen, 2015). For fiber fra afgasset gylle kan der til gengæld være lovgivningsmæssige forhindringer for anvendelse som strøelse, hvis biogasanlægget modtager gylle fra andre bedrifter end den, hvor gyllefiberen bruges til strøelse.

Afgasset gyllefiber kan også anvendes som gødningsmiddel og erstatte især fosfor fra handelsgødning på planteavlsbrug (Birkmose et al., 2019). Denne anvendelse har både fordele og ulemper, men en økonomisk analyse viser, at der kan være en økonomisk gevinst på 600-700 kr. pr. ha ved at anvende gyllefiber som en delvis erstatning af handelsgødning i vinterhvede og vårbyg (Birkmose et al., 2019). I analysen er biogasanlæggets omkostninger til separation og transport mv. dog ikke indregnet. Pga. forskellige ulemper såsom ekstra administration og praktiske forhold ved udspredning mm. er der indtil videre ikke nogen væsentlig efterspørgsel efter afgasset gyllefiber til gødningsformål, og i praksis bliver der på nuværende tidspunkt ikke betalt for gyllefiberen (Birkmose et al., 2019). I visse tilfælde er det vanskeligt for

biogasanlæg at afsætte den fosforrige fiberfraktion, f.eks. for MEC Biogas ved Maabjerg (Søgaard, 2018), og derfor betaler biogasanlæg i nogle tilfælde for at komme af med gyllefiberen (Torkild Birkmose, personlig kommunikation).

En anden mulig anvendelse af afgasset gyllefiber er forbrænding eller forgasning. En væsentlig ulempe ved disse anvendelser er dog, at plantetilgængeligheden af fosfor reduceres under forbrænding (jo højere temperatur des større reduktion i plantetilgængeligheden), ligesom der har været lovgivningsmæssige barrierer i forbindelse med forbrænding af husdyrgødning i Danmark (Birkmose et al., 2019).

Samlet set synes afgasset gyllefiber således indtil videre at have en meget lav og i visse tilfælde endda en negativ markedsværdi, men meget afhængig af regionale forhold. Det er også uklart, hvordan prisen på afgasset gyllefiber kan forventes at udvikle sig fremover, og udviklingen vil bl.a. bero på udvikling og afprøvning af mere effektive teknologier til separation og evt. tørring og anden forarbejdning af gyllefiberen for at minimere omkostningerne til transport og udbringning og sikre god gødningsvirkning osv.

Variation i kvalitet

Afgasset fiber kan variere betydeligt i tørstofindhold afhængig af separationsteknologi med variationer fra mellem 10-15 og 35-40% (Birkmose et al., 2019). Derudover vil der kunne være væsentlige variationer i næringsstofsammensætningen afhængig af separationsteknologi og af, hvilken biomasse biogasanlæggene anvender i produktionen.

Biogasanlæg og fiberfraktion fra afgasset gylle efter separation med skruepresse. (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

2.8. Insekt-frass / larvegødning

Ressourcer

Produktion af insekter og insektlarver er en ny niche i Danmark, som stadig er under udvikling. Ved produktionen kan larver udnytte forskellige biomasser/restbiomasser til vækst og med en relativt høj foderudnyttelse, f.eks. af biomasse med relativt begrænset alternative anvendelsesmuligheder. Larverne vil typisk have et højt proteinindhold og kan anvendes til fødevarer eller foder. Der er stor interesse for insektproduktion, hvilket bl.a. afspejles i, at der er over 200 medlemmer af Dansk Insektnetværk (Mogensen, 2019). Interessen ses også af et stort antal offentligt finansierede udviklingsprojekter (Mogensen, 2019), som også understreger det fortsatte behov for at videreudvikle produktionen. Projekterne fokuserer især på produktion af soldaterfluelarver (*Hermetia illucens*) og melorm (*Tenebrio molitor*).

Ved produktion af insektlarver produceres en sidestrøm, såkaldt frass, som består af ekskrementer fra larverne og rester af larvernes foder, men som også kan indeholde døde insekter/larver (Andersen, 2019). Tørstofindholdet kan variere mellem 24 og 80% (Andersen, 2019). Ved produktionen kan 660 kg tørstof i foder resultere i ca. 400 kg tørstof i frass, 161 kg tørstof i larver og 104 kg CO_2 (Andersen, 2019). I forsøg er der i visse tilfælde opnået en så høj foderudnyttelse, at larver og frass produceres i forholdet 1:1 på tørstofbasis, men i praksis vil forholdet snarere være 1:2 (Lars-Henrik Lau Heckmann, personlig kommunikation). Der er derfor tale om en betydelig andel af frass ved insektproduktion.

