

# Biomassehåndtering i Lejre Kommune

*Slåning og opsamling af vejkantsgræs*



Marts 2022

**Interreg**

Öresund-Kattegat-Skagerrak  
European Regional Development Fund



EUROPEAN UNION



**RUC**  
Roskilde Universitet



**Lejre  
Kommune**

**GATE  
21** PORTEN TIL  
GRØN VÆKST

**Titel:** Biomassehåndtering i Lejre Kommune - Slåning og opsamling af vejkantsgræs

**Udgivelsesår:** Marts 2022

**Udarbejdet af:** Andreas Dyreborg Martin, Roskilde Universitet ([andyma@ruc.dk](mailto:andyma@ruc.dk))

Tobias Pape Thomsen, Roskilde Universitet ([tpapet@ruc.dk](mailto:tpapet@ruc.dk))

Tyge Kjær, Roskilde Universitet ([tk@ruc.dk](mailto:tk@ruc.dk))

Lea Knudsen, Gate 21

**Støttet af:** Projektet er støttet af EU InterReg i projektet GreaterBio

Grant #: NYPS 20203414

**Tak til:** Hold Danmark Rent

Lejre Kommune

**Roskilde Universitet**

Universitetsvej 1, 4000 Roskilde



**Roskilde Universitet**

<b>1</b>	<b>SAMMENDRAG</b>	<b>5</b>
1.1	DANSK	5
1.2	SVENSK	6
<b>2</b>	<b>INDLEDNING</b>	<b>8</b>
2.1	VURDERINGSOMRÅDE OG AFGRÆNSNING	9
<b>3</b>	<b>METODE</b>	<b>10</b>
3.1	UDBUD TIL ENTREPRENØRER OM VEJKANTSKLIPNING	10
3.2	INTERVIEW MED HENRIK SØGAARD FRA KS TREE CARE A/S	11
3.3	BEREGNING PÅ MASKINEL	13
3.4	BEREGNING AF VEJ	14
3.5	BIOMASSEPOTENTIALE	15
3.6	INDSAMLING AF BIOMASSE	16
3.7	BEREGNINGSGRUNDLAG FOR TRANSPORT-, SLÅNING- OG MAKINELLE OMKOSTNINGER	18
3.8	CO <sub>2</sub> -EQ	21
3.8.1	BRÆNDSTOFFORBRUG	21
3.8.2	BIOGAS	21
3.8.3	PYROLYSE	22
3.8.4	USIKKERHEDER FORBUNDET MED CO <sub>2</sub> -EQ BEREGNINGER	23
3.9	BIOMETANPOTENTIALET	24
3.10	FORURENINGER I GRÆS	24
3.10.1	SYNLIGE URENHEDER	24
3.10.2	TUNGMETALLER OG MILJØFREMMEDE STOFFER	25
<b>4</b>	<b>RESULTATER</b>	<b>26</b>
4.1	BIOMASSEPOTENTIALE	26
4.2	AFFALD I VEJKANTEN	26
4.3	TRANSPORT-, SLÅNING- OG MAKINELLE OMKOSTNINGER	28
4.4	BIOMETANPOTENTIALE	31

<b>4.5</b>	<b>ELEMENTÆR ANALYSE (CHN) OG ØVRE BRÆNDVÆRDI (HHV)</b>	<b>33</b>
<b>4.6</b>	<b>CO<sub>2</sub>-E</b>	<b>35</b>
4.6.1	KLIMAOPGØRELSE FOR VEJGRÆS	36
<b>5</b>	<b>FORBEDRINGER</b>	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>ØKONOMI</b>	<b>37</b>
<b>5.2</b>	<b>KVALITET</b>	<b>38</b>
<b>5.3</b>	<b>KLIMA</b>	<b>40</b>
<b>5.4</b>	<b>ANDRE OVERVEJELSER</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>LITTERATURLISTE</b>	<b>42</b>
<b>7</b>	<b>BILAG</b>	<b>44</b>
<b>7.1</b>	<b>BILAG 1</b>	<b>44</b>

# 1 Sammendrag

## 1.1 Dansk

Flere kommuner ønsker at øge biodiversiteten på deres arealer. En løsning er at indsamle biomasse fra naturplejede græs- og vandløbsarealer, hvor ved man skaber mere næringsfattige miljøer, hvilket er til gavn for biodiversiteten. I denne rapport undersøges to aktiviteter. I **første** aktivitet afdækkes omkostningerne, der er forbundet med slåning og indsamling af græs fra vejkanten. I **anden** aktivitet undersøges, de miljømæssige muligheder ved at håndtere biomasse fra naturplejede græs- og vandløbsarealer:

- ✓ Vejkantsgræs
- ✓ Grødeskær
- ✓ Græs fra grønne arealer

### Omkostninger ved græsslåning

I samarbejde med Lejre Kommune slog Tree Care A/S seks forsøgsstrækning. I denne forbindelse blev hastighed på slåning, brændstofforbrug, kapacitet og andre erfaringer noteret. Disse notater dannede herefter grundlag for økonomiske beregninger af græsslåning. Samlet set blev slåning og opsamling af vejgræs beregnet til 1659 Dkr/tons græsafklip i sammenligning med slåning af vejkantsgræs uden opsamling, som udgjorde 46 Dkr/tons græsafklip. Dog findes der mange muligheder for at reducere omkostninger, herunder

- ✓ Øge hastigheden på klipper
- ✓ Undgå eller mindske kørsel til opsamlingssted
- ✓ Øge kapacitet, enten ved komprimering af græsafklip eller større ladvogn
- ✓ Kun opsamle ved højt arealudbytte

### Miljømæssige muligheder

De miljømæssige påvirkninger, blev undersøgt ved at håndterings af biomasse gennem pyrolyse og biogas. Til disse beregninger blev en række laboratorietests udført:

- ✓ Biometanpotentiale (Biogaspotentiale)
- ✓ Brændværdi
- ✓ Elementær analyse af kulstof, nitrogen og hydrogen

For alt biomasse fra naturplejede græs- og vandløbsarealer gælder, at tørstoffet har en stor effekt på klimaeffekten. Ved vejkantsgræs blev klimaeffekten også beregnet overfor brændstofforbruget. Med pyrolyse kunne der fortrænges mellem 0,056 og 0,228 tons CO<sub>2</sub>e/tons græsafklip, imens håndtering af

græsafklip til biogas fortrængte mellem -0,05 og 0,081 tons CO<sub>2</sub>e/tons græsafklip. Dermed viste beregninger, at udnyttelse af vejkantsgræs til pyrolyse og biogas har en positiv effekt på klimaet.

## 1.2 Svensk

Många kommuner vill öka den biologiska mångfalden på sina marker. En lösning är att samla in biomassa från gräs från naturvårdsområden och växter fra vattendrag, som i sin tur hjälper till att skapa näringsfattiga miljöer, vilket är gynnsamt för den biologiska mångfalden. I den här rapporten undersöks två aktiviteter. I den första aktiviteten undersöks vilken kostnaden är för slåtter och uppsamling av gräs från vägkanterna. I den andra aktiviteten undersöks de miljömässiga fördelarna med att hantera biomassa från naturvårdsområden:

- ✓ Vägkantsgräs
- ✓ Vattenväxter
- ✓ Gräs från grönområden

### Kostnader för slåtter av gräs

I samarbete med Lejre kommun genomförde Tree Care A/S sex olika slåttersträckor. Hastigheten för slåttern, bränsleförbrukning, kapacitet och andra observationer noterades. Detta låg sedan till grund för ekonomiska beräkningar av slåtter av gräs. Sammantaget beräknades slåttern och uppsamling av vägkantsgräs till 1 659 DKK/ton gräsklipp jämfört med slåtter av vägkantsgräs utan uppsamling, vilket beräknades till 46 DKK/ton gräsklipp. Det finns dock många möjligheter att minska kostnaderna, till exempel genom att:

- ✓ öka hastigheten på gräsklipparen
- ✓ undvika eller minska transporten till uppsamlingsplatsen
- ✓ öka kapaciteten, antingen genom komprimering av gräsklippen eller en större lastvagn
- ✓ endast samla upp vid hög arealavkastning

### Möjligheter för positiv miljöpåverkan

Miljöpåverkan undersöktes vid användningen av biomissan för pyrolys och biogasproduktion. För dessa beräkningar utfördes en serie laborietester:

- ✓ Biometanpotential (biogaspotential)
- ✓ Värmevärde
- ✓ Elementaranalys av kol, kväve och väte

För all biomassa från naturvårdsområden har torrsubstansen stor påverkan på klimatet. När det gäller vägkantsgräs beräknades klimateffekten även mot bränsleförbrukningen. Med pyrolys minskades utsläppen av koldioxid med 0,056 och 0,228 ton CO<sub>2</sub>e/ton gräsklipp, medan produktion av biogas av gräsklipp minskade koldioxidutsläppen med -0,05 och 0,081 ton CO<sub>2</sub>e/ton gräsklipp. Beräkningarna visade med andra ord att användning av vägkantsgräs för pyrolys och biogas har en positiv effekt på klimatet.

## 2 Indledning

I Lejre Kommune har man i en årrække undersøgt muligheden for at forbedre biodiversiteten omkring vejkanten sammen med Natur360. I regi af dette arbejde blev det undersøgt, hvilken påvirkning fjernelse af vejkantsgræs i forbindelse med slåning havde af effekt på biodiversiteten for forskellige forsøgsstrækninger. Der viste sig nogle gode muligheder for at berige vejkanten med flere arter, ved at diversificere slåning og opsamling i henhold til den pågældende biotops tilstand (Bak et al., 2019a). Flere tiltag pegede på, at ændre praksis for pleje af vejkanten. Vejkanten kan både være en barriere og en naturlig korridor mellem to økosystemer. Flere studier viser, at selv insekter, som kan migrere mange kilometer, i mindre grad søger føde over veje. Dog ses det også at vejkanten anvendes af bl.a. monarksommerfugle og møl som korridorer mellem to områder, hvis vejkanten indeholder en høj densitet af værtsplanter (Phillips et al., 2020).

På nuværende tidspunkt, er det derfor undersøgt, hvordan man kan øge den lokale biodiversitet. Dog er det fulde billede ikke belyst i og med de økonomiske og miljømæssige konsekvenser af en potentiel øget aktivitet ved slåning og opsamling af græsafklip ikke er undersøgt. Det er derfor blevet valgt at undersøge disse påvirkninger på de selvsamme forsøgsstrækninger, som blev vurderet i det tidligere projekt.

Formålet er derfor at undersøge:

- ✔ Omkostningen ved slåning og indsamling af græs.
- ✔ Græsafklips kvalitet til anvendelse af forskellige håndteringsmuligheder.
- ✔ CO<sub>2</sub>-udledningen og -fortrængning forbundet med slåning, opsamling og videre håndtering
- ✔ Beregning af de potentialer vejkantsgræs har for Lejre Kommune.

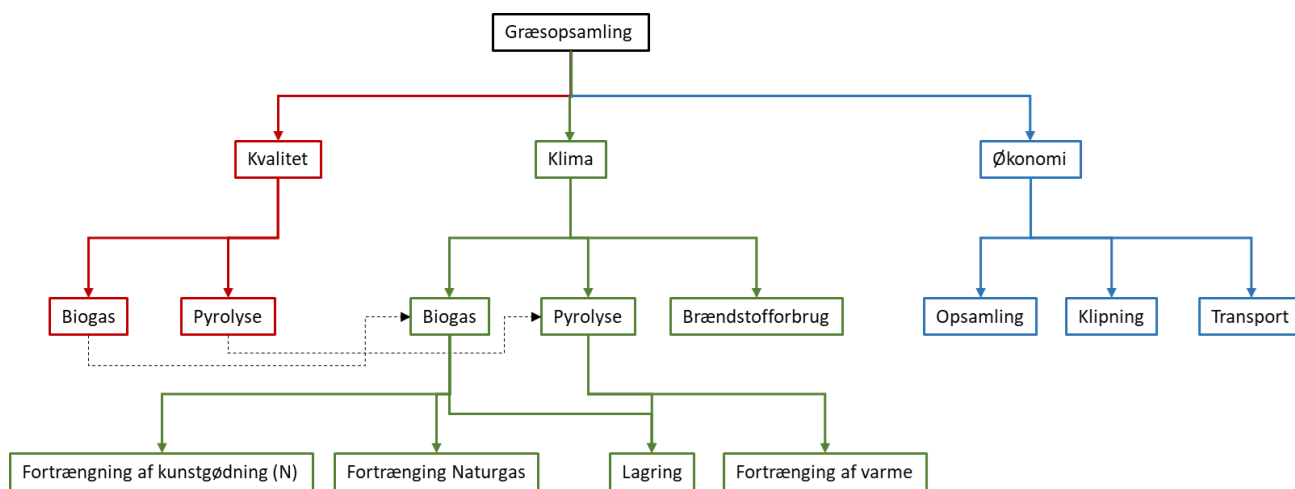
I undersøgelsen vil en entreprenør slå græsstrækninger og sideløbende dokumentere de forskellige forhold, der gjorde sig gældende under slåning og opsamling. Dette vil bidrage til en forståelse af både omkostning og forbrug af brændsler.

For at undersøge græsafklips kvalitet, vil der blive udført en undersøgelse af eksisterende viden på området, som vil blive understøttet af en række laboratorieundersøgelser og indhentning af data. Laboratorieundersøgelser og dataindsamling føder ind til og peger på de forskellige håndteringsmuligheder, ved beregninger af de CO<sub>2</sub>-fortrængninger, de forårsager.



