TRAFIKVERKET

RAPPORT

Omvandling av slåttermaterial från vägkanter till biogas

Utvärdering av energipotential och teknik

Trafikverket
Postadress: Röda vägen 1 781 89 Borlänge

E-post: trafikverket@trafikverket.se
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00

Konfidentialitetsnivå: 1 Ej känslig

Dokumenttitel: Omvandling av slåttermaterial från vägkanter till biogas: Utvärdering energipotential och teknik

Författare: Emilsson, Tobias, Nilsson, Daniel och Svensson, Sven-Erik SLU

Dokumentdatum: 2024-02-09

Ärendenummer: TRV 2020/114918

Kontaktperson: Julia Litborn och Johan Rydlöv

Publikationsnummer: 2024:026.

ISBN: 978-91-8045-278-6

Foto: Vägkantsslåtter på Söderslätt med uppsamling av materialet Foto: S-E Svensson

Innehåll

FÖRORD 5

SAMMANFATTNING 6

SUMMARY 7

INLEDNING 8

Bakgrund 8

Syfte och mål 9

UTVÄRDERING AV TEKNIK FÖR VÄGKANTSLÅTTER 11

Lokalisering och datainsamling 11

Slåtterteknik 12

Väderlek 14

Skördeförutsättningar under våren 2022 - avkastningsnivåer 15

Leveranser av biomassa till Gasum under 2022 15

Energiinnehåll, energiutbyte, potentiella klimateffekter, och biomassans kvalitet som biogassubstrat 18

Skörda vägkantsvegetation till biogas eller bara slå av den - vilket är bäst ur klimat- och energisynpunkt? 18

Skörd av vägkantsvegetation som biogassubstrat – hur blir energinettot och energikvoten? 19

Vägkantsvegetation som biogassubstrat – växtnärings- och tungmetallinnehållet är avgörande 21

ANALYS AV PRESTANDA OCH LOGISTIKSYSTEM 24

Detaljstudie av slåtter med direktleverans den 20 maj 24

Detaljstudie av slåtter med direktleverans den 25 maj 30

Slåtter med mellanlagring den 30 maj 35

Sammanfattande prestandaresultat för våren 2022 och för hela året 2022 39

KOSTNADSBERÄKNINGAR 44

Förutsättningar och antaganden 44

Kostnader för skörd under våren 2022 45

Kostnader för alla skördetillfällen under 2022 45

Diskussion av kostnadsberäkningar och insamling av material..... 46
Prestanda..... **Fel! Bokmärket är inte definierat.**

Påverkan på biologisk mångfald..... 52

DISKUSSION..... 55

Bilaga A..... 60

FÖRORD

Det huvudsakliga syftet med detta forskningsprojekt är att utforska hur vägkantsslåtter med direkt uppsamling av klippt vegetation för energiutvinning och gynnande av biologisk mångfald längs vägkanterna kan fungera. Denna rapport presenterar resultat kopplat till ett projekt fokuserat på Artrik Energiutvinning i driftsområde Söderslätt under 2020-2022. Inom projektet testades en ny metod för att slå vägkanter kombinerat med insamling, transport till biogasanläggning och produktion av biogas och biogödsel från vägkantsvegetationen.

Forskningen syftar i första hand till att utvärdera den energipotential som finns i det samlade materialet, särskilt som biogassubstrat, och hur insamling, förbehandling och omvandling av materialet kan optimeras. Dessutom kommer vi att utvärdera effekterna av materialets insamling på vägkanternas vegetationssammansättning.

SAMMANFATTNING

Detta forskningsprojekt syftar till att undersöka hur vägkantsslåtter med uppsamling kan fungera i relation till energiutvinning och främjande av biologisk mångfald längs vägkanterna. Forskningen inriktar sig på att utvärdera energi-potentialen i det samlade materialet, speciellt som biogassubstrat, och att optimera insamling, förbehandling och omvandling av materialet till biogas och biogödsel.

Trafikverket hanterar stora ytor längs vägar och järnvägar, vilka har blivit värdefulla för biologisk mångfald men som också kan ha en potential för biomasseutvinning. Att samla och använda denna biomassa för energiproduktion kan vara ett steg mot ett fossilfritt samhälle. Tidigare forskning visar att vägkanter har potential för biologisk mångfald, men skötseln måste anpassas för att bevara värden och restaurera områden med potential.

Projektets huvudmål inkluderar utvärdering av vägkantsslåtterteknik, kvantifiering av energiinnehåll i samlad biomassa, analys av klimatpåverkan, och undersökning av biogasanläggningens kvalitetskrav på vägkantsbiomassa. Projektet genomfördes med en specifik slåtterteknik som använder rotorslåtter, som är mer skonsam mot växterna jämfört med slaghack, och skonsam uppsugning av växtmaterialet för att minska risken för att insekter och frön sugs upp. Slåtteraggregatet på redskaps-bäraren hade en arbetsbredd på 1,5 m.

Totalt levererades 156 ton vägkantsgräs, med ett torrsubstansinnehåll på ca 25 %, till Gasum i Jordberga. Av dessa levererades 104 ton direkt, medan 52 ton först mellanlagrades vid olika platser. Materialets bedömdes som tillräckligt rent av Gasum Jordberga, med avseende på skräp och innehållet av tungmetaller. Analys av energiåtgången visar på en stor potential till minskning av fossila koldioxidutsläpp genom detta nya slåtterförfarande. Det finns en stor energipotential i materialet och ur klimatgassynpunkt visar beräkningarna att det är ca 4,3 gånger bättre att använda biomassan för produktion av fordonsgas och biogödsel, än att bara slå av den, när skörden varierar från 0,5 till 1,75 ton ts per ha vägkant. Vidare får vi en klimatgasreduktion på 0,3 till 1,2 ton CO_2-e per ha, vid dessa skördar, vilket indikerar att uppsamling av materialet ej bör ske vid för låga skördemängder per ha. Totala kostnaderna för skörden under hela år 2022 blev 350 000 kr, vilket innebär 2,25 kr per kg levererad biomassa, eller 621 kr per skördad km

Slåtter med uppsamling har enligt litteraturen hög potential till att skapa biologisk mångfald i fråga om kärlväxtmångfald i trafikmiljöer om slåttern utförs kontinuerligt en till två gånger per år. Det finns i nuläget få långtidsstudier och även få studier som undersöker hur insekter påverkas av slåtter. Slåtteraggregat som användes i detta projekt har i andra studier visat sig vara mer skonsam än slaghack. Inventeringarna som gjordes i detta projekt visade inga tydliga effekter på biologisk mångfald efter två säsongers slåtterarbete.