Indtil videre er der kun tale om en begrænset produktion af insektlarver i Danmark. Der er dog planer om en opskaleret produktion bl.a. ved firmaet Enorm, hvor produktionen ventes at komme op på 200-300 tons insekt-frass indenfor et års tid og ca. 5.000 tons indenfor tre år (Andersen, 2019). På nuværende tidspunkt vurderes den samlede mængde af insekt-frass i Danmark at være mellem 1-10 tons pr. år (Lars-Henrik Lau Heckmann, personlig kommunikation).

Insekt-frass kan potentielt bruges som et gødningsprodukt. Pga. risikoen for indhold af døde larver har Miljøstyrelsen kategoriseret insekt-frass som kategori 2-affald, hvilket betyder, at materialet skal tryksteriliseres ved 133°C i 20 minutter, før det kan anvendes som jordforbedring eller kompost (Andersen, 2019). Alternativt kan det forbrændes som husdyrgødning iht. Affaldsforbrændingsbekendtgørelsen eller anvendes i pyrolyseanlæg.

Kravet om tryksterilisering før anvendelse til jordforbedring udgør en væsentlig barriere for anvendelsen af insektfrass – og formodentlig også for økonomien ved insektproduktion generelt. Insektbranchen er i kontakt med myndighederne om disse forhold, og ændringer i de lovgivningsmæssige rammer for insektproduktionen kan blive meget afgørende for den potentielle anvendelse af insekt-frass til vækstsubstrater.

Markedspris

Da der endnu kun er en meget begrænset insektproduktion i Danmark, synes der ikke at være etableret nogen markedspris for insekt-frass. Markedsværdien af insekt-frass vil givetvis også komme til at afhænge af de lovgivningsmæssige rammer for insektproduktion og for håndtering og anvendelse af frass-fraktionen.

Variation i kvalitet

Kvaliteten af insekt-frass forventes at kunne variere en hel del, bl.a. afhængig af insekt-art og afhængig af fodersammensætningen (Lars-Henrik Lau Heckmann, personlig kommunikation). Der er dog endnu kun begrænset viden om kvaliteten af insekt-frass.

Insekt-frass fra Black soldier flies. (Foto: Søren Ugilt Larsen, Teknologisk Institut).

3. Samlet oversigt over biomasseressourcer

I tabel 1 er vist en oversigt over de gennemgåede biomasseressourcer. Der er i de fleste år store mængder af halm fra korn, raps og frøgræs, som ikke bjærges, og hvor anvendelse til vækstsubstrat dermed ikke umiddelbart vil være i konkurrence med andre anvendelser. Der er også store uudnyttede ressourcer af enggræs, som vil kunne inddrages til produktion af vækstsubstrater. Der produceres også årligt en stor mængde skovflis og en mindre mængde træflis af energipil, og anvendelsen af disse biomasser vil typisk være i konkurrence med anvendelsen til varme- og kraftvarmeproduktion. Indtil videre produceres der kun relativt små mængder årligt af elefantgræs og græsfiber fra proteinekstraktion. Det er uklart, hvor stor en mængde gyllefiber, der årligt separeres fra afgasset gylle, men mængden vil potentielt kunne øges væsentligt, hvis der er afsætning for gyllefiberen. Mængden af insekt-frass er fortsat meget lille.

Markedsprisen for biomasseressourcerne varierer en del, men prisniveauet for energipil, skovflis, elefantgræs og diverse halmtyper, som alle kan bruges til forbrænding til produktion af varme- og kraftvarme, ligger generelt indenfor et relativt snævert interval på typisk mellem 700 og 800 kr. pr. ton tørstof (tabel 1). Enggræs og græsfiber fra proteinproduktion er typisk lidt dyrere, mens afgasset gyllefiber har en meget lav eller endda negativ markedsværdi. Der synes ikke at være en etableret markedspris for insekt-frass.