## 2.1 Vurderingsområde og afgrænsning

Opsamlingen af vejkantsgræs er vurderet indenfor tre områder (Figur 1). **Kvaliteten** er vurderet for håndteringsmulighederne biogas og pyrolyse. En del af disse beregninger bruges til beregninger af CO<sub>2</sub>eq, imens andre kvalitetsparametre føder ind til en samlet vurdering af håndteringsmuligheden. CO<sub>2</sub>-ækvivalenter vil være omdregningspunktet for **klimapåvirkningen** og vil fordele aktiviteter ved opsamling af vejkantsgræs og håndteringsmuligheder. Aktiviteternes klimapåvirkning vil blive beregnet i brændstofforbrug fra opsamlingen, slåningen og transporten af vejkantsgræs. Dermed afgrænses fra påvirkningen lokalt, herunder luftforurening. Ved håndteringsmulighederne regnes på biogas og pyrolyse. Affaldsforbrænding som håndteringsmulighed er ikke medtaget, da prisen for håndtering er meget høj, eksempelvis 420 Dkr/ton på ARGOs forbrændingsanlæg (ARGO, 2021). For biogas og pyrolyse beregnes den fortrængning af fossile brændsler fra fjernvarme, som varmeproduktionen fortrænger. Derudover tilbageføres næringsstoffer ved anaerobisk nedbrydning, som fortrænger fossilt kunstgødning. Sidst regnes på **omkostningen** forbundet med slåning, opsamling og transport, hvor der sammenlignes med at slå uden opsamling. I denne rapport regnes ud fra omkostninger for Lejre Kommune og der regnes med at materialet leveres gratis til håndteringsstedet, hvor de står for evt. forbehandling, dokumentation, analyse osv.



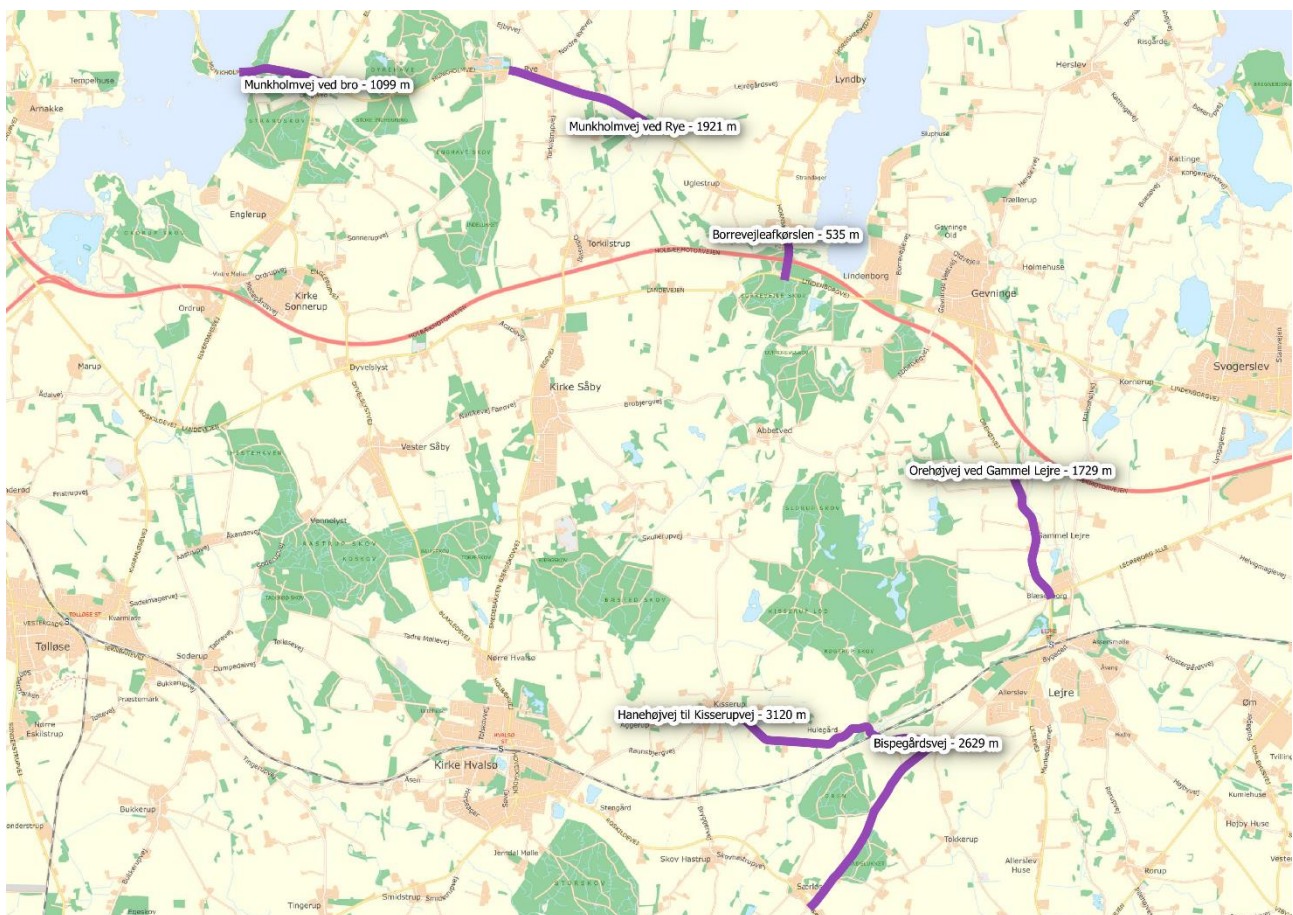
Figur 1 - Vurderingsgrundlaget for opsamling af vejkantsgræs.

### 3 Metode

#### 3.1 Udbud til entreprenører om vejkantsklipning

I 2021 opsatte Lejre Kommune et udbud til entreprenører for klipping og opsamling af græsafklip på seks forsøgsstrækninger (Figur 2):

- ✔ En strækning på Orehøjvej ved Gammel Lejre (1,7 km)
- ✔ To strækninger på Munkholmvej (I alt 2,9 km)
- ✔ En strækning på Bispegårdsvej (2,6 km)
- ✔ En strækning fra Hanehøjvej til Kisserupvej (I alt 3,1 km)
- ✔ En strækning ved Borrevejleafkørslen samt heller (0,5 km)



Figur 2 - De seks forsøgsstrækninger

Det blev valgt at bruge samme forsøgsstrækninger, som den forhenværende undersøgelse på biodiversiteten, der blev foretaget for Lejre Kommune af Natur360 (Bak et al., 2019a).

I udbuddet lå der en række krav om dataindsamling (Bilag 1):

”En del af opgaven er at notere hvor mange m<sup>3</sup> biomasse der opsamles per strækning (m<sup>3</sup>/km) og hvor mange ton biomasse (vejes ved aflevering på deponi), der indsamles i maj og i september. I den forbindelse også hvor mange m<sup>3</sup> biomasse per læs og hvor mange læs/containerer, der køres væk per km.”

Derudover skulle vejkantsgræsset afleveres til Audebo Miljøcenter. Det viste sig, at dette ikke kunne lade sig gøre, da de ikke modtager græsafklip med synlige urenheder (forårsaget af mennesker) uden forbehandling. Dermed blev det sendt til forbrænding ved ARGOs forbrændingsanlæg, hvor mængden blev indvejet.

Derudover var det et krav i udbuddet, at græsset blev klippet til en højde på ca. 10 cm.

Opsamling og klipning skulle foretages i én arbejdsgang, for at sikre biomassen opsamles umiddelbart efter slåningen. Formålet var at biomassens kvalitet ikke blev forringet af henlægning. En karrenstid mellem slåning og opsamling kan dog sikre en større andel af overlevende insekter, som i mellemtiden kan migrere fra den døende tørre biomasse og tilbage ned i det levende græs (Bak et al., 2019b).

### 3.2 Interview med Henrik Søgaard fra KS Tree Care A/S

KS Tree Care blev valgt som entreprenør til opgaven. Efter at entreprenøren havde klippet de seks forsøgsstrækninger i forår og efterår 2021, blev der foretaget et interview med KS Tree Care. Dette blev foretaget med Henrik Søgaard, som stod for enterprisen og som havde lavet tilbuddet til Lejre Kommunes udbud om klipning.

Interviewet var udelukkende for at klarlægge nogle datamæssige og tekniske spørgsmål. Det var et telefoninterview. Respondenten havde forinden interviewet fremsendt forskellig dokumentation, herunder:

- ✓ Faktura for klipning forår 2021
- ✓ Faktura for klipning efterår 2021
- ✓ Vejesedler til ARGO (affaldsforbrænding) på afleveret græsafklip
- ✓ Mængdeopgørelse, hastighed, tidsforbrug osv. iht. udbudsmaterialet.
- ✓ Tilbud til rabatslåningen i 2021

I interviewet blev der spurgt ind til detaljeret priser i tilbuddet. KS Tree Care har ikke oplyst de eksakte tal, som de anvender, men i stedet nogle overslag på, hvilket interval priserne ligger i. Dette var dels for at beskytte forretningshemmeligheder, men også fordi det er stærkt afhængigt af, hvor meget erfaring de har på området og hvor stor en enterprise, de byder på.

### 3.3 Beregning på maskinel

For at undersøge påvirkningen af græsslåning og -opsamling, er der tre hovedaktiviteter der skal undersøges:

SLÅNING AF GRÆS



TRANSPORT TIL OPSAMLING

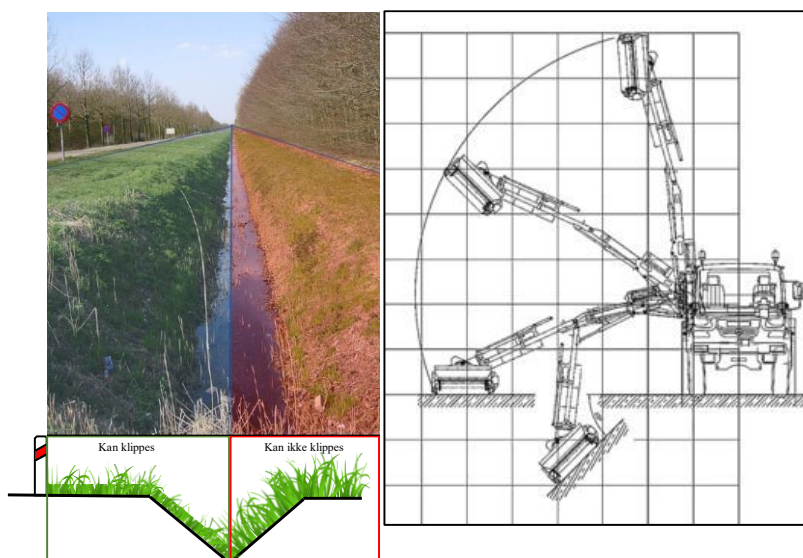


TRANSPORT TIL HÅNDBTERING



- ✓ Slåning af græs: Når slagleklipperen klipper græsset, suges det op i et anhænger. Hastigheden og mængde af græs er afgørende for, hvor effektivt græsset slås per ton.
- ✓ Transport til opsamling: Når anhængerer er fyldt transporteres græsafklippet til nærmeste opsamlingssted.
- ✓ Transport til håndtering: En ladvogn afhenter græsafklip og sender det til håndtering. Nuværende praksis er at sende det til et affaldsforbrændingsanlæg, men fremtidig ønskes en mere bæredygtig håndtering.

KS Tree Care valgte til opgaven at anvende en slagleklipper med anhænger. Deres slagleklipper kan kun klippe grøfteskråningen på den side, slagleklipperen klipper fra (Figur 3).



Figur 3 – Foto (øverst venstre) og grafisk billede (nederst venstre) af det område fra vejen, som kan klippes (blå/grøn) og ikke kan klippes (rødt). Billede i højre side viser vinklen slagleklipperen kan manøvrere i. Kilde: (Mulag, 2022).

Derfor skal den anden side klippes med en anden metode. Derudover kan slagleklipperen ikke klippe rundt om skilte, træer og pæle. Dette blev efterfølgende gjort manuelt. Dog kan nogle slagleklippere også monteres disks med sensorer på, som vist på Lejre Kommunes vejkantsklipper på Figur 4.



Figur 4 - Lejre Kommunes amskinel til klipning af vejkantegræs.

### 3.4 Beregning af vej

Forsøgsstrækninger udgør i alt 10,8 km vej med varierende vejkantbredde og rabat. Hver længde vej skal typisk slås flere gange afhængig af vejtypen, skæl og terrænvariationer. Vejtypen kan variere på grund af cykelstier, midterrabatter eller andre tilføjelser til vejen. Derudover kan terrænvariationer, såsom grøftekanter, gøre at områder skal slås flere gange indenfor samme skår. Den maksimale bredde slagleklipperen kan slå, er 2,5 meter og anses for ét skår i denne rapport.

På Figur 5 ses et eksempel ved Munkholmvej, hvor vejen skal slås fem gange. To gange i hver side (blå striber), da bredden på vejkanten overstiger det breddeskår, slagleklipperen klipper i. Derudover skal slagleklipperen slå rabatten mellem cykelsti og vej på den ene side (grøn stribe).

Der blev i forbindelse med tilbuddet udført en vurdering på baggrund af udbuddet for, hvor mange gange hver vejstrækning skal slås. Dette kaldes den løbende kilometer (lkm). Således har den markeret vejstrækning i Figur 5 en løbende meter på 5 lkm på en kilometer vejstrækning. I rapporten, vil der i forbindelse med nævnte hastigheder på køretøjer udelukkende være tale om løbende meter. Det skal

noteres, at der findes mange bredder på slagleklippere og antallet af gange en vejstrækning skal klippes, afhænger af dette.



Figur 5 – Eksempel på antal gange der skal køres langs en vej. Blå = Yderrabat Grøn = Skillerabat mellem cykelsti og vej.