SUMMARY

This research project aims to investigate how roadside mowing with biomass harvest can be utilized in relation to energy extraction and the promotion of biodiversity along road verges. The project is focused on energy potential assessment of the collected material when used as a biogas substrate, including optimization of collection, preprocessing, and conversion of material to biogas. The project will also analyze how the collection affects roadside vegetation diversity.

The Swedish Transport Administration manages extensive areas along roads and railways, which have become valuable for biodiversity but also have potential for biomass harvest. Collecting and using this biomass as a source of energy can be a step toward a fossil-free society. Previous research indicates that road verges have potential for biodiversity, but management needs to be adapted to preserve values and restore areas with potential. Technology for harvesting biomass from road verges has been developed, primarily in Germany, the Netherlands, and England.

The main goals of the project include evaluating roadside mowing techniques, quantifying the energy content in the biomass, analyzing its climate impact, and investigating the quality requirements of the biogas facility for roadside biomass.

The project was carried out using a mowing technique that utilizes rotor mowing and gentle suction of plant material. The machine used had a working width of 1.5 meters. A total of 156 tons of roadside grass biomass were delivered to a biogas plant operated by Gasum in Jordberga, close to Trelleborg. A total of 104 tons were delivered directly and 52 tons were temporarily stored at various locations. The material was assessed as sufficiently clean with regard to debris and the content of heavy metals. An analysis of energy consumption in collection and conversion of the biomass indicates a significant potential for reducing fossil carbon dioxide emissions. There is a substantial energy potential in the material and from a climate gas point of view, it is approx. 4,3 times better to use the biomass for the production of vehicle gas and biodigestate, than to just mow the biomass down. Furthermore, the calculations show that we obtain a net climate gas reduction from approx. 0.3 to approx. 1.2 tonnes of CO2-e per hectare roadside and harvesting occasion, when the biomass varies from 0.5 to 1.75 tonnes dry matter per hectare roadside.

Mowing with collection has, according to the literature, a high potential to promote biodiversity in terms of vascular plant diversity in traffic environments. Studies indicate that annual or bi-annual mowing is needed to develop vascular biodiversity. Currently, there are few long-term studies and limited research on how insects are affected by mowing. The machine used in this project has been shown in other studies to be gentler than, for example, flail mowers. The inventories conducted in this project did not show clear effects on biodiversity after two seasons of mowing work.

INLEDNING

Bakgrund

Trafikverket sköter årligen stora ytor längs vägar och järnvägar. Det statliga vägnätet omfattar exempelvis närmare 100 000 km. Dessa ytor har blivit alltmer värdefulla för den biologiska mångfalden i takt med att traditionellt hävdade biotoper har blivit mer sällsynta i landskapet. Dessa vegetationsområden utgör också en betydande areal för produktion av biomassa. Att samla upp och nyttiggöra denna biomassa för energiändamål är ett sätt att komma närmare målet om ett fossilfritt samhälle.

Tidigare litteraturstudier har visat att vägkanter har stor potential för utveckling av biologisk mångfald, framförallt genom förändrad och anpassad skötsel. Skötseln bör primärt inriktas på att bevara och stärka nuvarande värden, och på restaurering av tidigare viktiga ytor. Det finns stora möjligheter att arbeta med anpassad skötsel för att uppgradera den stora arealen som i nuläget inte har något unikt värde. Näringsnivåer, slåttertidpunkter och uppsamling av biomassan är kritiska faktorer för ytornas värden och möjliga utveckling.

Under det senaste decenniet har teknik för skörd av biomassa från vägkanter utvecklats ibland annat Tyskland, Nederländerna och England. Det handlar då om teknik för uppsamling, transport och hantering av biomassa från väg- och järnvägsområden. Valet av teknik och logistiksystem ska alltid ses i ett helhetsperspektiv, till exempel när det gäller lokalisering av produktionsytor, lagringsplatser, slutanvändare och deras kvalitetskrav på råvaran.

Den uppsamlade biomassan vid vägkantsslåtter kan delas in i tre huvudtyper: färskt gräs som samlas upp direkt efter slåtter, gräs som tillåts torka liknande hö samt vedartad biomassa i form av klippdelar eller flis från buskar eller träd. Dessa kan användas som fastbränslen (i form av till exempel balar, flis eller pellets) eller omvandlas till flytande bränslen (till exempel etanol eller syntetisk diesel) eller gasformiga bränslen (till exempel biogas, syntetisk naturgas, biogasol eller DME). För närvarande torde produktion av biogas vara mest intressant för gräsartad biomassa, och användning i kraftvärmeverk för vedartad biomassa. En grov uppskattning av den totala tillgängliga energipotentialen i ett tidigare projekt kopplat till Artrik energiutvinning visade att den är i storleksordningen 0,5-1,5 TWh/år. Det är främst mindre vägar och järnvägskorridorer som bidrar till potentialen (Emilsson et al., 2017).

Under 2016 och 2017 genomfördes en förstudie, Artrik energiproduktion, med finansiering från Trafikverket och med syfte att översiktligt undersöka möjligheterna för tillvaratagande av gräs- och vedartad biomassa längs vägar och

järnvägar för energi-ändamål, samtidigt som en större artrikedom eftersträvas. Projektet genomfördes inom ramen för den tidigare forskningsportföljen inom Trafikverket - Energieffektivt transportsystem. Förstudien utmynnade i rapporten ”Artrik energiutvinning – energiutvinning och ökad biologisk mångfald inom väg- och järnvägsområden”, av Emilsson et al. (2017), med förslaget att genomföra 1-2 pilotstudier.

Upplägg för piloten har därefter tagits fram i en förberedande studie under 2018 och 2019 i projektet Artrik energiproduktion – pilot. Under sommaren 2020 startades det en pilotstudie med en ny typ av slåtteraggregat, Herder Ecological Mower, med en uppsamlingsteknik av vägkantsvegetation som är skonsam mot växter och insekter. Piloten genomfördes i driftområdet på Söderslätt, i Skåne, för transport av vegetationen till Gasum Jordbergas biogasanläggning.

Detta forskningsprojekt har som mål att utvärdera pilotinsatserna. Projektets innovativa värde ligger i dess multifunktionalitet, att det potentiellt går att få flera samverkande nyttor i form av energi och mångfald från vägkanterna. I detta projekt tar vi ett helhetsgrepp på hur vegetationen längs vägkanterna kan användas för omvandling till bioenergi samtidigt som vi analyserar hur denna nya skötselmetod kan bidra till utveckling av en artrik kärlväxtflora med potentiell effekt på invasiva arters utbredning.