Samlet set er der generelt tale om store biomasseressourcer, som potentielt kan indgå i produktion af vækstsubstrater. Bortset fra afgasset gyllefiber har biomasserne generelt en betydelig markedspris, som er styret af afsætningsmulighederne og omkostningerne til bjærgning. Ved anvendelse af biomasserne til vækstsubstrater vil omkostningerne til fremskaffelse af biomassen sammen med biomassens kvalitet og behovet for efterfølgende processering være af afgørende betydning for den samlede forretningsmodel. Det er derfor nødvendigt at analysere den samlede værdikæde for at vurdere forretningsmulighederne ved produktion af biobaserede vækstsubstrater.

Tabel 1. Oversigt over biomasseressourcer der potentielt vil kunne bruges til produktion af vækstsubstrat. Vurdering af ressourcestørrelse, biomassepris og potentiel variation i kvalitet. Se tekst vedr. forudsætninger for vurderingerne.

Biomasse	Ressourcens størrelse i Danmark			Biomassepris			Vurdering af potentiel variation i kvalitet
	Nuværende situation		Forventet fremtidig udvikling	Nuværende prisniveau		Forventet fremtidig prisudvikling	
	tons råvare pr. år	tons tørstof pr. år		kr. pr. ton råvare	kr. pr. ton tørstof		
Energipil	Ca. 80.000	Ca. 40.000	Uændret, evt. moderat stigning.	Ca. 362	Ca. 723	Moderat til stor stigning.	Relativt lille variation. Dog kan næringsstofindholdet variere bl.a. afhængig af skudalder ved høst. Lagring efter høst kan også påvirke kvaliteten.
Skovflis	Ca. 2.000.000	Ca. 1.160.000	Moderat stigning.	Ca. 442	Ca. 803	Moderat til stor stigning.	Relativt lille variation. Kan dog variere afhængig af træart, lagring efter skovning m.m.
Elefantgræs	Ca. 635	Ca. 540	Ingen eller svag stigning.	Ca. 603	Ca. 755	Svag til moderat stigning.	Relativt stor, især afhængig af høsttidspunkt.
Enggræs	787.000-1.500.000	236.000-450.000	Umiddelbart ingen større ændringer.	180-300	600-1.000	Umiddelbart ingen større ændringer.	Relativt stor, især afhængig af høsttidspunkt og antal slæt pr. år.
Halm fra korn og raps m.m.	623.000-3.234.000	530.000-2.748.999	Umiddelbart ingen større ændringer.	Ca. 641	Ca. 755	Umiddelbart ingen større ændringer, men væsentlig årsvariation pga. svingende udbytter.	Relativt lille. Kan dog variere mellem kornarter og af forhold under vækst, bjærgning og lagring.
Frøgræshalm	273.200	232.220	Umiddelbart ingen større ændringer.	Ca. 641	Ca. 755	Umiddelbart ingen større ændringer, men væsentlig årsvariation pga. svingende udbytter.	Relativt lille. Kan dog variere mellem kornarter og af forhold under vækst, bjærgning og lagring.

Tabel 1 fortsat.

Biomasse	Ressourcens størrelse i Danmark			Biomassepris			Vurdering af potentiel variation i kvalitet
	Nuværende situation		Forventet fremtidig udvikling	Nuværende prisniveau		Forventet fremtidig prisudvikling	
	tons råvare pr. år	tons tørstof pr. år		kr. pr. ton råvare	kr. pr. ton tørstof		
Græsfiber fra proteinekstraktion	< 1.000	< 300	Formodentlig en markant stigning.	274-375	914-1.250	Umiddelbart ingen større ændringer. Ventes at følge prisen på alm. slætgræs til grovfoder.	Middel. Kan variere afhængig af græskvalitet og ekstraktionsteknologi.
Afgasset gyllefiber	?	?	Formodentlig en stigning.	Negativ - 0	Negativ - 0	Uklart. Vil afhænge af regionale forhold såvel som udvikling af teknologi forarbejdning.	Relativt stor. Kan variere afhængig af biomassesammensætning i biogasanlægget og af separationsmetoden efter afgasning.
Insekt-frass / insektgødning	1-10	?	Formodentlig en markant stigning.	?	?	Uklart. Vil bl.a. afhænge af lovgivningsmæssige rammer for anvendelse af insekt-frass.	Middel/uklart. Formodes bl.a. at afhænge af insektart og fodersammensætning.

Referencer

Andersen, M. (2019). FlyChar projekt: Anvendelse af insekt frass. Præsentation på temadag i Dansk Insektnetværk 27/3 2019.