### 3.5 Biomassepotentiale

I Lejre kommune er det blevet undersøgt, hvad potentialet for vejkantsgræs er. Der blev vha. GIS-kort fra Kortforsyningen (Dataforsyningen) indhentet data om vejnettet i Lejre Kommune. På baggrund af dette blev biomassepotentialet udregnet ud fra metoden i Meyer et al. (2014). Metoden bygger på nogle antagelser omkring, hvor langt inde veje bliver slået afhængig af vejklasse og sæson (forår/efterår). Hermed blev opsat tre scenarier for, hvor brede vejkanterne er. Det **første** er et optimistisk scenarie, hvor optimale forhold gør sig gældende og at det vælges at slå langt inde i vejkanterne. Det **andet** scenarie er et konservativt scenarie, hvor det sikres ikke at overestimere potentialet og hvor det antages slåningen af vejkanterne, ikke gennemsnitligt overstiger 1,5 meter i hver side. Det **tredje** scenarie er et praktisk scenarie, hvor der regnes med ens værdier for alle vejkantstyper uanset klasse eller årstid.

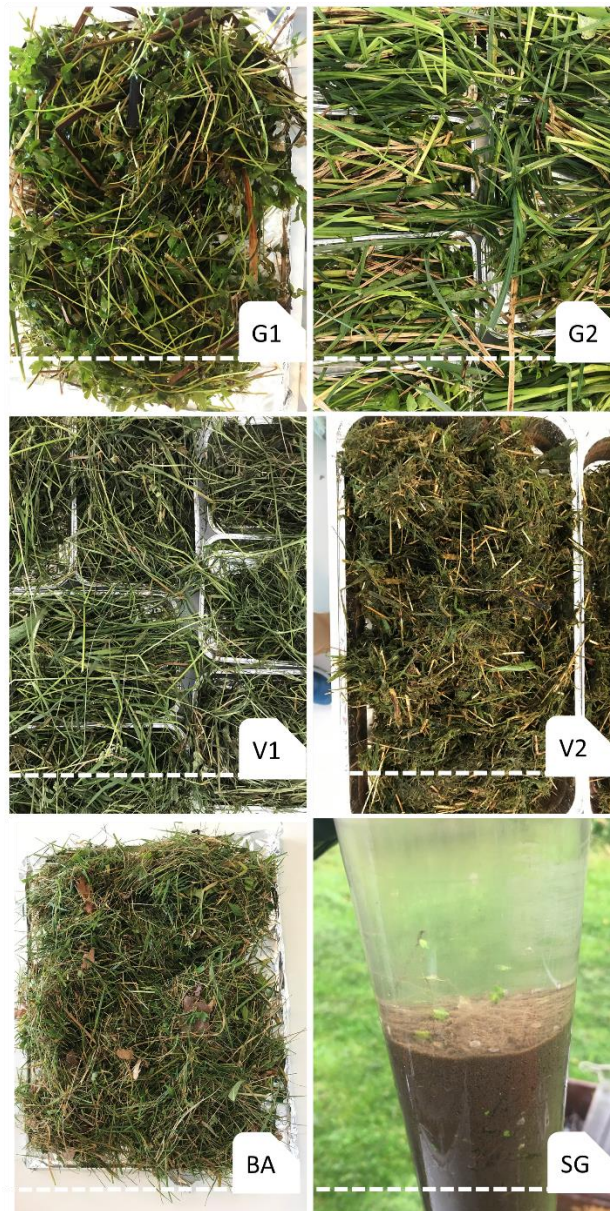
### 3.6 Indsamling af biomasse

I perioden 2020-2021, blev der opsamlet en række biomasser, for at undersøge deres karakteristika med henblik på at vurdere håndteringsmulighederne. Det blev undersøgt, hvilke biomasser lignede græsafklip fra vejkanter, der kunne være relevante. Dette blev gjort for at forbedre håndteringsmuligheder ved at "pulje" biomasser, således at der er et større grundlag for etablering af håndteringsanlæg, såsom biogas eller pyrolyse. Derudover blev de valgt for at have et sammenligningsgrundlag. Der blev fokuseret på biomasser, som Lejre Kommune igennem naturpleje eller vedligehold havde rådighed over. Der blev fokuseret på fire biomasser:

- ✓ Græsafklip fra vejkanter (undersøgelsens hovedfokus)
- ✓ Grødeskær fra vandløb
- ✓ Sediment fra gadekær
- ✓ Græsafklip fra kommunale grønne arealer

Billeder af indsamlet biomasser kan ses på Figur 6.





Figur 6 - Indsamlet biomasser. **G1**: Grødeskær indsamling 1 **G2**: Grødeskær indsamling 2 **V1**: Vejgræs indsamling 1 **V2**: Vejgræs indsamling 2 **BA**: Kommunale grønne arealer **SG**: Sediment fra gadekær

For græsafklip fra vejkanter og grødeskær, blev der indsamlet to prøver. For sediment fra gadekær og græsafklip fra kommunale grønne arealer blev der indsamlet én prøve. Efter indsamlingen blev det vurderet at sediment fra gadekær var meget forskellig fra de resterende prøver, på grund af det havde en mere jordagtig struktur og et højt sandindhold. Det blev derfor valgt kun at videreundersøge de resterende indsamlede biomasser, jf. Tabel 1. I Tabel 1 ses også indsamlingstidspunkter og -metoder for de forskellige indsamlede biomasser. Vejkantsgræs og grødeskær blev indsamlet af de entreprenører der varetager den daglige plejeopgave. Ved første indsamling blev vejkantsgræs indsamlet i Lejre Kommune og anden gang i

Trelleborg Kommun. Græsafklip fra kommunale grønne arealer og sediment fra gadekær blev udelukkende indsamlet fra Lejre Kommune til laboratorieforsøg.

Tabel 1 - Indsamlingstidspunkt og -metode samt undergået labundersøgelser for de indsamlede biomasser.

Biomasse	Indsamling 1	Indsamling 2	Indsamlings- metode	Lab- undersøgelse
Græsafklip fra vejkanter	maj-21	jun-21*	Slagleklipper	BMP+CHN+HHV
Grødeskær fra vandløb	jun-20	nov-20	Mejekurv	BMP+CHN+HHV
Sediment fra gadekær	okt-20		Opsamling i rør	CHN
Græsafklip fra kommunale grønne arealer	nov-21		Elektrisk græsslåmaskine	BMP+CHN+HHV

CHN: Kulstof-, Hydrogen- og Nitrogenindhold

BMP: Biometanpotentiale

HHV: Øvre brændværdi

\*Indsamlet i Gasum Jorberga AB, Trelleborg Kommun

### 3.7 Beregningsgrundlag for transport-, slåning- og makinelle omkostninger

I Tabel 2 ses beregningsparametre for køretøjerne anvendt til opsamling, slåning og transport. Prisen på kørsel af en ladvogn og en slagleklipper i timen er omtrent den samme. Ladvognen koster med bemanning omkring 700-800 Dkr/t og en slagleklipper koster omkring 700-800 Dkr/t. Dog bliver slagleklipperen omkring 150-250 Dkr dyrere i timen, hvis der skal tilføjes enheder, der gør den i stand til at indsamle græsafklippet. Dermed er slagleklipperen dyrere at transportere græsafklip med end ladvognen. Derudover har ladvognen en større kapacitet på 20 m<sup>3</sup> i modsætning til slagleklipperens 8 m<sup>3</sup> kapacitet. Dog er densiteten forskellig på de to maskiners græsafklip. Når slagleklipperen suger græsafklip op er det ikke særlig komprimeret. Når slagleklipperen kører det til opsamlingsstedet, ligger det typisk nogle dage. I mellemtiden reduceres volumen, afhængig af tiden det ligger. I denne beregning lå græsafklip i 2-3 dage og der regnes med en reduktion på omkring 50 %.

Tabel 2 - Køretøjer i beregningsparametre. Pris er med bemanning. Hastigheden er det maksimum den pågældende bil må køre på en almindelig landevej.

Parameter	tal	enhed	ligning
Pris - Traktor	800	Dkr/t	$p_{\text{slag,slå}}$
Pris - Montere sug og anhænger	150-250	Dkr/t	$p_{\text{slag,ops}}$

Pris - Ladvogn	700-800	Dkr/t	$p_{ladv}$
Kapacitet - Traktor	0	m <sup>3</sup>	$m_{kap,slag}$
Kapacitet - Montere sug og anhænger	8 (4)	m <sup>3</sup>	
Kapacitet - Lastbil	20	m <sup>3</sup>	$m_{kap,ladv}$
Hastighed på vej - Traktor	40	km/t	$v_{slag}$
Hastighed på vej - Montere sug og anhænger	40	km/t	$v_{slag}$
Hastighed på vej - Lastbil	80	km/t	$v_{ladv}$

I Tabel 3 er vist en række antagelser, som er gjort i forbindelse med beregningen. Den anvendte slagleklipper er monteret en anhænger og har en tophastighed, når den ikke klipper, på 40 km/t, jf. færdselsloven (LBK nr 1710 af 13/08/2021). En slagleklipper kan også monteres på andre motorkøretøjer, hvormed makshastigheden kan forøges til 100 km/t. Dette kan være en fordel, hvis der er langt imellem opsamlingssteder, hvormed ”transport til opsamling” udgør en større andel af tid.

Det blev estimeret af KS Tree Care, at prisen for kørsel med slagleklipper med suger og anhænger koster omkring 1000 kr/t, hvoraf ekstra tilbehør til opsamling udgør omkring 200 kr/t. Derudover blev hastigheden for slåningen målt i forår til 1,3 lkm/t og i efteråret 2,5 lkm/t. Der findes nogle klippere, som kan opsamle græsafklip med hastigheder på op til 10 lkm/t (Emilsson et al., 2017). Hvis slagleklipperen skal slå uden at suge kan hastigheden stige til 12-20 lkm/t. Da slåningen om foråret var meget langsom og mængden af biomasse var meget lav, blev det valgt at beregne ud fra data for efterårsslåning. Temperaturer i april og maj 2021 var meget kolde og begge måneder lå 1,6 °C under normalen (1991-2020) (Rubek, 2021a). Den anvendte slagleklipper slår kun græsset i en højde på over 10 cm. Der var så lidt græs i maj 2021, der var højere end 10 cm, så det må antages at det under normale omstændigheder ikke ville blive slået. Sommeren 2021 lå temperaturer på 0,6 °C over normalen, 1,4 % soltimer under normalen og 15,1 % mindre nedbør (Rubek, 2021b).

Aflæsningstiden ved opsamlingsstedet for slagleklipperen er kun på ca. 1 minut, da græsafklip hurtigt kan tippes af. Den tid det tager ladvognen af aflæsse afhænger af modtagelsen på det håndteringssted til sendes til. Det forventes dog ikke at dette overstiger 2-3 minutter. Pålæsning af græsafklip i ladvogn tager noget længere tid, da ladvognen på nuværende tidspunkt skal bruge grab. Dog kan der anskaffes en højtipvogn, som tipper græsafklip fra slagleklipperen ned i en container. Således fjernes pålæsningstiden, hvilket også reducerer de variable omkostninger. Afstanden fra slåning og opsamlingssted er sat til et gennemsnit på 5 km, hvilket svarer til 7,5 min ved slagleklipperens maksimale hastighed. I stedet for et opsamlingssted, kan der sættes containere ud. Disse har mindre krav til plads og kan midlertidigt sættes op

til det punkt, hvor det estimeres at slagleklipperen har opnået den fulde kapacitet. Således vil transporttiden for slagleklipperen reduceres.

Tabel 3 - Parametre i beregning

Parameter	tal	enhed	ligning
Hastighed med opsamling	2,5	km/t	$V_{\text{slag, ops+slå}}$
Hastighed uden opsamling	16	km/t	$V_{\text{slag, slå}}$
Pålæsning af ladvogn	15-20 (0)	min	$t_{\text{pålæs}}$
Aflæsning af ladvogn	2-3	min	$t_{\text{aflæs,ladv}}$
Aflæsning af slagleklipper	1	min	$t_{\text{aflæs,slag}}$
Afstand til opsamlingssted	5	km	$l_{\text{opsam}}$
Afstand til håndtering	16,1	km	$l_{\text{hånd}}$
Hastighed ladvogn	48,3	km/t	$V_{\text{ladv}}$
Hastighed slagleklipper	40	km/t	$V_{\text{slag}}$
Indsamlet græsafklip		ton/km	$m_{\text{græsafklip, km}}$

Omkostningerne for aktiviteter forbundet med transport af græsafklip med ladvogn fra opsamlingsstedet og håndteringsstedet:

$$\text{Omkostning ved ladvogn} \left[ \frac{\text{Dkr}}{\text{tons}} \right] = \frac{v_{\text{ladv}} * l_{\text{hånd}} * 2 + t_{\text{aflæs,ladv}} + t_{\text{pålæs}}}{m_{\text{kap,ladv}}} * p_{\text{ladv}}$$

[ 1 ]

Omkostninger forbundet med transport af græsafklip samt aflæsning med slagleklipper til opsamlingsstedet fra det punkt, hvor fuld kapacitet af slagleklipper er opnået:

$$\begin{aligned} \text{Omkostning ved kørsel med slagleklipper} \left[ \frac{\text{Dkr}}{\text{tons}} \right] \\ = \frac{v_{\text{slagleklipper}} * l_{\text{opsamling}} * 2 + t_{\text{aflæsning,slagleklipper}}}{m_{\text{kap,slag}}} * (p_{\text{slag,obs}} + p_{\text{slag,slå}}) \end{aligned}$$

[ 2 ]

Omkostninger forbundet med græsklipning og opsamling:

$$\begin{aligned} & \text{Omkostning ved græsklipning og opsamling med slagleklipper} \left[ \frac{\text{Dkr}}{\text{tons}} \right] \\ &= \frac{p_{\text{slag,obs}} + p_{\text{slag,slå}}}{v_{\text{slag,ops+slå}} * m_{\text{græsafklip,km}}} \end{aligned}$$

[3]

### 3.8 CO<sub>2</sub>-eq

Følgende metoder til beregning er med til at vurdere nuværende praksis for håndteringen af græs. Det er derfor hensigten at identificere nøgleområder, som kan forbedres. Først præsenteres klimetrykket ved indsamlingsaktiviteter. Herefter præsenteres, hvilken positiv klimaeffekt anvendelse af de undersøgte biomasser har ved indførelse i pyrolyse- eller biogasanlæg. Pyrolyse og biogas er meget forskellige miljøteknologier. Beregningsgrundlag og detailplanlægningen ift. den enkelte anlægsetablering er altafgørende for klimaeffekterne forbundet med håndteringen.