Syfte och mål

Projektet syftar till att utvärdera vilken energipotential det finns i det uppsamlade materialet samt hur transport, förbehandling och omvandling av materialet kan utföras mer optimalt. Projektet syftar också till att avgöra om det färska materialet är lämpligt för direkt omvandling till biogas och biogödsel. Vidare kommer vi att utvärdera vilka effekter som uppsamlingen har på ytornas vegetation.

Projektet har följande huvudsakliga mål:

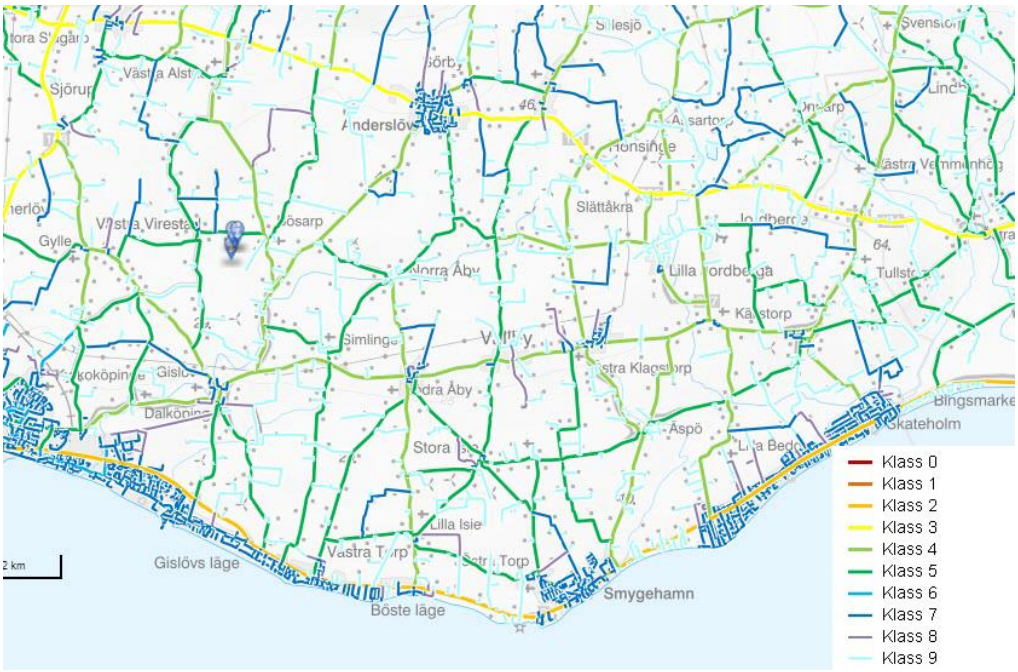
- Att utvärdera teknik för vägkantsslåtter, hur den fungerar i praktiken och hur den påverkar biomassaskörden
- Att kvantifiera energiinnehållet i uppsamlad vägkantbiomassa och beräkna energibalansen, dvs energikvoten mellan utvunnen och insatt energi för skörde- och omvandlingssystemet
- Att beskriva biogasanläggningens (slutanvändarens) kvalitetskrav på uppsamlad vägkantbiomassa (råvaran) och översiktligt jämföra förekomst av tungmetallerna med näringsinnehåll i form av kväve, fosfor och kalium.
- Att kvantifiera skörde- och transportkostnader samt energianvändningen för detta. Förändring av kostnadsbilden och energianvändningen vid direkt leverans till Gasum Jordberga jämfört med mellanlager + lastbilstransport

- Att dokumentera påverkan på vegetationen vid slåtter med uppsamling längs med de utvalda vägsträckorna samt att undersöka potentiell risk för spridning av invasiva arter med slåtteraggregat och transportvagnar till biogasanläggning samt med producerad biogödsel.

UTVÄRDERING AV TEKNIK FÖR VÄGKANTSLÅTTER

Lokalisering och datainsamling

Projektet genomfördes på mindre vägar (funktionell vägklass 4 eller högre) i södra Skåne (figur 1). Vägarna valdes ut för att ligga inom ett rimligt avstånd från en biogasanläggning. Inom detta projekt använde vi oss av Gasums anläggning i Jordberga.



Figur 1. Översiktlig bild över området där projektet utfördes. Projektet fokuserade på trafikklass 4 eller högre och var centrerat kring Klagstorp.

En Logmaster-enhet (Dataväxt, 2022) var installerad på redskapsbäraren för registrering av körhastighet, bränsleförbrukning, motorvarvtal, motorbelastning samt position (via GPS). Datafiler med en tidsupplösning på 2 sekunder (ibland upp till 10 sekunder) exporterades till Excel för bearbetning av data samt analys. Maskinens position registrerades på kartor, som i kombination med uppgifterna i Excel-filen visade var maskinen befann sig och även indikerade vad den var sysselsatt med. Om motorvarvtalet var 1500-1600 varv/min, samtidigt som maskinen var i rörelse med en hastighet på >0 km/tim och <10 km/tim, antogs det att maskinen arbetade med slåtter. Eftersom tidsintervallen mellan Logmaster-registreringarna var olika, beräknades den ackumulerade körsträckan S_j vid tidpunkten t_j som:

$$S_j = S_i + ((t_k - t_j)/2 + (t_j - t_i)/2)\cdot v_j$$

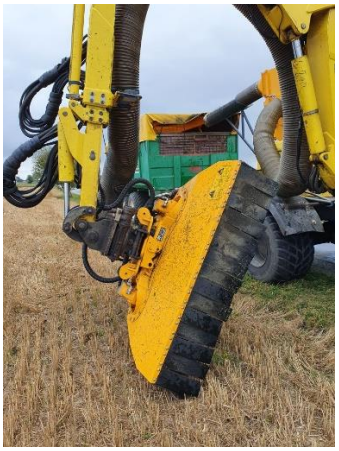
där S_i är den ackumulerade sträckan fram till föregående mättidpunkt t_i (tiden t uttrycks i ackumulerad tid (i sekunder) från starten av dagens arbete), och där v_j är registrerad körhastighet vid tidpunkten t_j (Ekvation 1).

Slåtterteknik

Slåtteraggregatet var av typen rotorslåtter ”Herder Ecological Mower”. Till skillnad mot slagslåttermaskiner, har denna maskin liten sugeffekt under slåtter tack vare gummidukar som styr luftflödet. Vegetationen slås av med hjälp av två knivförsedda horisontella rotorer (figur 2). I en slagslåttermaskin, med en horisontellt roterande axel med påhängda slagor, blir däremot sugeffekten mycket större då vi får en fläktverkan av de roterande slagorna. Vid användning av rotorslåtterprincipen blir därför mängden insekter och annan värdefull fauna som sugs upp begränsad. Mängden frön som sugs upp blir också mindre, vilket är gynnsamt ur flora-synpunkt. Dessutom blir mängden skräp som sugs upp mindre, vilket är positivt då biomassan ska användas som substrat för produktion av biogas och biogödsel.