BioM (2012). Samarbejdsaftale om biomassehandel og bioforgasning af plantebiomasse og husdyrgødning. Aftale mellem Leverandørselskabet Nørreådalen Amba og Aarhus Universitets Forsøgsbiogasanlæg i Foulum, udarbejdet i regi af BioM-projektet, 2010-2012. https://www.teknologisk.dk/_/media/67588_8_samarbejdsaftale_biom.pdf

Birkmose, T. (2019). Torkild Birkmose, landskonsulent, SEGES, personlig kommunikation 2/9 2019.

Birkmose, T., Stougaard, K., Holst, T., Jensen, H.B. & Nielsen, B.S. (2019). Fosforregulering - er biogasanlæg en løsning eller en udfordring? Rapport udarbejdet af SEGES og Landbrug & Fødevarer. Juni 2019, 46 s. https://www.landbrugsinfo.dk/Energi/Biogas/Filer/Rapport.pdf

Dansk Fjernvarme (2019). Brændselsprisstatistik nr. 194 for 1. kvartal 2019. Dansk Fjernvarme, Medlemsinformation nr. 2931-19, maj 2019.

Elsamprojekt (1997). Helårsforsyning af pil til kraftvarme. Rapport fra Elsamprojekt A/S, Landbrugets Rådgivningscenter og Forskningscentret for Skov og Landskab.

Farmtal Online (2019). Prognosepriser, Interne foderpriser, Farmtal Online, opdateret november 2018. https://farmtalonline.dlbr.dk/Navigation/NavigationTree.aspx

Heckmann, L.-H. L. (2019). Lars-Henrik Lau Heckmann, sektionsleder, Teknologisk Institut. Personlig kommunikation, 2/9 2019.

Hinge, J., Larsen, S.U. & Pedersen, J. (2017). Desk study on potential protein production based on grass from meadows. Teknologisk Institut, maj 2017. 22 s.

Holm, A.M. & Pedersen, R. (2015). Fiberfraktion fra gylle som strøelse i sengebåse til malkekøer. Farmtest Kvæg nr. 98, marts 2015. SEGES. 24 s.

Holst, T. (2019). Thomas Holst, chefkonsulent, Landbrug & Fødevarer, sekretær i brancheorganisationen Danske Halmleverandører. Personlig kommunikation, 28/8 2019.

Ingeniøren (2018). Danmark er dybt afhængigt af træpiller, flis og brænde. Artikel på Ingeniørens hjemmeside, 12/1 2018. https://ing.dk/artikel/danmark-dybt-afhaengigt-traepiller-flis-braende-209842

Jørgensen, H., Hecke, J.v., Zhang, H., Malik, P.L., Felby, C. & Schjørring, J.K. (2019). Wheat as a dual crop for biorefining: Straw quality parameters and their interactions with nitrogen supply in modern elite cultivars. GCB Bioenergy, 11, 400-415.

Landbrugsavisen (2018). Sultne varmeværker: Prisen på flis stiger. Landbrugsavisen, 31/5 2018. https://landbrugsavisen.dk/sultne-varmev%C3%A6rkerprisen-p%C3%A5-flis-stiger

Landbrugsavisen (2019). Et nyt bioraffineringsanlæg på AU Foulum åbner i og bliver et vigtigt led i omstillingen til et mere miljø- og klimavenligt landbrug. Artikel på Landbrugsavisens hjemmeside 26/6 2019. https://landbrugsavisen.dk/nyt-bioraffinerings-anl%C3%A6g-indviet

Landbrugsstyrelsen (2019). Opgørelse af afgrødefordeling 2019. Notat fra Landbrugsstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet. 6. juni 2019. 12 sider. https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tilskud/Arealtilskud/Direkte_stoette_-_grundbetaling_mm/2019/Opgoerelse_af_afgroedefordelingen_2019.pdf

Larsen, S.U. (2015). Kalkuler for energipil. Artikel 734 på Landbrugsinfo, senest opdateret 7/10 2015. https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Afgroeder/Energiafgroeder/pil-energiskov/Sider/pl_11_734.aspx

Larsen, S.U. (2018). Gødningsprodukter fra bioraffinering af grøn biomasse. Delrapport fra INBIOM fællesprojekt om bioraffinering 2017-2018. Teknologisk Institut, marts 2018. 24 s.

Larsen, S.U. & Jørgensen, K. (2015). Økonomien i piledyrkning – budgetkalkuler. I: Kortlægning af potentialer og barrierer ved energipil. S. 84-99. Rapport for Energistyrelsen, udarbejdet af AgroTech, Agrovi, Niras, Aarhus Universitet og SEGES.