#### 3.8.1 Brændstofforbrug

Ved brændstofforbruget anvendes standard- og emissionsfaktorer for Dieselolie (Energistyrelsen, 2020b). Brændstofforbruget blev noteret ved udførelsen af opgaven. Brændstofforbruget for opsamling og slåning samt transport til opsamlingsstedet blev noteret af entreprenøren. Der er anvendt projektioner for emissionsfaktorer fra 2021 for vejtransporten på lastbil med anhænger (Energistyrelsen, 2020a). Emissionsfaktorer anvendes til at beregne CO<sub>2</sub>eq på kørslen mellem opsamlingsstedet for håndteringsstedet. Lastbil med fuld kapacitet på 20 m<sup>3</sup> græsafklip har en last på omkring 1,6 ton og forventes at ligge i laveste vægtklasse på 28-34 ton.

#### 3.8.2 Biogas

Klimaeffekten ved biogasproduktionen kan hovedsageligt deles op i recirkuleringen af N (kvælstof) og fortrængning af mere klimaintensive energiformer. Overordnet anvendes produktionen af biogas til tre formål:

- Opgradering til gasnettet
- Gaskedler på kraftvarmeværk
- Flydende biometan

I biogasproduktionen estimeres med et metantab på 1 % (Nielsen et al., 2021), som har en effekt på det samlede metanpotentiale og metanudledningen trækkes fra i produktionen. I biogasproduktionen bruges energi på at varme biomassen og andre forskellige processuelle aktiviteter samt transporten af det afgasset biomasse til landbrug, som ikke medregnes.

#### Fortrængning af fjernvarme

Til dette formål regnes biogasproduktionen til opgradering på gasnettet, hvorved biogassen substituerer naturgas på privat gaskedel. Der regnes på substituering af rent naturgas og samme marginale fjernvarmesammensætning som for pyrolyse (se afsnit 3.8.3 s. 22). Naturgas og biometan regnes ud fra standardemissionsfaktoren og den nedre brændværdi (Energistyrelsen, 2020b). Metanproduktionen baserer sig på forsøgsresultater for de undersøgte biomasse (afsnit 4.1 s. 26) korrigeret til akkumuleret metanproduktion for første 35 dage.

#### Kvælstof

Ved indførelse af biomasser i et biogasanlæg bibeholdes næringsstoffer, hvorved disse recirkuleres på landbrugsjord. Kvælstoffet fra biomassen fortrænger fossilt produceret kvælstof, som svarer til 6,6 kg CO<sub>2</sub> per kg N (Mogensen et al., 2018). For kvælstofindholdet blev anvendt værdier fra CHN-analyse og blev korrigeret for de undersøgte biomassers tørstof (afsnit 4.5 s. 33).

#### Lagring af afgasset biomasse

Når den udrådnede biomasse spredes på mark, lagres en rest som kulstof i jorden. I beregning anvendes data på den kulstofrest fra halmen der er tilbage i jorden efter 100 år på 7 % (Sigurjonsson, 2016). Tallet bygger på projektioner som simulerer emissionsraten af kulstof fra mark og kommer med store usikkerheder.

### 3.8.3 Pyrolyse

I denne rapport undersøges pyrolyse, som en håndteringsteknologi til de undersøgte biomasser (Tabel 1 s. 18).

Pyrolyse er en opvarmning til over 500 °C uden ilt til stede, som biomassen kan reagere med. Derfor foregår der en række andre processer end normal forbrænding. I processen forbliver en del af kulstof fra indgangsmaterialet på fast form, kaldet biokul (Leng et al., 2019). Biokul kan lagres i jorden og lagrer dermed CO<sub>2</sub>. Derudover vil der være en overskudsvarmerest tilbage efter processen, som kan indføres i fjernvarmenetværket og kan fortrænge fossile energikilder.

Beregninger for CO<sub>2</sub>-fortrængninger er baseret på Ravenni & Thomsen (2022).

#### Lagring af biokul

Lagring af biokul udregnes ud fra, hvor meget kulstof, der er i biomassen efter pyrolyse. For biomasserne regnes med en biokulproduktion, som blev målt på fem forskellige græspulpprøver. Biokulproduktionen for et ton tørstof af biomassen var 29,1 % med et kulstofindhold på 64 %w/w (Ravenni & Thomsen, 2022). Derudover regnes med, at 70 % af kulstof stadig er stabilt i jorden efter 100 år ved et konfidensinterval på 95 %, baseret på prøvernes HC-forhold (Budai et al., 2013).

#### Fortrængning af fjernvarme

Ved at anvende overskudsvarmen fra biokulproduktionen til fjernvarme, kan andre anvendte energikilder i fjernvarmenettet fortrænges. Energikilder kan både være af fossil oprindelse eller vedvarende, og hvor fjernvarme injiceres i nettet, har stor betydning for, hvilken CO<sub>2</sub>-reduktion anvendelsen har. Der anvendes to fortrængningsværdier på hhv. 0,07 og 0,56 ton CO<sub>2</sub>-eq per ton ts. Den mindste værdi er den marginale fjernvarmeværdi beregnet på en række fremtidige anvendte energikilder (Thomsen, 2021). Den højeste værdi baserer på substituering af naturgas (Ravenni & Thomsen, 2022).

#### 3.8.4 Usikkerheder forbundet med CO<sub>2</sub>-eq beregninger

Det er vigtigt at være opmærksom på at denne opgørelse ikke er en fyldestgørende livscyklusvurdering eller Climate Footprint Assessment og at den ikke er indrettet således at de to undersøgte biomasseanvendelser – græs i biogas og græs i pyrolyse, kan sammenlignes. I forhold til en individuel vurdering af klimaeffekten af de to tiltag er det desuden vigtigt at være opmærksom på at vi begrænset studiet til effekter af energiproduktion og transportbehov og at der desuden ikke har lavet en opgørelse af en referencesystem/base-line. Uden sådan en opgørelse er det ikke muligt at udtale sig om hvad klimaeffekten af de foreslåede omstillingstiltag bliver. Det er ikke simpelt at gøre effekten af referencesystemet op. Lige nu er referencen i mange tilfælde at græsset klippes og efterlades. Det samme gør det meste affald. Udover energiudnyttelse og produktion af biprodukterne biokul og biogasrestfibre medfører de to scenarier således at både græs og affald fjernes fra økosystemet. Det vil reducere emissioner fra omsætning af græsset i vejkanterne. Men modsat vil en løbende udpining af fx kvælstof også kunne medføre en reduceret akkumulering af kulstof i jorden. Dette er ikke med. Tilsvarende er stabiliseringseffekter og kulstof-sekvestreringseffekter i systemerne med produktion af biokul og biogasrestfibre til landbruget heller ikke med. Emissioner forbundet med arealforvaltning for ikke-CO<sub>2</sub> drivhusgasserne metan og lattergas er heller ikke gjort op. Effekter af at fjerne affaldet fra økosystemerne omkring vejene er heller ikke med. Alt i alt kan

opgørelsen kun bruges til at vurdere klimapotentialt fra energiproduktion ved de to foreslåede anvendelser samt klimaeffekter fra øgede transportbehov. En samlet bestemmelse af klimaeffekten fra de to foreslåede anvendelser i forhold til det eksisterende system vil kræve en langt mere omfattende analyse og vurdering. I et mere omfattende studie vil det også have stor betydning om analysen laves i en kort eller fjern tidshorisont. Den nuværende opgørelse bruger her-og-nu værdier for energiproduktion, brændstofproduktion osv. men vurderer klimaintensitet af emissioner af metan og lattergas i baggrundsprocesser i et 100 års perspektiv, hvilket er standard.

### 3.9 Biometanpotentialt

For de fem biomasser (jf. Tabel 1, s. 18) blev biometanpotentialt (BMP) undersøgt. BMP er et udtryk for den maksimale omdannelse af tilgængelig organisk kulstof til metan i fermenteringsproces. Således simulerer BMP-tests et biogasanlægs fermenteringsproces i en udrådningstank. Forskellen er at biomasse i storskalaanlæg sjældent udrådnes fuldt ud (Shi et al., 2017). BMP-resultater vil være med til at pege på, hvilken kvalitet de undersøgte græsbiomasser har, og derved hvilken interesse de har for anvendelse i et biogasanlæg.

BMP-forsøg blev udført på en AMPTS II og blev anvendt iht. producentens anvisninger (BPC Instruments, 2022). Således blev BMP udregnet:

$$BMP \left[ \frac{Nml}{g VS} \right] = \frac{V_s - V_B \frac{m_{IS}}{m_{IB}}}{m_{VS,SS}}$$

, hvor  $V_s$  og  $V_b$  er metanproduktionen af hhv. substratprøven og blindprøverne,  $m_{IS}/m_{IB}$  er ratio mellem massen af inoculum (bakteriekultur) i substratprøven og blindprøverne og  $m_{VS,SS}$  er massen af organisk materiale i substratprøven (BPC Instruments, 2022).

### 3.10 Forureninger i græs

#### 3.10.1 Synlige urenheder

En udfordring ved opsamling af græs i vejkanter, er at opsamlingen ofte er forbundet med en kontamineret biomasse. Et af de største problemer findes ved de synlige urenheder, som plastik, glas og metal, da disse kontamineringer ikke ønskes på landbrugsjord (Pick et al., 2012). Derudover kan disse urenheder være skadelige for enhederne i biogasproduktionen. Dette er især et problem ved brug af slagleklippere, da disse i højere grad river jordpartikler op i klipningen, som ender i det opsamlede græs (van Meerbeek et al.,



2015). Der findes ikke meget opdateret data på henkastet affald i vejkanter. Den mest omfattende dataindsamling foretages af Hold Danmark Rent (HDR) (Fischer-Bogason et al., 2020), som bl.a. har undersøgt områder for affald ud fra 20 lokalitetstyper. HDR har bidraget med data til denne rapport. HDR fører statistik over 20 forskellige lokalitetstyper i Danmark, herunder parker, sidegader, gågader, busstationer osv. Til denne rapport sendte de data for de to af de 20 lokalitetstyper, som relaterer sig mest til rapportens undersøgte områder. Den ene lokalitetstype er **hovedindfaldsveje**, hvor vejen løber gennem centrale byområder og der er offentlig sikker adgang. Der kortlægges maksimum fem kilometer udenfor byskiltet. Den anden lokalitetstype er **lokale indfaldsveje**, som forbinder landsbyer og større byer. Disse vil typisk være veje som forbinder hovedindfaldsveje. For hver lokalitetstype er undersøgt 80 strækninger på 100 meter med en bredde på op til seks meter (hvoraf vejbane udgør 0,4 meter) og dækker et vejkanterområde på op til 93 %. Strækninger fordeler sig ligeligt på 20 kommuner. Affald optalt på strækninger er fordelt på skodder, småt affald og stort affald. Stort og småt affald er differentieret ved arealet på et betalingskort (85 x 54 mm).

### 3.10.2 Tungmetaller og miljøfremmede stoffer

Et andet problem, er tungmetaller og miljøfremmede stoffer. I affald-til-jord bekendtgørelsen beskrives grænseværdier for en række af disse stoffer (BEK nr 1001 af 27/06/2018). I en undersøgelse af Mason et al. (2020), blev det undersøgt, om aktiviteter forbundet med vejen giver anledning til overskridelse af grænseværdierne. Undersøgelsen viste, at især slid på bremseskiver kan være forbundet med et forhøjet indhold af tungmetaller i jorden såsom zink (120-27.000 µg/g), bly (4-1290 µg/g) og krom (135-1320 µg/g). Der udledes også høje mængder zink (5650-9649 µg/g) ved slid på dæk. Derudover er der en række aktiviteter som i mindre grad påvirker niveauerne, såsom brændstofemissioner forbundet med transport, vejstøv, jordens naturlige indhold og effekten fra de dyrkede planter. Dog viste resultater, at tungmetaller fra jord, ikke overføres til planter i en sådan grad, at det ikke kan anvendes på landbrugsjord. Polyaromatiske hydrokulstoffer (PAH) overføres til planten, men nedbrydes ved anaerobisk nedbrydning (Mason et al., 2020). Meyer et al. (2014) viste at tungmetaller ikke overstiger grænseværdierne i Danmark. Det undersøgte græsafklip, udgjorde mellem 0-3,4 % af grænseværdien for tungmetaller. Ud fra ovenstående, må det konkluderes, at i normale omstændigheder vil der ikke være forhøjet grænseværdier af tungmetaller og miljøfremmede stoffer i vejkantergræs. Dog kan der være lokale forhold, med høj aktivitet, der giver anledning til forurening, som skal afklares, for at være helt sikker på, der ikke er farlige stoffer i biomassen.

## 4 Resultater

### 4.1 Biomassepotentiale

I Tabel 4 ses potentialet for vejkanthgræs. Potentialet for opsamlingen varierer mellem 1.301 ton og 2.185 ton afhængig af scenarie. I disse tal er også potentialet for motorveje regnet med, selvom Lejre Kommune ikke er vejmyndighed, jf. Vejloven (LOV nr 1520 af 27/12/2014). Derudover er det største potentiale om efteråret, hvor der både slås bredere ind i vejkanth og udbyttet af tørstof per hektar forøges med hhv. 27,8 %, 143,4 % og 62,5 % på lokalveje, trafikveje og motorveje (beregnet fra Meyer et al., 2014).