I en nederländsk studie (Cardoen, 2013) visades att rotorslåtteraggregat ger betydligt lägre halter av sand och jord i det avslagna materialet, jämfört med slagslåttermaskiner. Den skarpare snittytan är också mer skonsam mot växtligheten jämfört med den snittyta som blir vid slagslåtter. Högt varvtal tycks vara fördelaktigt för att skapa en barriär mellan växtligheten under rotorerna och sugluften ovanför dessa; på så sätt minskas sugkraften under rotorerna (Cardoen, 2013).

Aggregatets markföljningsrulle följer ojämnheter i marken och minskar därmed risken för jordkontakt. Även djur som lever i eller strax under markytan kommer därför att uppleva få störningar vid slåttern. Enligt tillverkaren kan maskinen förses med en doftgardin som stöter bort insekter och på så sätt håller dem på avstånd (Herder, 2023a, 2023b).



Figur 2. Slåtteraggregatet med sina rotorer (t.v.) (foto: Daniel Nilsson) och sett framifrån (t.h.) (foto: Daniel Nilsson).

Slåtteraggregatet hade en maximal arbetsbredd på 1,5 m. I aggregatet sögs den avslagna vegetationen direkt in i en grov sugslang, ca 35 cm i diameter, och vegetationen transporterades därefter av en luftström till en vagn bakom redskapsbäraren (maskinen). Fläkten till sugslangen satt monterad baktill på redskapsbäraren (figur 3). Vagnen var en högtippande Metsjö-vagn med en maximal lastkapacitet på 12 ton. Ovanpå var vagnen täckt med en presenning för att förhindra att det inblåsta materialet hamnade utanför vagnen.

Figur 3. Slåtterekipaget sett framifrån (t.v.) (foto: Sven-Erik Svensson) och från sidan (t.h.) (foto: Daniel Nilsson).

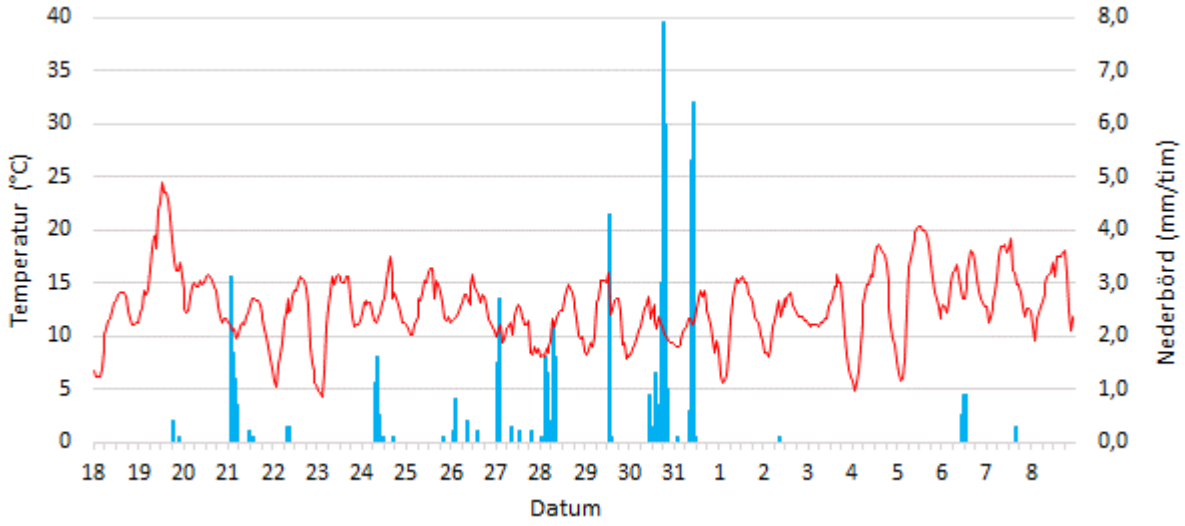
Redskapsbäraren var en Energreen ILF 1500 med svängbar hytt och en motoreffekt på 129 kW. Kranen hade en maximal räckvidd på ca 10 m. Vagnen utrustades med en bakåtriktad kamera för att underlätta för föraren att se trafiken bakom fordonet. Hydraulsystemet på redskapsbäraren hade tillräcklig kapacitet för att kunna driva slåtteraggregat och fläkt, men en extra hydraulpump som var kopplad till det främre kraftuttaget monterades ändå. Ett skäl till att ha en extra hydraulpump var att minska risken för att oljan skulle bli för varm under varma sommardagar.

Den valda tekniken med rotorslåtter, slår av vegetationen på ett effektivt sätt, men sönderdelar inte materialet i någon större omfattning. Ett optimalt material hade varit betydligt mer finhackat för att fungera bra i den våtrötningsprocess som sker vid Gasums biogasanläggning i Jordberga, dit vegetationen levereras under projekttiden. I och med att den mängd material som samlas in i detta projekt är liten i förhållande till den totala mängden som rötas vid Gasum Jordberga, så fungerar även ett något mer långstråigt material i biogasprocessen.