Larsen, S.U., Jørgensen, U. & Lærke, P.E. (2019). Harvest interval and row spacing of SRC willow influence yield and nutrient content. Biomass and Bioenergy, 126, 181-189.

Larsen, S.U., Jørgensen, U., Kjeldsen, J.B. & Lærke, P.E. (2014). Long-term Miscanthus yield influenced by location, genotype, row distance, fertilization and harvest season. Bioenergy Research, 7, 620-635.

Leer, E. (2007). Hvordan er markedet for pileflis, og hvilke kvalitetskrav skal være opfyldt? Indlæg på Plantekongres 2007.

Lewandowski, I. et al. (2003). Environment and harvest time affects the combustion quality of Miscanthus genotypes. Agronomy Journal, 95, 1274-1280.

Martinussen, H. (2019). Henrik Martinussen, konsulent, SEGES. Personlig kommunikation 30/8 2019.

Mogensen, J. (2019). Velkommen til temadag i Dansk Insektnetværk. Præsentation på temadag i Dansk Insektnetværk 27/3 2019.

Møller, H. (2019). Henrik Møller, seniorforsker, Aarhus Universitet. Personlig kommunikation 29/8 2019.

Oversigt over Landsforsøgene (1996). Måling af bjærgede halmmængder 1994-96. Oversigt over Landsforsøgene, 1996, Forsøg og undersøgelser i de landøkonomiske foreninger. S.119. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl.

Skovdyrkerne (2018). Forbruget af skovflis vil blive fordoblet om få år. Artikel på Skovdyrkernes hjemmeside, 1/12 2018. http://www.skovdyrkerne.dk/om-os/laes-artikler-fra-skovdyrkeren/singlevisningartiklerfraskovdyrkeren/artikel/forbruget-af-skovflis-vil-blive-fordoblet-om-faa-aar/

Skovforeningen (2013). Danmarks forsyning af træflis i fremtidens energimarked. Notat udgivet af Dansk Skovforening, De Danske Skovdyrkerforeninger og HedeDanmark. Februar 2013. 16 s. https://www.skovforeningen.dk/media/traeflis-fremtid-energimark.pdf

Skovforeningen (2019). Prisstatistik for energitræ, 2019_05_Energitrae, Skovforeningens hjemmeside for Prisstatistik. Tilgået 28/8 2019. https://www.skovforeningen.dk/media_category/prisstatistik/

Skøtt, T. (2011). Halm til energi – status, teknologier og innovation i Danmark 2011. Rapport, udgivet af Inbiom / Agro Business Park A/S, Tjele. 40 s.

Statistikbanken (2019). Danmarks Statistik, tilgængelige data fra Statistikbanken, tabellerne 'HALM1, Halmudbytte og halmanvendelse efter område, anvendelse, enhed, afgrøde og tid' og 'FRO, Frøproduktion efter enhed, afgrøde og tid'. Tilgået 29/8 2019. https://www.statistikbanken.dk/statbank5a/SelectTable/Omrade0.asp?PLanguage=0

Søgaard, L.S. (2018). Pas på fosforfælden i afgasset gylle. Artikel på Landbrugsinfo, 15/6 2018. https://www.landbrugsinfo.dk/kvaeg/miljoe/sider/kn-18-9871-pas-paa-fosforfaelden.aspx

Sørensen, L.S. (2017). Fodring med pulp-ensilage gav mere mælk i tanken. DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet. Nyhed 17/10 2017. http://dca.au.dk/aktuelt/nyheder/vis/artikel/fodring-med-pulp-ensilage-gav-mere-maelk-i-tanken/

Toft, L.V. (2018). Bioraffinering – white paper. Rapport fra SEGES og Future Farming, Juni 2018. 32 s.

Videncenter for Halm- og Flisfyring (1995a). Halmarters kemiske sammensætning. Videnblad nr. 83, marts 1995. http://www.videncenter.dk/Videnblade-dok/VB83.pdf

Videncenter for Halm- og Flisfyring (1995b). Udvaskning af byg- og hvedehalm. Videnblad nr. 87, juli 1995. http://www.videncenter.dk/Videnblade-dok/VB87.pdf

Weisbjerg, M. (2018). Martin Weisbjerg, professor, Aarhus Universitet. Personlig kommunikation 8/1 2018.