Tabel 4 - Potentialet for vejkanthgræs i Lejre Kommune fordelt på hhv. vejklasse, scenarie og sæson.

Vejklasse	Scenarier*		
	Optimistisk	Konservativt	Praktisk
Lokalvej (Forår)	435	435	566
Trafikvej-Fordeling (Forår)	15	15	20
Trafikvej-Gennemfart (Forår)	8	8	10
Motorvej (Forår)	29	29	38
Lokalvej (Efterår)	1391	668	723
Trafikvej-Fordeling (Efterår)	120	60	52
Trafikvej-Gennemfart (Efterår)	63	32	27
Motorvej (Efterår)	123	54	56
<b>Vejgræs</b>	<b>2.185</b>	<b>1.301</b>	<b>1.493</b>

\*Meyer et al. 2014

### 4.2 Affald i vejkanth

Det indsamlede græsafklip kan indeholde henkastet affald. Det blev i forbindelse med indsamlingen gransket, hvilke affaldstyper, der optrådte synligt i bunken. På Figur 7 er vist billeder af henkastet affald, som blev fundet i græsafklip ved opsamlingsstedet. Der blev fundet ret store affaldsgenstande. Der blev bl.a. fundet aluminiumsdåser, som var flænset op, plastik, slikpapir og andre forskellige genstande.



Figur 7 - Billeder af henkastet affald i opsamlet græsafklip ved opsamlingssted i Lejre Kommune. A1: Ukendt metalgenstand maj-21, A2: Slikpapir og aluminiumsdåse maj-21, B1: Aluminiumsdåse nov-21, B2: Plasticpose nov-21.

Dette stemmer overens med undersøgelser fra HDR. I Tabel 5 ses affald, som optræder ved vejen på henholdsvis hovedindfaldsveje og lokale indfaldsveje. Der optræder generelt en stor mængde skrald på disse vejstrækninger. Generelt findes der flere cigaretskodder og småt affald på hovedindfaldsveje end lokale indfaldsveje, imens stort affald varierer mere.

Tabel 5 - Henkastet affald fordelt på geografisk placering, lokalitetstype og affaldstype. Tal er gennemsnitlige værdier af 100 meter strækning med op til 6 meters bredde. Kilde: Modtaget data fra Hold Danmark Rent

	Cigaretskod	Småt affald*	Stort affald**
	[stk]	[stk]	[stk]
<b>Hovedstadsregionen</b>	<b>272</b>	<b>130</b>	<b>88</b>
Hovedindfaldsveje	325	171	79
Lokale indfaldsveje	220	88	98

<b>Jylland</b>	<b>297</b>	<b>87</b>	<b>53</b>
Hovedindfaldsveje	335	103	47
Lokale indfaldsveje	260	71	58
<b>Region Sjælland og fyn</b>	<b>387</b>	<b>178</b>	<b>69</b>
Hovedindfaldsveje	486	179	84
Lokale indfaldsveje	288	177	53
<b>Hovedtotal</b>	<b>333</b>	<b>137</b>	<b>67</b>

*\*Småt affald fylder arealmæssigt mindre end et kreditkort (85 x 54 mm)*

*\*\*Stort affald fylder arealmæssigt mere end et kreditkort (85 x 54 mm)*

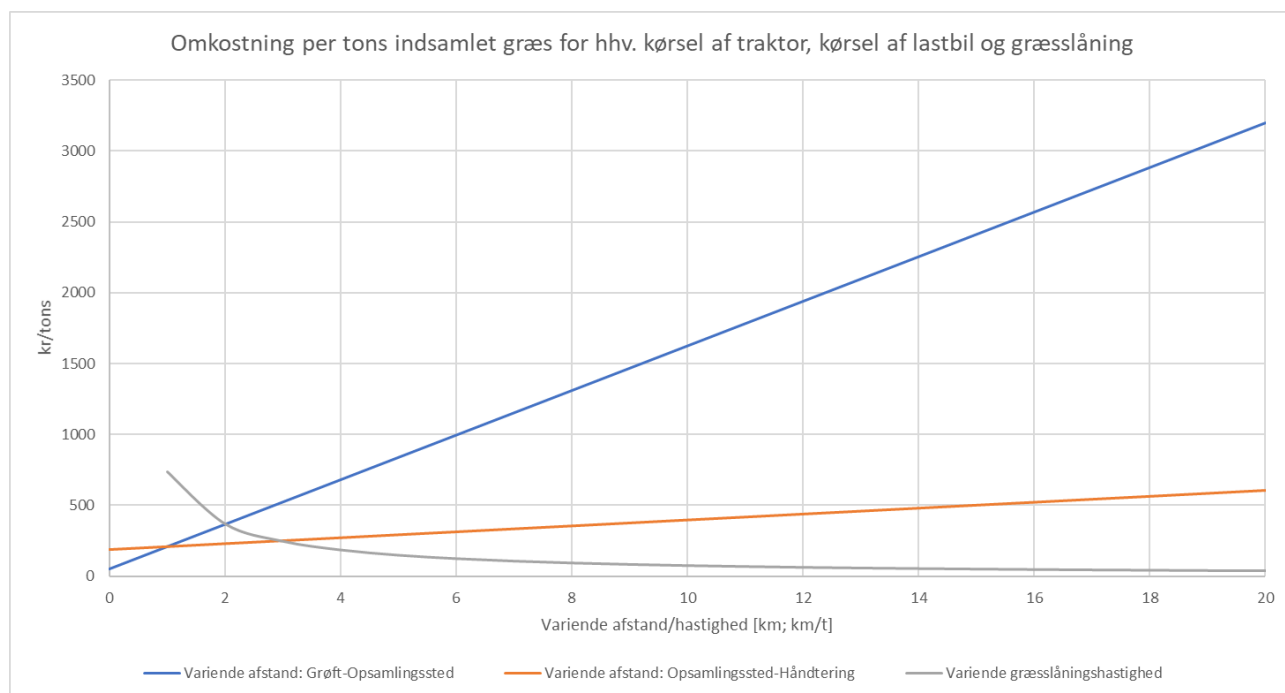
I Tabel 5 vises tal for henkastet affald på op til 600 m<sup>2</sup>. I Meyer et al. (2014) er gennemsnit for opsamlet græsafklip forår og efterår på hovedveje og mindre veje 220 kg per 600 m<sup>2</sup>. Således må der være tre stykker henkastet affald per kg græsafklip. Det skal nævnes at data fra Hold Danmark Rent har haft fokus på bynære områder. I tilsendte data for hovedindfaldsveje, nævner de selv, at affaldsmængderne på almindelige landeveje med mindre trafik har et meget begrænset omfang af henkastet affald. I så fald må det forventes at affaldsmængderne er betydelig mindre ved forsøgsstrækningerne end i HDRs undersøgelse.

#### 4.3 Transport-, slåning- og makinelle omkostninger

På Figur 8 ses omkostningen for slåningen af vejgræs og transportomkostningerne. Ved stigende græsslåningshastighed falder prisen per ton indsamlet græsafklip eksponentielt. Det blev oplyst af KS Tree Care, at hastigheden var 2,5 km/t. Dermed er de potentielle reduktioner i omkostninger stadig gode. Hvis hastigheden stiger fra 2,5 km/t til 3,5 km/t vil der opnås en reduktion på 40 % i prisen per ton indsamlet græsafklip. Forøgninger i hastigheden efter 12 km/t reducerer kun prisen per ton med under 10 %.

Omkostningen ved transporterung af græsafklip til opsamlingsstedet og transport med ladvogn fra opsamlingsstedet til håndtering er begge lineært proportionelle. Dog kører slagleklipperen langsommere, har en lavere kapacitet og er dyrere at køre med. Dette resulterer i at slagleklipperen er 7,5 gange dyrere at

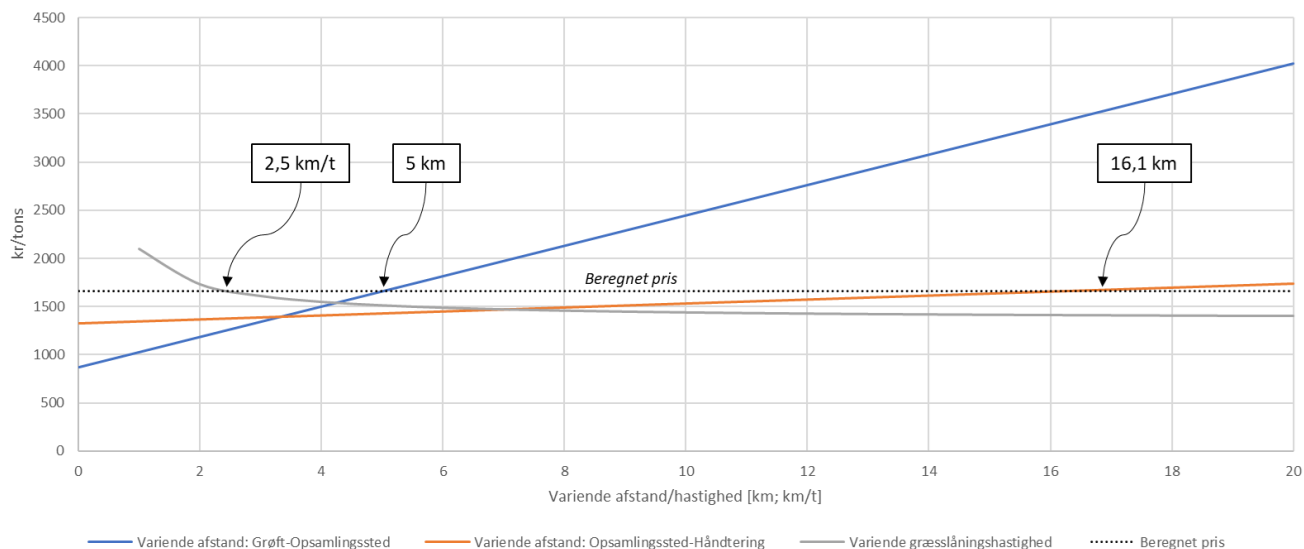
køre med. Det vil sige, at det i høj grad skal prioriteres at reducere afstand fra græsklipningen til opsamlingen fremfor afstanden fra opsamlingen til håndteringen.



Figur 8 - Omkostning per ton indsamlet græs for hhv. kørsel af slagleklipper, kørsel af ladvogn og græsslåning

På Figur 8 ses den samlede omkostning for slåning, opsamling og transport af græs. Ved nuværende omkostningsniveau (beregnet pris) vil den største omkostningsreduktion ske ved at reducere afstanden til opsamlingsstedet fra græsslåningspunktet. Allerede ved en stigende hastighed fra 2 til 3 km/t fås en mindre reduktion i omkostning (123 Dkr/ton) end ved reduktion på en kilometer fra slåning til opsamling (157 Dkr/ton). Dermed har afstand til opsamlingsstedet fra slåningen det største potentiale efterfulgt af græsslåningshastigheden. Når hastigheden stiger fra 6 til 7 km/t bliver forøgelsen så lav (17 Dkr/ton), at en reduktion på en kilometer i afstand fra opsamlingssted til håndtering har en større reduktion i omkostning (21 Dkr/ton).

Samlet omkostning per tons indsamlet græs i relation hastighed og afstanden fra hhv. grøft-opsamlingssted og opsamlingssted-håndtering



Figur 9 - Samlet omkostning per ton indsamlet græs i relation til afstanden til hhv. fra grøft til opsamlingssted og opsamlingssted til håndtering

Priserne på de maskinelle omkostninger (jf. Tabel 2, s. 18) er estimeret på baggrund af den forretningsmodel KS Tree Care arbejder ud fra. Der kan være andre konstellationer, som ændrer på omkostningen. Dette nævnes også af Henrik Søgaard, som peger på en række investeringer og tiltag som kan give en lavere pris. I Tabel 1 er vist sensitiviteten for de maskinelle omkostninger. Den største sensitivitet er ved ændringer for slagleklipperen. Den samlede pris for indsamling af et ton græsafklip er 1659 Dkr. Tilsvarende koster til 46 Dkr/ton at klippe en ton græsafklip uden at opsamle det.

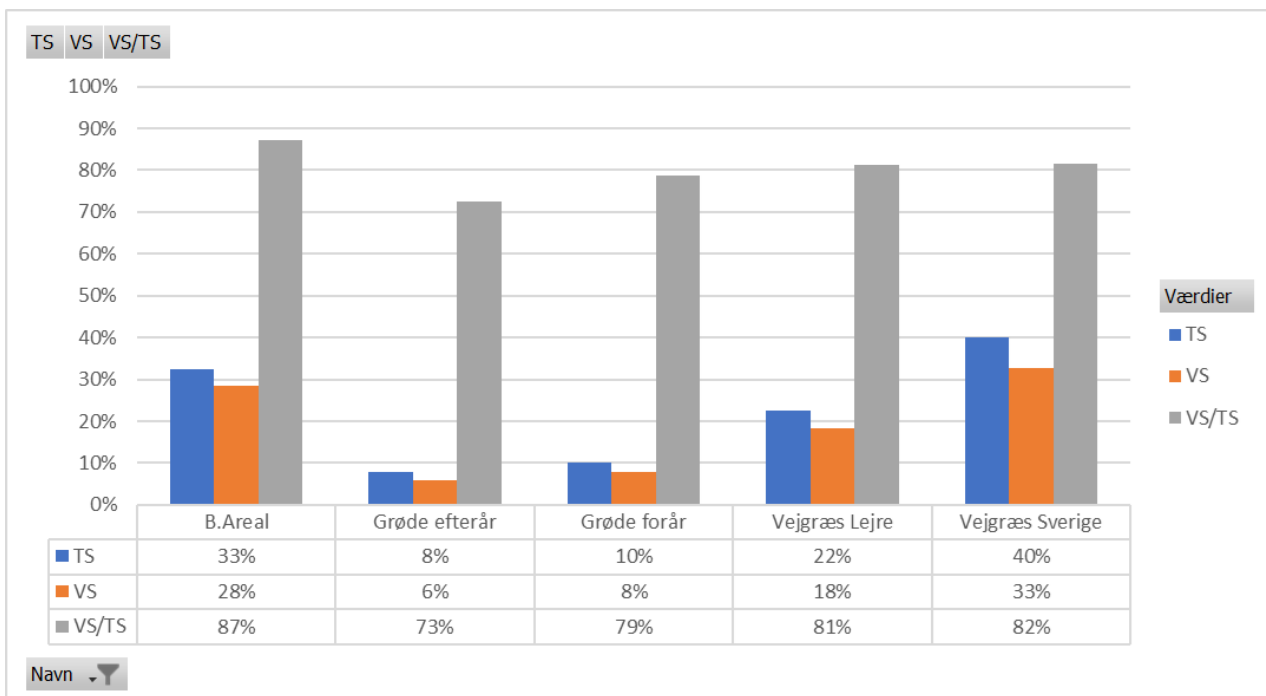
Tabel 6 - Sensitivitet i forhold til maskinelle omkostninger for slagleklipper, ladvogn, samlet ved opsamling og uden opsamling.