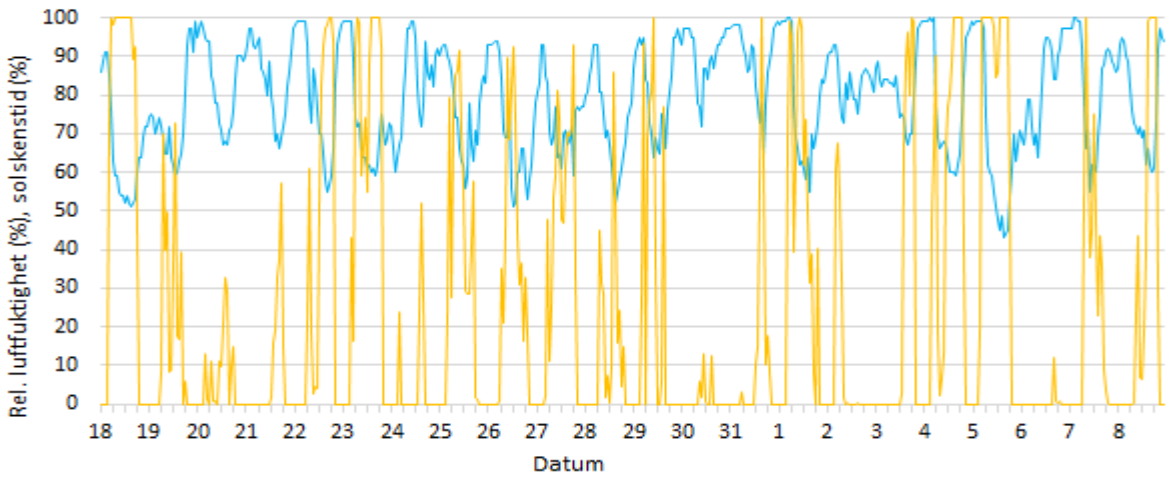
Under slåttern 2021 visade det sig att en del av vegetationen växte sig väldigt stor och kraftig under sensommaren. Vissa arter som till exempel cirkoria förvedades och skapade problem i slåtter och upptag. De långa stammarna fastnade i sug-slangen, från skördehuvudet till transportvagnen, vilket gav upphov till åter-kommande stopp och maskinföraren fick lägga mycket tid på att rensa slangen. Dessa problem med stopp i sugslangen fanns inte vid slåttertillfället på våren 2021 och inte heller under hösten 2020, eftersom första skörden då gjordes i mitten av juli. Det kortare slåtterintervallet gjorde att vegetationen inte hann bli förvedad fram till det andra skördetillfället i oktober. Under 2022 anpassades skördetid-punkterna och vegetationen skördades 3 gånger istället för två, för att undvika problemet med vedartad storväxt cikoria. Att skörda tre gånger per år minskade problemen med stopp i slangen.

Väderlek

Relativ luftfuktighet och solskenstid har stor betydelse för upptorkningshastigheten. Under skördeperioden 18/5 – 8/6 2022 var vädret i sydvästra Skåne ganska normalt för årstiden med en medeltemperatur på 12,7°C (figur 4). Mindre mängder regn föll dock nästan varje dag i slutet på maj. På eftermiddagen den 30 maj kom ett större regnväder som gav 30 mm. Det var ganska mulet väder den 20-21 maj, 30-31 maj, 3 juni och 6 juni (figur 5). Slåtter genomfördes alla dagar utom den 21-22 maj, 26-29 maj, 31 maj och den 4-6 juni.



Figur 4. Temperatur (°C) (röd linje) (mätstation Malmö Sturup flygplats) och nederbörd (mm/tim) (blå staplar) (mätstation Malmö A) för perioden 2022-05-18 (kl. 00.00) till 22-06-08 (kl 23.00). För x-axeln står datumangivelserna vid den tidpunkt när dygnet börjar (kl. 00.00). Källa: (SMHI, 2023a).



Figur 5. Relativ luftfuktighet (%) (blå linje) (mätstation Malmö Sturup flygplats) och solskenstid per timme (%) (gul linje) (mätstation Lund Sol) för perioden 2022-05-18 (kl. 00.00) till 22-06-08 (kl 23.00). För x-axeln står datumangivelserna vid den tidpunkt när dygnet börjar (kl. 00.00). Källa: (SMHI, 2023b).

Skördeförutsättningar under våren 2022 - avkastningsnivåer

Vädret var nära normalt under våren 2022 men temperaturen i sydvästra Skåne var något över det normala under mars och maj, medan mängden nederbörd var över det normala under april och maj (tabell 1). Detta gynnade tillväxten av till exempel gräsvallar. Exempelvis var förstaskörden av slåttervall inom produktionsområdet Götalands södra slättbygder i genomsnitt 4,3 ton ts/ha, vilket kan jämföras med normskörden, som är ca 3,3 ton ts/ha (Jordbruksverket, 2023). Genomsnittsvärdet var alltså ca 30 % högre än normskörden. Det kan därför antas att den mängd vägkantsgräs (kg/ha) som skördades i maj/juni 2022 var större än normalt.

Tabell 1. Månadsvis temperatur och nederbörd för Malmö, dels under 2022 och dels normalvärden för perioden 1991-2020. Källa: SMHI (2023a)

	Mars	April	Maj
Medeltemperatur 2022 (°C)	3,9	7,2	12,9
Normalvärde (1991-2020) (°C)	3,3	7,8	12,3
Månadsnederbörd 2022 (mm)	0,4	38	80
Normalvärde (1991-2020) (mm)	40	33	41

Leveranser av biomassa till Gasum under 2022

Det fanns tre skördeperioder under år 2022: 18 maj – 9 juni (i fortsättningen benämnt ”våren”), 5 juli – 14 juli (”sommaren”) och 16 september – 10 oktober

(”hösten”). Under året levererades totalt ca 156 ton vägkantsgräs, mätt som våtvikt, till Gasum i Jordberga (tabell 2). Av denna mängd levererades 104 ton direkt, medan 52 ton först mellanlagrades vid antingen Vallby, Södra Åby eller Gislövs by. Den genomsnittliga vikten hos de lass som levererades direkt var ca 2,4 ton under våren, medan de var ca 1,4 ton under hösten. Detta beror troligtvis på skillnader i skördeutbyte under de olika slåttertidpunkterna i relation till fastlagda rutter för leverans av biomassa till Jordberga eller mellanlagring. Totalt skördades 61,7 ton under våren, 62,3 ton under sommaren och 31,6 ton under hösten.

Gasum som tog emot materialet upplevde inga problem gällande materialets renhet i fråga om plast, plåtburkar eller liknande. Slåtterprincipen som användes på Söderslätt med rotorslåtter och skonsam uppsugning av materialet ovanför rotortallrikarna, medförde att det avslagna materialet inte innehöll något skräp som eventuellt låg på markytan vid slåttern. Strålängden var egentligen något för lång, enligt Gasum, för att vara optimal för deras inmatningsteknik, men eftersom vägkantsvegetationen blandades med andra substrat som var mer finhackade så uppstod det inga problem med att vägkantsvegetationens strålängd egentligen var lite för lång. Frågan om materialets strålängd skulle bli en större fråga, om det kommer in väldigt mycket långt material till anläggningen, till exempel om en generell slåtter av vägkanter i hela Skåne skulle bli aktuell. I så fall finns möjligheten att finhacka det långa materialet i stationära utrustningar, förslagsvis vid de mottagande biogasanläggningarna. Vid klippning med slaghack tenderar materialet att bli kortare vilket skulle kunna eliminera behovet av efterbehandling, men detta skulle behöva utredas vidare.