Sensitivitet [%]	Slagleklipper [Dkr/ton]	Ladvogn [Dkr/ton]	Samlet [Dkr/ton]	Samlet uden opsamling [Dkr/ton]
25%	284	131	415	12
50%	567	262	830	23
75%	851	393	1244	35
100%	1135	524	1659	46
125%	1418	656	2074	58
150%	1702	787	2489	69
175%	1986	918	2904	81

#### 4.4 Biometanpotentiale

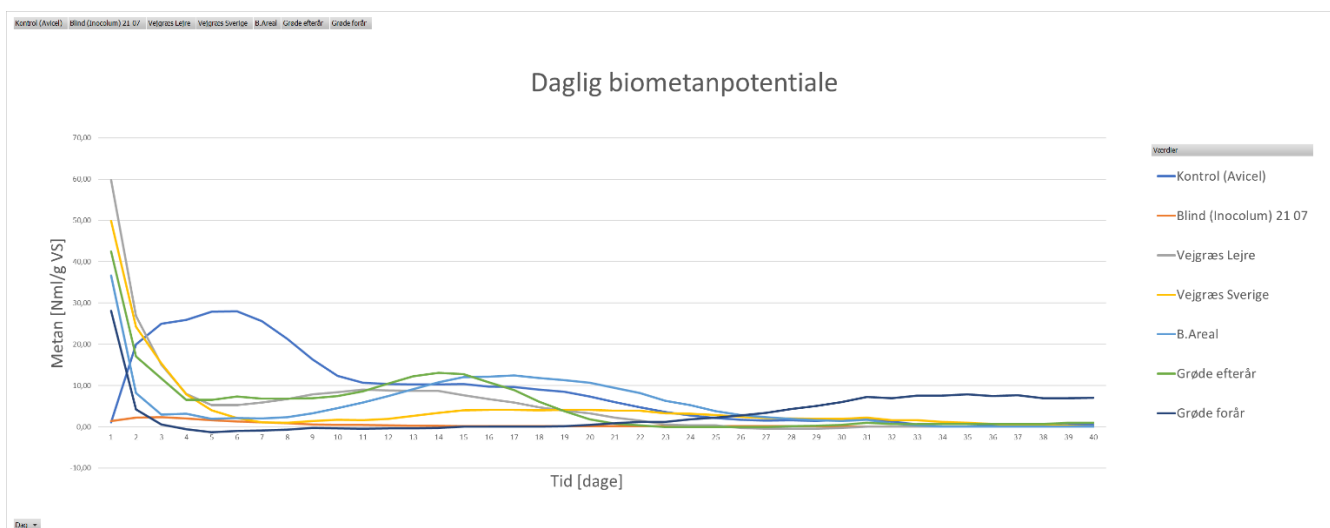
For at undersøge vejkantgræs og andre lignende biomassers relevans for biogasanlæg blev biometanpotentialet undersøgt.

På Figur 10 ses tørstof (TS) og organisk tørstof (VS) for de tre forskellige typer biomasse. TS er en del højere for vejkantsgræs hentet i Sverige i forhold til indsamlet i Lejre. Dette stemmer også overens med at det regnede i Lejre og biomassen var noget vådere. Andelen af VS af TS er rimelig ens og varierer kun med et procentpoint. Indsamlet grøde er relativt vådt i forhold til de andre biomasser på hhv. 8 og 10 %.



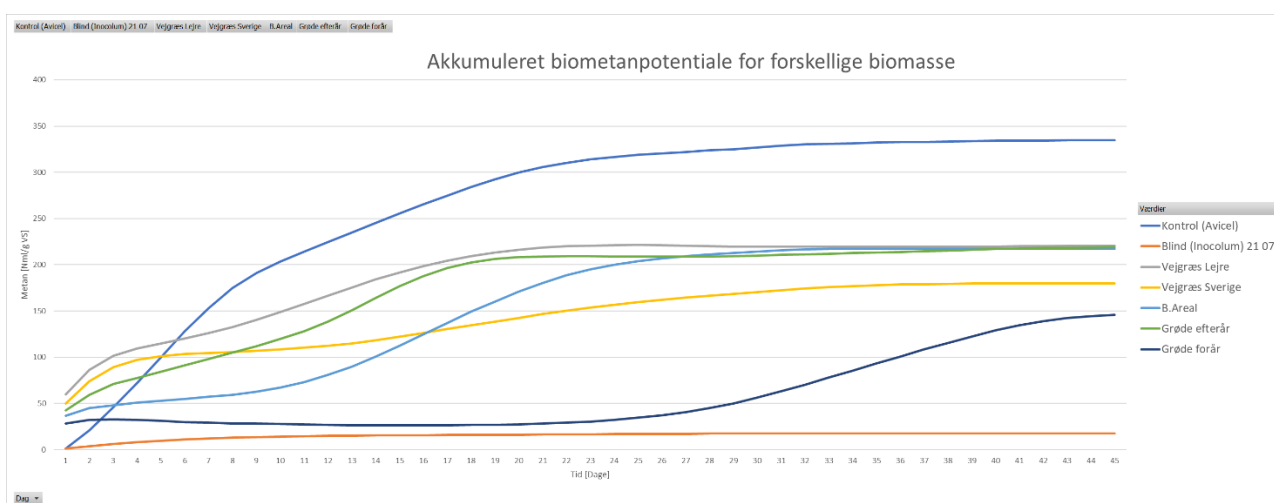
Figur 10 - Tørstof (TS) og organisk tørstof (VS) for de forskellige undersøgte biomasser.

For at undersøge kvaliteten af biomasser for biogasanlæg er det relevant at se på, hvor hurtigt mikroorganismer producerer biogas af biomassen. I bedste fald sker produktionen relativt hurtigt, så biomassen ikke har et restmetanpotentiale tilbage som ikke udnyttes. På Figur 11 ses det daglige metanpotentiale. Det meste af BMP er udnyttet indenfor 30 dage for de fleste biomasser, undtagen "Grøde forår", som stadig producerer metan efter 40 dage. Udrådning af biomasse i 30 dage er indenfor den normale opholdstid på biogafællesanlæg (Møller & Nielsen, 2016, p. 46).



Figur 11 - Daglig metanproduktion

På Figur 12 ses akkumuleret BMP. Grøde fra efterår og vejkræs fra Lejre stabiliserer efter 18 dage, og producerer ikke meget biomasse efterfølgende. Vejgræs fra Sverige og biomasse fra kommunale grønne arealer stabiliserer sig senere, men metanproduktionen forøges langsomt. Grøde forår og vejgræs fra Sverige når ikke over 200 Nml/g vs, imens de andre biomasser når op på omkring 220 Nml/g vs.



Figur 12 - Akkumuleret biometanpotentiale

I Tabel 7 ses den sluttelige BMP for de undersøgte biomasser samt biomasser fra andre forsøg. Vejgræs fra både Lejre og Sverige ligger lavt i forhold til andre undersøgelser, som ligger mellem 220 og 390 Nml/g VS. Vejgræs ligger på hhv. 40 og 59 Nml/g biomasse og er omtrent samme niveau som dybstrøelse (50 Nml/g biomasse).

Grøde har generelt en lav BMP på hhv. 12 og 13 Nml/g biomasse. Dette hænger sammen med den lave tørstof biomassen har. Tørstof i biogasanlæg ligger normalt på omkring 10 % (DEA, 2020). Det betyder at



biomasser med højere tørstof kun kan indføres, hvis der tilsvarende anvendes en biomasse med lavere tørstof. Grøde har omtrent samme kvalitet i relation til BMP, som svinegylle og kvæggylle.

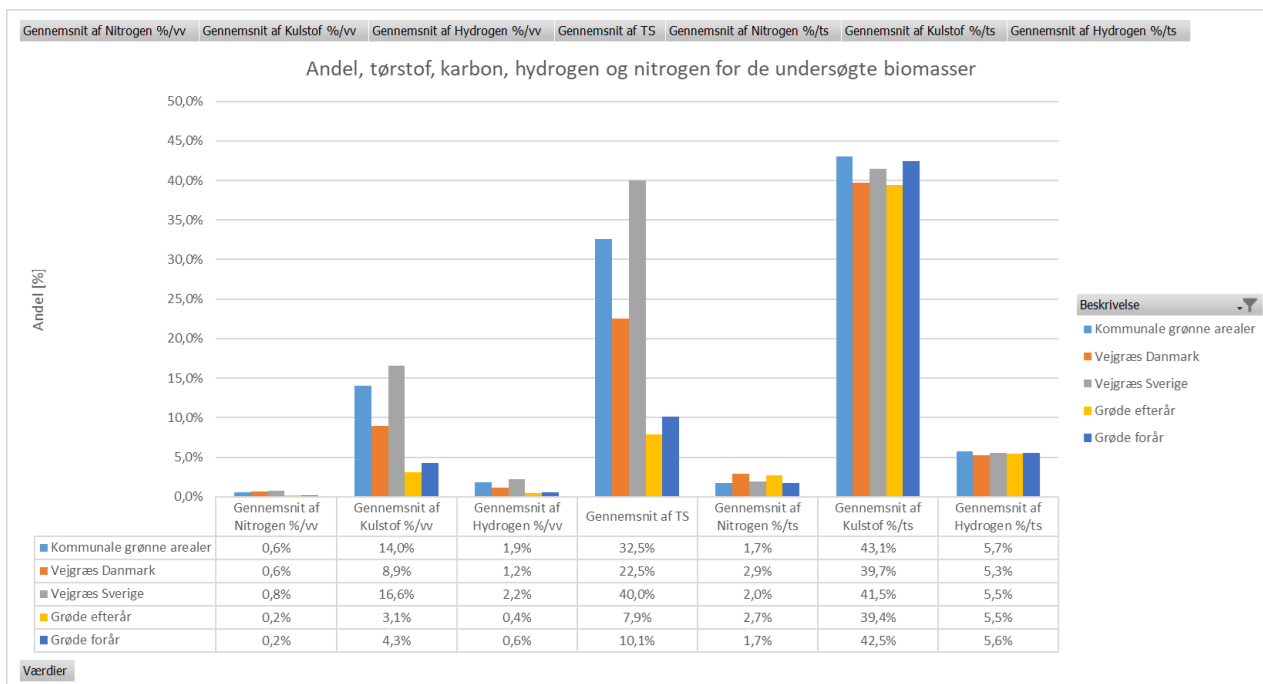
Tabel 7 - Biometanpotentiale for forsøgresultater og referencebiomasser.

Sample (triplets)	BMP (%VS/w)	BMP (%w/w)	Kilde
	[Nml/g VS]	[Nml/g biomass]	
Vejgræs Lejre	221	40	Forsøg
Vejgræs Sverige	180	59	
B.Areal	217	62	
Grøde efterår	219	13	
Grøde forår	146	12	
Blind	18	1	
Kontrol	335	320	
SvineGylle	290	13	Birkmose et al., 2013, p. 13
Kvæggylle	190	11	
Dybstrøelse	250	50	
Vejgræs lav	220	38	Meyer et al., 2014
Vejgræs høj	390	94	
Wales	270	-	

Overordnet set, kan de undersøgte biomasser godt anvendes til biogasproduktion, hvis man ser på BMP, TS og VS. Nogle af de undersøgte biomasse ligger dog højt i TS og skal derfor indføres i samspil med biomasser, som har lavere TS.

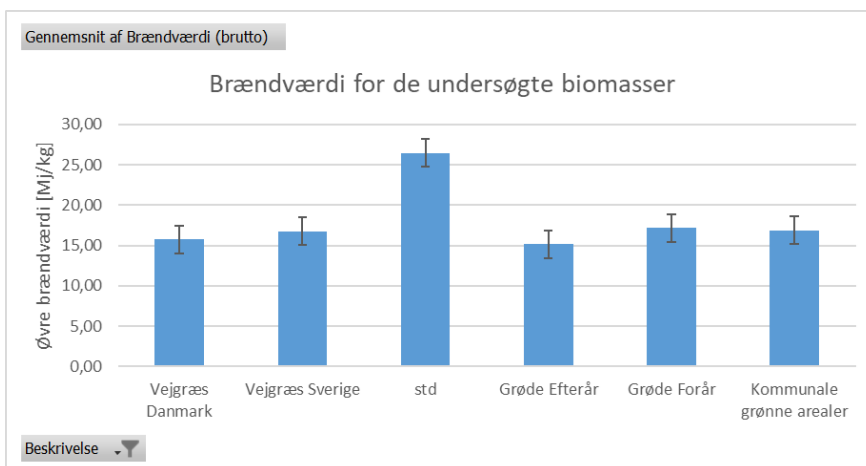
#### 4.5 Elementær analyse (CHN) og øvre brændværdi (HHV)

I Figur 13 ses CHN-indholdet af de undersøgte biomasser. Indholdet over de forskellige biomasser er relativt ens på tørstof. Forskellen i højeste og laveste værdi på nitrogen, kulstof og hydrogen er hhv. 1,2 %, 3,7 % og 0,4 %. Derfor har tørstof også en stor effekt på variationen på indholdet i vådvægt.



Figur 13 - Andel tørstof, kulstof, hydrogen og nitrogen for de undersøgte biomasser.

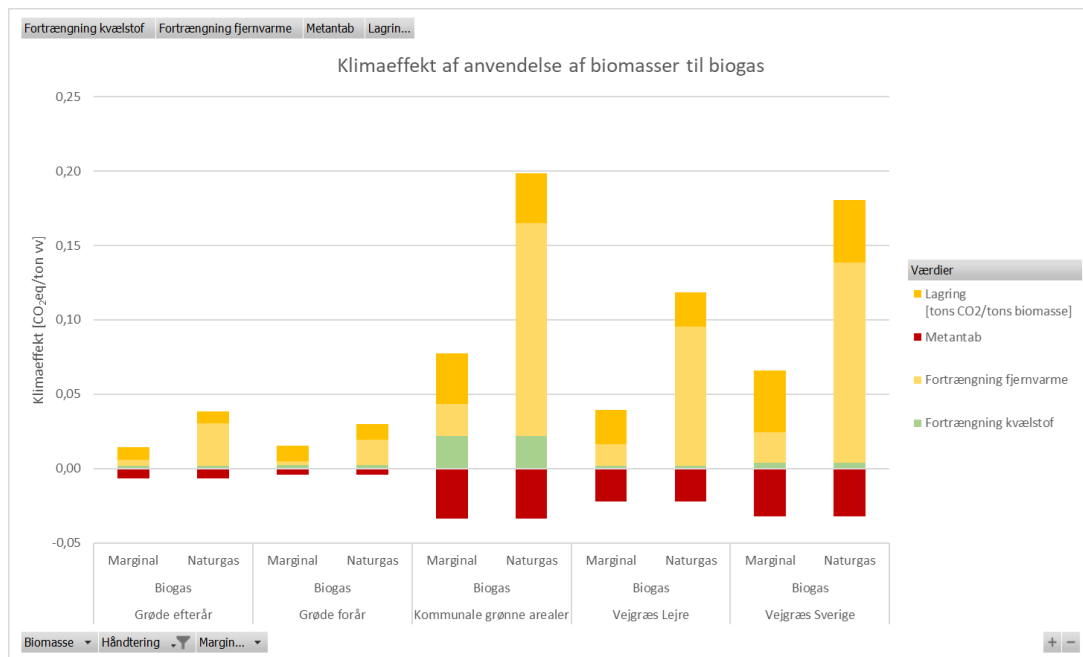
På Figur 14 ses brændværdierne for de undersøgte biomasser. Brændværdierne ligger mellem 15,2 og 17,2 Mj/kg og varierer således ikke meget.



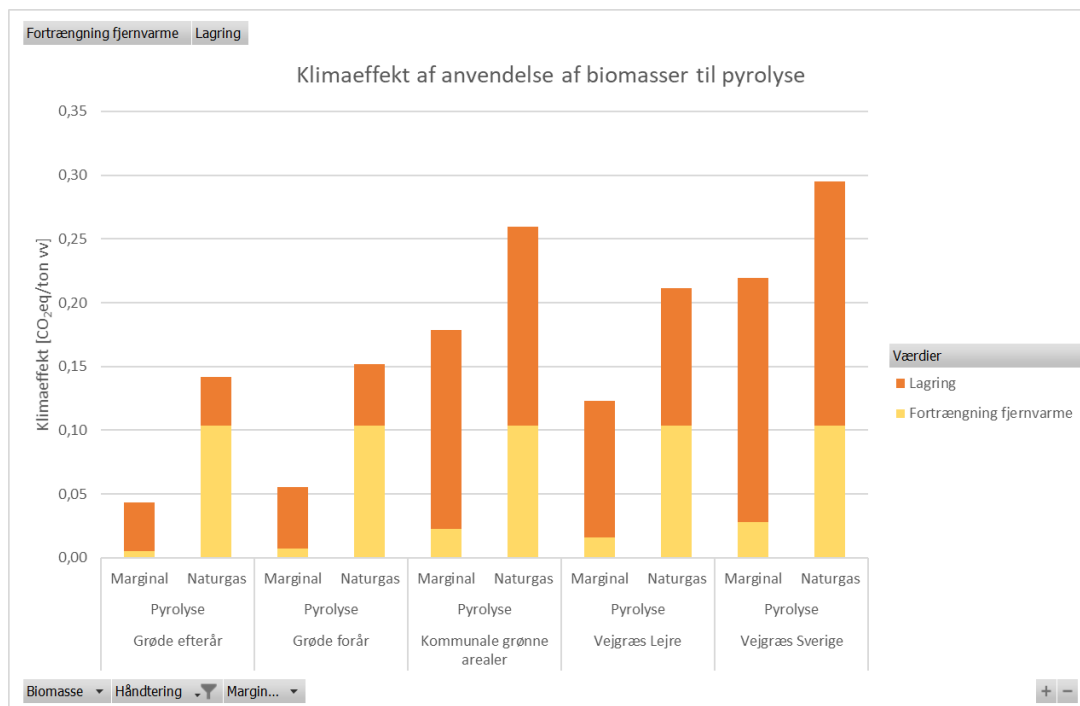
Figur 14 - Brændværdi for de undersøgte biomasser.

## 4.6 CO<sub>2</sub>-e

På Figur 15 og Figur 16 ses klimaeffekten for biogas og pyrolyse ved anvendelse af de undersøgte biomasser. Overordnet set har klimaeffekten et højt potentiale. Generelt er det de biomasser med højt tørstof, der også har en høj CO<sub>2</sub>-reduktion. Dermed ligger grøde lavt vejgræs og kommunale grønne arealer højt.



Figur 15 – Klimaeffekt af anvendelse af biomasser til biogas.



Figur 16 - Klimaeffekt af anvendelse af biomasser til pyrolyse.

#### 4.6.1 Klimaopgørelse for vejgræs

Udledningen fra transport og slåning af vejgræs blev også vurderet. Udledningen for transport af lastvogn med anhænger er 621 g CO<sub>2</sub>eq/km og afstanden til håndteringen fra opsamlingsstedet på 16,1 km. Lastvognen indeholder kun en lille del græsafklip på grund af densiteten er lav på friskt græs. Dermed kan en anhænger indeholde 1,6 ton og har dermed en udledning per ton græsafklip på 0,013 ton CO<sub>2</sub>eq. Slåning og opsamling blev noteret med et forbrug på 300 liter for 14,62 ton, hvormed udledningen fra brændstofforbruget for et ton vejgræs er 0,05 ton CO<sub>2</sub>eq/ton. I Tabel 8 ses den samlede CO<sub>2</sub>-udledning eller -reduktion ved anvendelse, indsamling og håndtering af græs. I 2 ud af 8 tilfælde er udledningen fra transport og slåning ved nuværende praksis, så høje at udledningen opvejer CO<sub>2</sub>-reduktionen ved at håndtere det. Ved marginal fjernvarme fortrængning er den samlede CO<sub>2</sub>-reduktion mellem -0,050 og 0,152 ton CO<sub>2</sub> per ton græsafklip.

Tabel 8 - CO<sub>2</sub>-udledning og -reduktion for prøver taget af vejgræs i Lejre og Sverige.

Biomasse	Håndtering	Naturgas	Marginal
		[tons CO <sub>2</sub> /tons biomasse]	[tons CO <sub>2</sub> /tons biomasse]
Vejgræs Lejre	Biogas	0,029	-0,050
	Pyrolyse	0,144	0,056
Vejgræs Sverige	Biogas	0,081	-0,033
	Pyrolyse	0,228	0,152

## 5 Forbedringer

### 5.1 økonomi

Undersøgelsen viste, at prisen for opsamling af græsafklip var 1613 Dkr/ton dyrere end at klippe græsset ved vejkanten uden at opsamle det. Disse beregninger var baseret på den nuværende entreprenørs omtrentlige timepriser. Der kan potentielt set være en stor variation i, hvad maskinel koster, men selv en reduktion i 50 % af prisen viser en yderligere pris på 807 Dkr/ton for at på græsset opsamlet. Dog er der en del muligheder for at reducere omkostninger, nogle af disse gennemgås i følgende afsnit.

#### Samle græs, når der er højt udbytte

Der blev samlet 0,12 kg/km op i foråret og 1,35 ton/km op om efteråret. Ifølge entreprenøren havde mængden ikke en stor betydning for hastigheden, slagleklipperen kan køre. Derfor, fås mere høstet materiale for tilnærmelsesvist samme græsslåningsomkostning. Dog øges transporten af græsafklip for samme vejstrækning. For at sikre en lav omkostning per ton, kan det være en idé at målrette slåningen mod tidspunkter og steder, hvor høstudbyttet er højt.

#### Øge hastigheden på slåningen

En af de store årsager til opsamlingen er meget dyr, er på grund af reduktionen i slagleklipperens græsslåningshastighed, når det også skal opsamles. Hastigheden reduceres med 84,4 %, hvilket betyder at tiden det tager at slå en strækning øges 6,4 gange. Da græsslåningen er ens med eller uden opsugning, må det antages at græssugningen er flaskehalsen og dermed den enhed, som skal optimeres for at øge hastigheden.

### Kan man opdele arbejdsopgaven?

Som nævnt i ovenstående reduceres hastigheden betydeligt ved opsugning. Det kan undersøges at opdele arbejdsgange, så græsslåning og opsamles foregår i to arbejdsstrin. Dermed sikres en høj græsslåningshastighed, selvom opsugningshastigheden stadig er lav. En af forslagene til forbedring af biodiversiteten, var at slå græsset først og derefter lade det ligge. Således kan insekter nå at kravle ud af dødt græsafklip, inden det samles ind nogle dage efter (Bak et al., 2019a). Det skal undersøges, hvordan dette påvirker biomassen og muligheden for at afsætte den til videre håndtering.

### Større kapacitet på slagleklipper

Slagleklipperen har en kapacitet på 8 m<sup>3</sup>. Når slagleklipperen puster græsset op i ladvognen får græsset en lav densitet. Dette betyder at ladvognens tørstofkapacitet bliver meget lav. Det kunne være relevant at undersøge muligheder for at komprimere græsafklip, så en større mængde kan transporteres. Ved nuværende kapacitet på 8 m<sup>3</sup> er kørselsprisen 78,7 Dkr per ton per km, hvilket med en fordobling i densitet halveres. En anden løsning kunne være at container og en højtivogn, som kunne skære transportled med slagleklipper fra (jf. afsnit 0, s. 18).

## 5.2 Kvalitet

### Små biomasse-mængder

For at danne grundlag for at etablere et større anlæg, skal der findes en stor mængde biomasse. Eksempelvis modtager de fleste biogasanlæg over 100 ton biomasse om dagen (DEA, 2020). Derfor kan det være relevant at indsamle biomasser både fra vejkantergræs, grødeskær og andre lokale biomasser til eksempelvis pyrolyse eller biogas. Det har vist sig i undersøgelsen af forskellig biomasse, at det har nogle kvaliteter, hvor det kan give mening at anvende dem til samme formål. Dog blev sediment fra gadekær, som på grund af dens mere jordlignende struktur ikke blev fundet relevant i samme udstrækning.

### Grænseværdier til jordbrugsformål

Som nævnt i afsnit 3.10 (s. 24) skal en række grænseværdier overholdes. For at sikre at grænseværdierne bliver overholdt skal vejkantergræsset testes på repræsentativ måde. Iht. Bekendtgørelse om anvendelse af

affald til jordbrugsformål bilag 5, skal analyser på grænseværdier for tungmetaller udføres fire gange årligt, imens grænseværdier for miljøfremmede stoffer skal måles en gang årligt (BEK nr 1001 af 27/06/2018). Analyserne kan være dyre at få lavet, og dette skal også vurderes, hvis det ønskes at anvende vejkantergræs til biogasanlæg. Man kan få dispensation for at foretage analyse af udvalgte parametre, hvis det kan dokumenteres, at biomasse er ensartet over tid og ikke vil overstige grænseværdierne. Det kan vise sig svært for vejkantergræs på grund af de aktiviteter, der er forbundet med vejen. Menneskelig aktivitet er altid forbundet med en vis kontaminering.

### Fysiske urenheder

En anden problematik ved menneskelig aktivitet er, at biomassen indeholder henkastet affald. Som nævnt i afsnit 3.10.1 (s. 24) er der en del fysiske urenheder, som er u hensigtsmæssige at få ind i et biogasanlæg. Derfor skal vejkantergræs forbehandles, så fysiske urenheder sorteres ud. Dette vil yderligere øge omkostninger på en biomasse der i forvejen er dyr at opsamle. Alternativt kan biomassen anvendes til pyrolyse, hvor samme krav om kontamineringer ikke gør sig gældende i forhold til plast, pap, papir. Dog skal det stadig undersøges ved pyrolyse, hvordan glas- og metalrester kan fjernes.

### Tørstof

De fleste undersøgte biomasser (undtagen grøde) har en TS på over 20 %. Dette gør dem mindre attraktive i biogasanlæg, da biogasanlæggene skal finde kompensationsbiomasser. Dog kan de stadig være relevante og især for biogasanlæg, som har valgt at bruge en højere TS. Generelt er en højere TS bedre i et pyrolyseanlæg, og >20 % er indenfor den ønskede TS.