Det gjordes inga speciella rötningstester av skördat material, utan vi antog en specifik metanpotential på 300 m^3 CH_4 per ton ts. Detta baseras på både ”Substrathandbok för biogasproduktion” (Carlsson och Uldal, 2009) samt att skörden av vägkantsvegetationen inom projektet genomförts vid liknande tidpunkter som för vallgräs. Prade et al (2018) undersökte metanpotentialen hos vallgräs som skördas två resp. tre gånger per år. Vallgräs som skördades tre gånger per år hade en specifik metanpotential på 340 m^3 per ton VS, vilket var 18 % högre än vid två skördar per år, som resulterade i 290 m^3 per ton VS. Den specifika metanpotentialen för den första skörden i treskördesystemet var 21 % högre än den första skörden i tvåskördesystemet. Vidare minskade metanpotentialen signifikant från en skörd till nästa. Minskningen av den specifika metanpotentialen från den första skörden till den andra skörden i tvåskördesystemet, samt från det första till den andra skörden i treskördesystemet och från den andra till den tredje skörden i treskördesystemet var 6 %, 5 % respektive 6 %. Rasi et al. (2023) som undersökte möjligheten att samröta ensilerat gräs med bland annat gödsel för att öka produktionen av biogas, anger en specifik metanpotential för gräset till 310 m^3 per ton VS. Vid skörd av vägkantsvegetationen på Söderslätt har vi från och med skördesäsongen 2022 förordat tre skördar per år, vilket motiverar antagandet att den specifika metanpotentialen kan sättas till ca 300 m^3 per ton ts.

.

Tabell 2. Leveranser av vägkantsgräs till Gasum i Jordberga under 2022

Säsong	Antal lass	Genomsnittlig lassvikt (kg våtvikt)	Total mängd (kg våtvikt)
Direkt till Jordberga:			
Vår	14	2 444	34 220
Sommar	26	1 849	48 080
Höst	15	1 427	21 400
Summa	55		103 700
Mellanlagring:			
Vår	3	9 173	27 520
Sommar	2	7 110	14 220
Höst	1	10 240	10 240
Summa	6		51 980
Totalt	61		155 680

ENERGIINNEHÅLL, ENERGIUTBYTE, POTENTIELLA KLIMATEFFEKTER OCH BIOMASSANS KVALITET SOM BIOGASSUBSTRAT

Skörda vägkantsvegetation till biogas eller bara slå av den - vilket är bäst ur klimat- och energisynpunkt?

Att genomföra vägkantsslåtter kräver energi oavsett om materialet samlas upp eller ej. Vid slåtter med uppsamling behöver energi tillföras både till själva slåtterarbetet och till alla kommande steg i processen från uppsamling av material genom omvandling till färdiga bränslen och produkter.

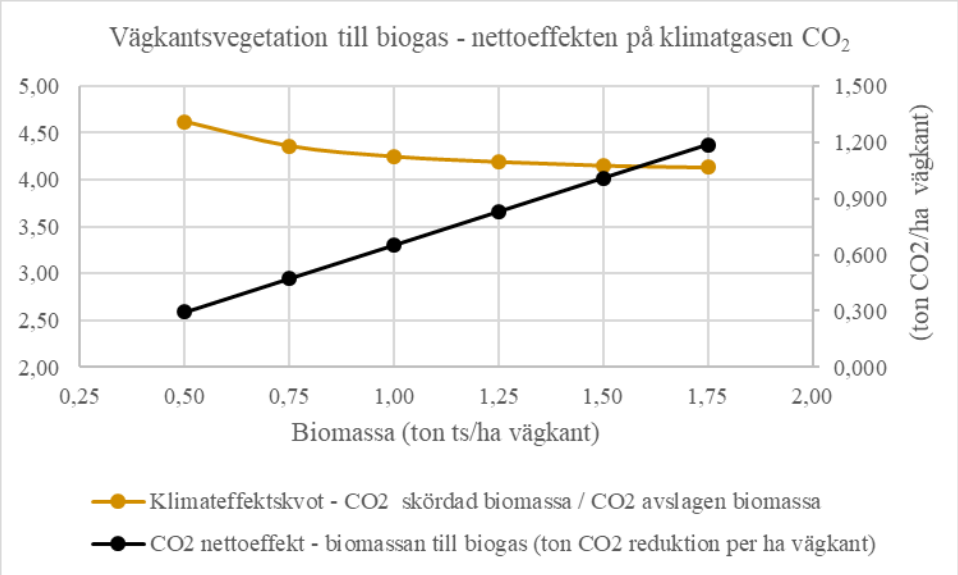
För att kunna ge svar på vilket som är bäst ur klimatgassynpunkt, att genomföra en vanlig slåtter där vägkantsvegetationen bara slås av utan uppsamling, eller att skörda vegetationen och göra biogas och biogödsel av den, så beräknar vi klimatgas-effekterna som CO_2-e per ytenhet vägkant, för de två skötselsystemen. I dessa beräkningar antar vi att biomassaskörden, mätt i torrvikt (ts), kan variera från 0,05 kg till 0,175 kg ts per m^2 vägkant. Detta motsvarar 0,5 ton till 1,75 ton ts per ha vägkant, vilket motsvarar 0,5 till 1,75 ton ts per mil vägkant, när slåtteraggregatets arbetsbredd är 1 m.

I bilaga A visas beräkningsgången både för klimatgaseffekten [ton CO_2 per ha vägkant] och för klimateffektkvoten, då biomassaskörden är 1 ton ts per ha vägkant samt vilka antaganden vi gjort för dessa beräkningar.

Resultaten från beräkningarna visar att det ur klimatgassynpunkt är 4,1–4,6 gånger bättre (i medeltal ca 4,3 gånger bättre), när skörden varierar från 0,5 ton till 1,75 ton ts per ha, att använda biomassan som biogasråvara istället för att bara slå av den. Inbesparingen i klimatgaser kan beräknas till ca 650 kg CO_2-e per ton ts vägkantsvegetation. Vidare visar beräkningarna att vi erhåller en nettoklimatgas-reduktion från ca 0,3 till ca 1,2 ton CO_2-e per ha vägkant och skördetillfälle, när mängden biomassa varierar från 0,5 till 1,75 ton ts per ha vägkant (figur 6). Eftersom nettoklimatgasreduktion blir ganska liten vid låga skördar, så indikerar detta resultat att uppsamling av biomassan ej bör ske vid för låga skördar per ha.

Att sköta vägkanter med maskiner som slår av och samlar upp vegetationen för att omvandla den till biogas och biogödsel kommer alltså vara positivt ur ett klimatgas-perspektiv. Samma slutsats drar Czubaszek et al. (2023) som i sin studie anger att minskningen av CO2-utsläppen kan vara stora och upp till 2,4 ton CO_2 per ha vägkant. De menar vidare att så stora minskningar av CO2-utsläppen pekar på att

användningen av gräs från vägkanter i biogasanläggningar bör vara ett intressant alternativ. I deras studier som också var inriktade på att undersöka effekten av skördetidpunkten på metanutbytet hos färskt gräs, som samlats upp från vägkanter tre gånger under en växtsäsong, våren, sommaren och hösten, så låg den specifika metanpotentialen på ca. 274 l CH4 per kg VS.