### Frisk biomasse

Det blev overvejet i projektet at lade vejgræs ligge og afvande for at øge densiteten og således kunne lastvogne køre med flere ton græs ad gangen. Ved besøg på et af opsamlingsstederne, blev det observeret, at bunken røg og var varm. Midlertidig lagring er pålagt visse krav og ændringer i biomassen kan både ændre håndteringskrav og kvalitet.



*Figur 17 – Indsamlet vejgræs november 2021.*

## 5.3 Klima

### Sammenligning af håndteringer

Pyrolyse og biogas har begge gode muligheder for at fortrænge og lagre CO<sub>2</sub>. I resultaterne (afsnit 4.6 s.35) reducerede pyrolyse væsentlig mere CO<sub>2</sub>. Det kan dog være svært at sammenligne de to resultater, da mange elementer spiller ind. Pyrolyse kræver nogle andre indgangsmaterialer, har et andet restprodukt og håndterer uregelmæssigheder anderledes.

### Storskala

I rapporten er det undersøgt sideløbende med vejgræs, hvilke andre sammenlignelige kommunale biomasser, som kunne puljes til biogas. Mængderne for græs er mellem 1.493-2.185 ton årligt og ift. grundlag for etablering af større anlæg kræves en betydelig større mængde. Det kan vise sig at være et problem, da det er både økonomisk dyrt og klimamæssigt tungt at transportere vejgræs over længere afstande.



## Elektrificering eller anvendelse af biobrændsler til transport

En stor del af de negative effekter i klimaberegningerne er udledninger fra maskinel anvendt til slåning og indsamling af vejgræs, jf. Tabel 8. Transport og slåning udgør omkring 0,06 ton CO<sub>2</sub>eq/tons biomasse. Dette reducerer klimaeffekten med mellem 23 % og 69 % ved naturgas-scenariet for pyrolyse og biogas. Udskiftningen af maskinel til at disse kører på andre energiformer kan derfor reducere klimaudslippet og derved det samle klimabilde betydeligt.

## 5.4 Andre overvejelser

### Ændrings effekt på biodiversiteten

Det er stadig svært at sige, hvilken effekt slåning og opsamling har på naturen. En undersøgelse viste at hvirvelløse dyr bliver suget med op ved opsamling, og kan potentiel reducere livet omkring vejkanterne (Pick et al., 2012). Hver gang praksis ændres, ændres muligvis også påvirkningen på biodiversiteten, derfor skal det overvejes ved hver ændring, hvorvidt dette gavner biodiversiteten.

### Variende høstudbytte

Høstudbyttet kan variere meget fra vejkant til vejkant. Et højere udbytte per hektar giver en bedre økonomi per ton opsamlet biomasse, men det har generelt også en større effekt. Eksempelvis fjernes mere næringsstof i et givent område. Derfor kan større høstudbytter per hektar også have en større påvirkning på biodiversiteten. Natur360 viste at slåning med opsamling i Lejre sikrede en højere biodiversitet (hvis gjort rigtigt) (Bak et al., 2019a). Så jorden blev med tiden mere næringsfattig. Derfor ændrer det også høstudbyttet og ubestridt også effektiviteten af slåning og opsamling. Det tidsmæssige perspektiv i at ændre jorden at ikke undersøgt til bunds. Hvis det kan lade sig gøre at opsamle i en kort årrække for så fremover kun at opsamle på hver strækning hvert andet eller tredje år, ville det gøre det billigere at skabe en bedre biodiversitet, samtidig med at høstudbyttet ville være højt når der så bliver slået.

## 6 Litteraturliste

- ARGO. (2021). *Takster på Roskilde Kraftvarmeværk 2021*. <https://argo.dk/wp-content/uploads/2020/12/Roskilde-Kraftvarmevaerk-2021.pdf>
- Bak, J. S., Michaelsen, A. N., & Beck, L. E. (2019a). *Vejkantsnatur - Drejebog til øget biodiversitet i vejkanterne i Lejre Kommune*.
- Bak, J. S., Michaelsen, A. N., & Beck, L. E. (2019b). *Vejkantsnatur Vej kantsnatur - drejebog til øget biodiversitet i vejkanterne*. [https://natur360.dk/onewebmedia/Downloads/Vejkantsnatur\\_en%20drejebog\\_vs2.pdf](https://natur360.dk/onewebmedia/Downloads/Vejkantsnatur_en%20drejebog_vs2.pdf)
- Birkmose, T., Hjort-Gregersen, K., & Stefanek, K. (2013). *Biomasse til biogasanlæg i Danmark-på kort og langt sigt*. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasser\\_til\\_biogasanlaeg.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasser_til_biogasanlaeg.pdf)
- BPC Instruments. (2022). *AMPTS II & AMPTS II Light Automatic Methane Potential Test System Operation and Maintenance Manual*. [https://bioprocesscontrol.com/wp-content/uploads/2022/02/2022\\_AMPTS-II-and-AMPTS-II-Light-Manual.pdf](https://bioprocesscontrol.com/wp-content/uploads/2022/02/2022_AMPTS-II-and-AMPTS-II-Light-Manual.pdf)
- Budai, A., Zimmerman, A. R., Cowie, A. L., Webber, J. B. W., Singh, B. P., Glaser, B., & Masiello, C. A. (2013). Biochar Carbon Stability Test Method: An assessment of methods to determine biochar carbon stability. In J. Lehmann (Vol. 10). [https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/06/IBI\\_Report\\_Biochar\\_Stability\\_Test\\_Method\\_Final.pdf](https://www.biochar-international.org/wp-content/uploads/2018/06/IBI_Report_Biochar_Stability_Test_Method_Final.pdf)
- DEA. (2020). *Biogas plants in Denmark and Mexico*.
- Emilsson, T., Emanuelsson, U., Hackl, R., Hansson, J., Larsolle, A., Nilsson, D., Prade, T., & Svensson, S.-E. (2017). *Artrik energiutvinning - energiutvinning och ökad biologisk mångfald inom väg- och järnvägsområden*. <http://epsilon.slu.se>
- Energistyrelsen. (2020a). *Emissionsfaktorer for vejtransporten (pr. km.)*. [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/emissionsfaktorer\\_for\\_vejtransporten\\_pr\\_km.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Analyser/emissionsfaktorer_for_vejtransporten_pr_km.pdf)
- Energistyrelsen. (2020b). *Notat om Standardfaktorer for brændværdier og CO<sub>2</sub>-emissionsfaktorer til brug for rapporteringsåret 2019*. [https://www.svendborg.dk/sites/default/files/acadre/Files\\_4654\\_6078090/bilag\\_3\\_-\\_braendvaerdier\\_og\\_co2-emissionsfaktorer\\_for\\_2019.pdf\\_caseno19-27151\\_18181.\\_1.pdf.pdf](https://www.svendborg.dk/sites/default/files/acadre/Files_4654_6078090/bilag_3_-_braendvaerdier_og_co2-emissionsfaktorer_for_2019.pdf_caseno19-27151_18181._1.pdf.pdf)
- Fischer-Bogason, R., Holm, J. S., Egebæk, A. L., Engels-bak, L. W., & Christoffersen, S. (2020). *Kortlægning af kampagner og studier om henkastet affald i nabolande samt undersøgelse af adfærd omkring "efterladt" affald*. Miljøstyrelsen. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2020/03/978-87-7038-167-3.pdf>
- Leng, L., Huang, H., Li, H., Li, J., & Zhou, W. (2019). Biochar stability assessment methods: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 647, pp. 210–222). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.402>
- Mason, P. E., Higgins, L., Climent Barba, F., Cunliffe, A., Cheffins, N., Robinson, D., & Jones, J. M. (2020). An Assessment of Contaminants in UK Road-Verge Biomass and the Implications for Use as Anaerobic Digestion Feedstock. *Waste and Biomass Valorization*, 11(5), 1971–1981. <https://doi.org/10.1007/s12649-018-00557-x>

- Meyer, A. K. P., Ehimen, E. A., & Holm-Nielsen, J. B. (2014). Bioenergy production from roadside grass: A case study of the feasibility of using roadside grass for biogas production in Denmark. *Resources, Conservation and Recycling*, 93, 124–133. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.10.003>
- Mogensen, L., Knudsen, M. T., Dorca-Preda, T., Nielsen, N. I., Kristensen, I. S., & Kristensen, T. (2018). *Bæredygtighedsparametre for konventionelle fodermidler til kvæg - Metode og tabelværdier*. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport116.pdf>
- Møller, H. B., & Nielsen, K. J. (2016). *Biogas Taskforce - udvikling og effektivisering af biogasproduktionen i Danmark*. <https://dcapub.au.dk/djfpublikation/djfpdf/DCArapport077.pdf>
- Mulag. (2022). *MULAG: SB 600*. <https://www.mulag.de/en/roadside-equipment/products/unimog-equipment/rear-mower/sb-600/>
- Nielsen, K. J., Nedergaard, A. H., Borup, L., Mortensen, J. R., Mortensen, K. S., Kristensen, T. S., Schmidt, G., Jacobsen, S., Hvam, C., Rousing, H., & Mikkelsen, A. B. (2021). *Rådgivningsordning for biogasfællesanlæg og deres leverandører af gylle om muligheder for at reducere gylles opholdstid i stalde og på lagre 2018-2020*. [https://lbst.dk/fileadmin/user\\_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaende/Klima/Raadgivningsordning\\_.pdf](https://lbst.dk/fileadmin/user_upload/NaturErhverv/Filer/Tvaergaende/Klima/Raadgivningsordning_.pdf)
- Phillips, B. B., Wallace, C., Roberts, B. R., Whitehouse, A. T., Gaston, K. J., Bullock, J. M., Dicks, L. v., & Osborne, J. L. (2020). Enhancing road verges to aid pollinator conservation: A review. In *Biological Conservation* (Vol. 250). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108687>
- Pick, D., Dieterich, M., & Heintschel, S. (2012). Biogas production potential from economically usable green waste. *Sustainability*, 4(4), 682–702. <https://doi.org/10.3390/su4040682>
- Ravenni, G., & Thomsen, T. P. (2022). *Production, activation and characterization of biochar produced from green biorefinery residues*.
- Rubek, F. (2021a). *Sammendrag af forår 2021*.
- Rubek, F. (2021b). *Sammendrag af sommer 2021*.
- Shi, X. S., Dong, J. J., Yu, J. H., Yin, H., Hu, S. M., Huang, S. X., & Yuan, X. Z. (2017). Effect of Hydraulic Retention Time on Anaerobic Digestion of Wheat Straw in the Semicontinuous Continuous Stirred-Tank Reactors. *BioMed Research International*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2457805>
- Sigurjonsson, H. A. (2016). *Modeling and Evaluation of Bioenergy and Agriculture System Integration*. [https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/144483342/S227\\_Hafthor\\_gir\\_Sigurjonsson\\_PhD\\_Thesis.pdf](https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/144483342/S227_Hafthor_gir_Sigurjonsson_PhD_Thesis.pdf)
- Thomsen, T. P. (2021). Thomsen 2021 - Climate footprint analysis of straw pyrolysis and straw biogas. *Roskilde Universitet*. [https://rucforsk.ruc.dk/ws/portalfiles/portal/78631764/Tobias\\_Pape\\_Thomsen\\_2021\\_Climate\\_Footprint\\_analysis\\_of\\_danish\\_straw\\_pyrolysis\\_and\\_straw\\_biogas.pdf](https://rucforsk.ruc.dk/ws/portalfiles/portal/78631764/Tobias_Pape_Thomsen_2021_Climate_Footprint_analysis_of_danish_straw_pyrolysis_and_straw_biogas.pdf)
- van Meerbeek, K., Ottoy, S., de Meyer, A., van Schaeybroeck, T., van Orshoven, J., Muys, B., & Hermy, M. (2015). The bioenergy potential of conservation areas and roadsides for biogas in an urbanized region. *Applied Energy*, 154, 742–751. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.007>

## 7 Bilag

### 7.1 BILAG 1

Opgavebeskrivelse for klipning og opsugning af græs på udvalgte vejstrækninger

*Kilde: Modtaget fra Lejre Kommune*

#### **Opgavebeskrivelse for klipning og opsugning af græs på udvalgte vejstrækninger**

Lejre Kommune er med i et projekt Greater Bio, hvor vi skal lave et forsøg med at opsamle biomasse fra nogle af kommunes vejkanter. I den forbindelse, skal Lejre Kommune have klippet og opsuget græs på udvalgte vejstrækninger i 2021. Den metode der skal anvendes, er klipning med fingerklipper/skivehøster (mest skånsom) eller slagleklipper og opsugning af biomassen i én arbejdsgang.

Den opsamlede biomasse skal køres til Audebo Miljøcenter deponi som vejkantsaffald umiddelbart efter opgavens udførelse. Lejre Kommune indberetter en affaldsdeklaration for vejkantsaffaldet.

En del af opgaven er at notere hvor mange m<sup>3</sup> biomasse der opsamles per strækning (m<sup>3</sup>/km) og hvor mange tons biomasse (vejes ved aflevering på deponi), der indsamles i maj og i september. I den forbindelse også hvor mange m<sup>3</sup> biomasse per læs og hvor mange læs/containere, der køres væk per km.

Derudover er det væsentligt, at noterer tidsforbruget dvs. hvor lang tid det tager at slå strækningerne målt som km/t og hvor meget brændstof der omtrent bruges på opgaven.

#### **Slåning**

Vejkanterne skal slås i fuldt skår både forår og efterår.

#### **Kantpæle og affald**

Der skal slås rundt om kantpæle, der står på slåningsarealer. Affald suges op sammen med græsset.

#### **Deponi**

Vejkantsaffald skal afleveres til deponi på Audebo Miljøcenter.

#### **Slåhøjde**

Græsset skal slås til en højde på ca. 10 cm.

#### **Tidspunkt**

Arbejdet skal udføres første gang i medio april til medio maj og anden gang i medio september til medio november.