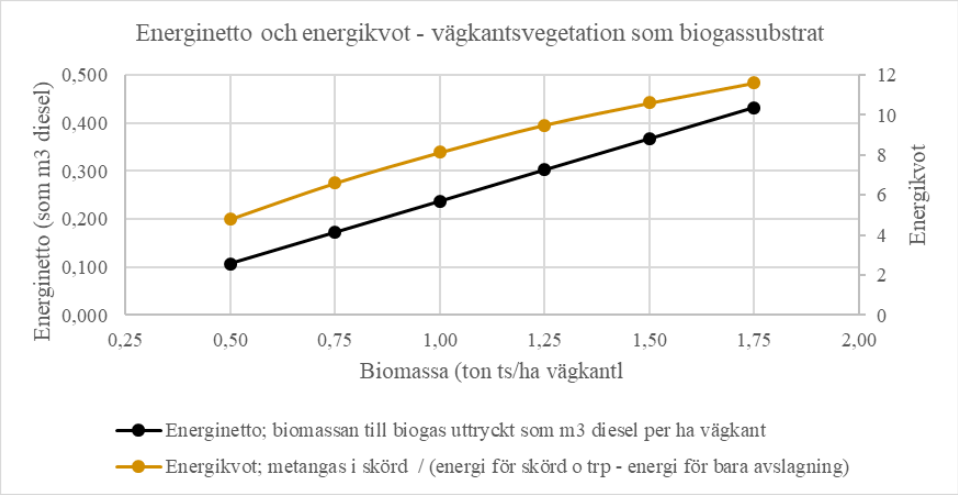
Figur 6. Nettoeffekten på klimatgasutsläpp och klimateffektkvoten för de två undersökta systemen för vägkantsskötsel; skördad vägkantsvegetation till biogas och biogödsel jämfört med traditionell vägkantsslåtter med avslagen och återförd vegetation till vägkanten.

Skörd av vägkantsvegetation som biogassubstrat – hur blir energinettot och energikvoten?

Nu är frågan om energinettot och energikvoten blir lika fördelaktiga som resultaten från klimatgasberäkningarna när vägkantsvegetationen skördas som biogassubstrat istället för att bara slås av och återföras till vägkanten. Går det att motivera slåtter med uppsamling ur ett energiperspektiv och kan det vara så att vi får tillbaka mer energi från systemet jämfört med den energi som vi stoppar in i form av diesel i slåttermaskinerna? Även i dessa beräkningar antar vi att biomassaskörden, mätt som torrvikt, varierar från 0,5 till 1,75 ton ts per mil vägkant, när slåtteraggregatens bredd är 1 m.

I tabell 3 visas hur beräkningarna för energikvoten och för energinettot, vid 1 ton ts per hektar, har genomförts. Resultaten från energiberäkningarna visar att energikvoten är mycket gynnsam när vägkantsvegetationen används som biogassubstrat. Energikvoten ligger i intervallet 5 – 12 när biomassaskörden varierar från 0,5 till 1,75 ton ts per mil vägkant (figur 7).

Vidare visar energiberäkningarna att när vegetationen omvandlas till metangas i biogasanläggningen, så ligger energinettot i intervallet 100 till 430 m^3 CH_4 per hektar skördad vägkantsyta, när skörden varierar från 0,5 till 1,75 ton ts per mil vägkant (figur 7). Energiinnehållet i 100 till 430 m^3 CH_4 motsvaras av energi-innehållet i ungefär lika många liter diesel, dvs i 100 till 430 liter diesel.



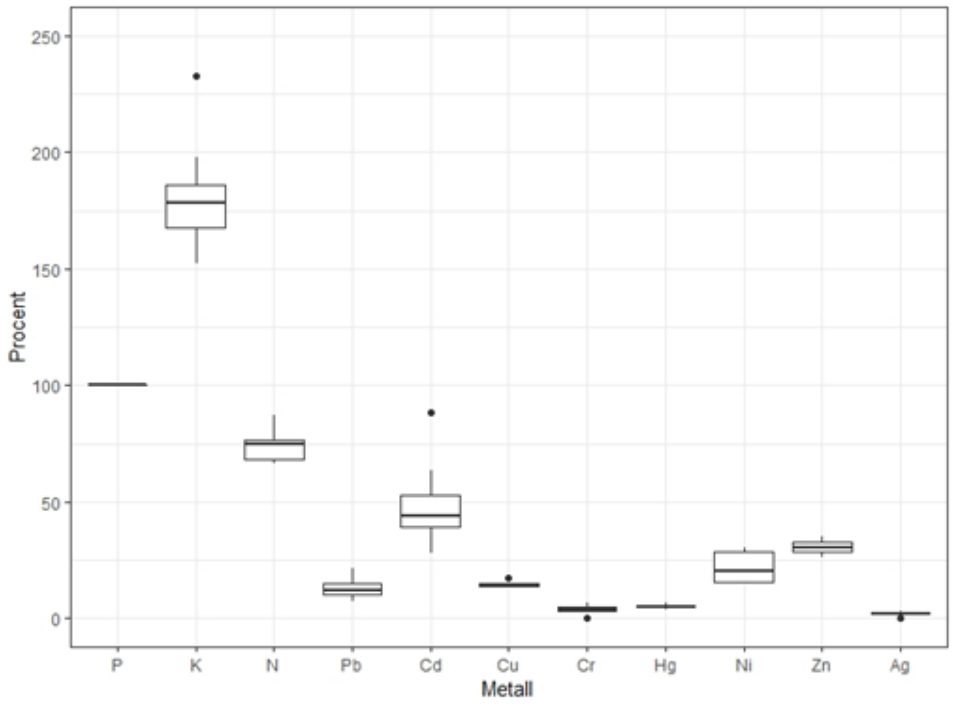
Figur 7. Energinetto och energikvot för skördad vägkantsvegetation som biogassubstrat.

Tabell 3. Jämförande analys mellan slåtter med återförd biomassa och slåtter med skördad biomassa i relation till energinetto och energikvot vid skörd av vägkantsvegetation som biogassubstrat. Tabellen visar beräkningsgång vid analys.

Enhet	Scenario: Återförd biomassa	Scenario: Skördad biomassa
Ovanjordisk biomassa [ton ts/ha]	1	1
Biometanpotential brutto i biomassan [m³ CH_4/ha]	0	300
Andel av biometanpotentialen som kan nyttjas tex i transportsektorn	0	90 %
Biometanpotential netto [m³ CH_4/ha vägkantsyta]	0	270
Transportavstånd för vegetationen till biogasanläggning (km)	0	5
Energiberäkning [l diesel/ha eller per mil vägkant]		
Biometan - netto från vägkantsvegetation som ersätter diesel	0	270
Diesel för avslagning resp. skörd av vegetationen	14	38
Diesel för transport av vegetationen till biogasanläggning t.o.r:	0	10
Summa dieselanvändning per ha]	14	48
Nettoenergibidrag (l diesel per ha]	-14	222
Nettoenergibidrag skillnad mellan systemen [liter diesel per ha]	236	
Energikvot; energi i metan / (energi för skörd - energi återförd)	8	

Vägkantsvegetation som biogassubstrat – växtnärings- och tungmetallinnehållet är avgörande

Utifrån åtta stickprov på maskinellt skördad vägkantsvegetation på Söderslätt under 2020-2022, med ”Herder Ecological Mower”, och kemiska analyser på dessa åtta växtprover, utförda av LMI AB i Helsingborg, så visar det sig att det är fosfor-innehållet i vägkantsvegetationen som bestämmer möjligheten att använda den som biogassubstrat (figur 8).



Figur 8. Växtnärings- och tungmetallinnehåll, relaterat till fosforinnehållet, i vägkantsvegetation som skördats maskinellt för biogasproduktion på Söderslätt under 2020 - 2022. Boxplotten baseras på data från kemiska analyser på vägkantsvegetation, n = 8 stickprov, vilka togs vid åtta olika tillfällen från vagnen, som samlade upp den skördade vegetationen.

Innehållet av kalium, kväve och tungmetaller (figur 8), har relaterats till fosforinnehållet i enlighet med SNFS (1994) när avloppsslam skall spridas på åkermark. Boxplotten visar att det är fosforinnehållet, dvs. 100 % av gränsvärdet på y-axeln, (100 % = 22 kg fosfor per hektar och år), som begränsar mängden rötad vägkantsvegetation, i form av biogödsel, som får spridas på åker enligt slamregelverket (SNFS, 1994). Kalium är inte ett begränsande växtnäringsämne enligt slamregelverket och begränsar därför inte spridningsgivan, även om kaliumvärdet ligger på ca 170 % av ”gränsvärdet” som motsvarar en kaliumkrävande grödas årliga behov. Vägkantsvegetation kan därför tillföra relativt stora mängder kalium till biogödseln, vilket är positivt eftersom den används som ett gödselmedel.

Varken innehållet av kväve eller någon av tungmetallerna Pb (bly), Cd (kadmium), Cu (koppar), Cr (krom), Hg (kvicksilver), Ni (nickel), Zn (zink) och Ag (silver) begränsar mängden vägkantsvegetation, i form av biogödsel, som får spridas på åkermark som växtnäringskälla, eftersom alla värdena, med betryggande marginal, ligger under 100 % av gränsvärdet i SNFS (1994), se figur 8.

Att vägkantsvegetationen kan användas som biogassubstrat baseras på reglerna för maximal tillförsel av fosfor, total-kväve och tungmetaller med avloppsslam till

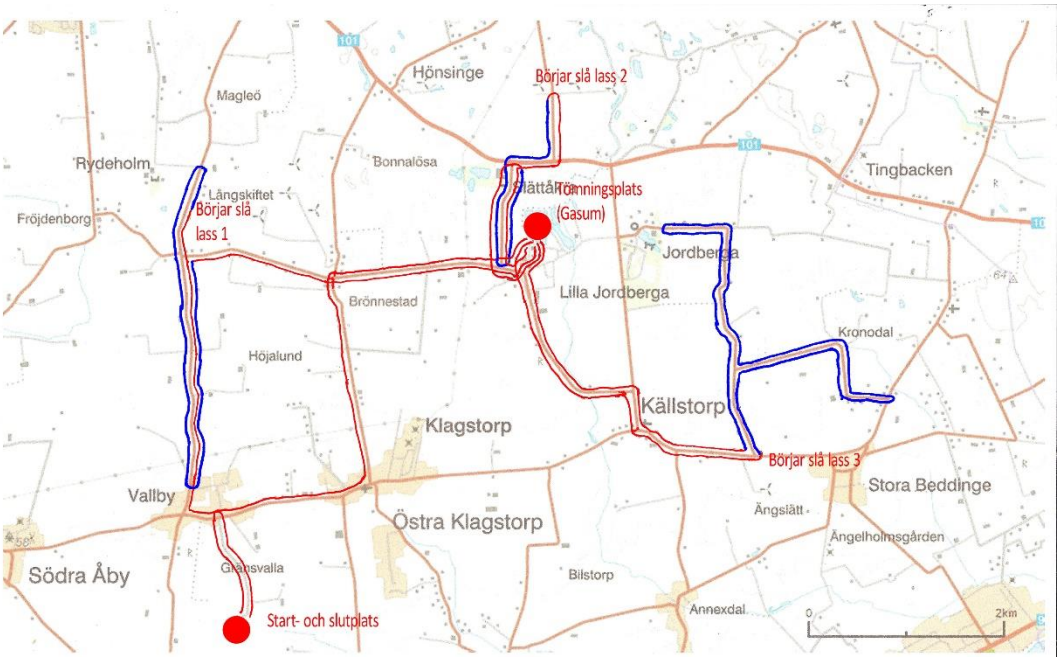
åkermark, enligt (SNFS 1994). Slutsatsen rörande vägkantsvegetationens möjlighet från Söderslätt att användas som biogassubstrat, ur växtnärings- och tungmetall-synpunkt, är dragen med hjälp av den ”kvalitetsmetod” för organiska gödselmedel som är utarbetad av Svensson m.fl. (Svensson et al., 2015; Svensson and Englund, 2015). I denna metod är tungmetallinnehållet i biomassan relaterat till fosfor-innehållet och beskriven som (mg tungmetall per kg fosfor) enligt SNFS (1994).

ANALYS AV PRESTANDA OCH LOGISTIKSYSTEM

I detta kapitel sammanställs och analyseras prestandadata för slåtter och hantering av vägkantgräs på Söderslätt under år 2022. Eftersom det finns ett mycket omfattande datamaterial, har störst fokus legat på skörden under våren 2022. Sist i kapitlet finns ett avsnitt som presenterar övergripande resultat för helåret 2022.

Detaljstudie av slåtter med direktleverans den 20 maj

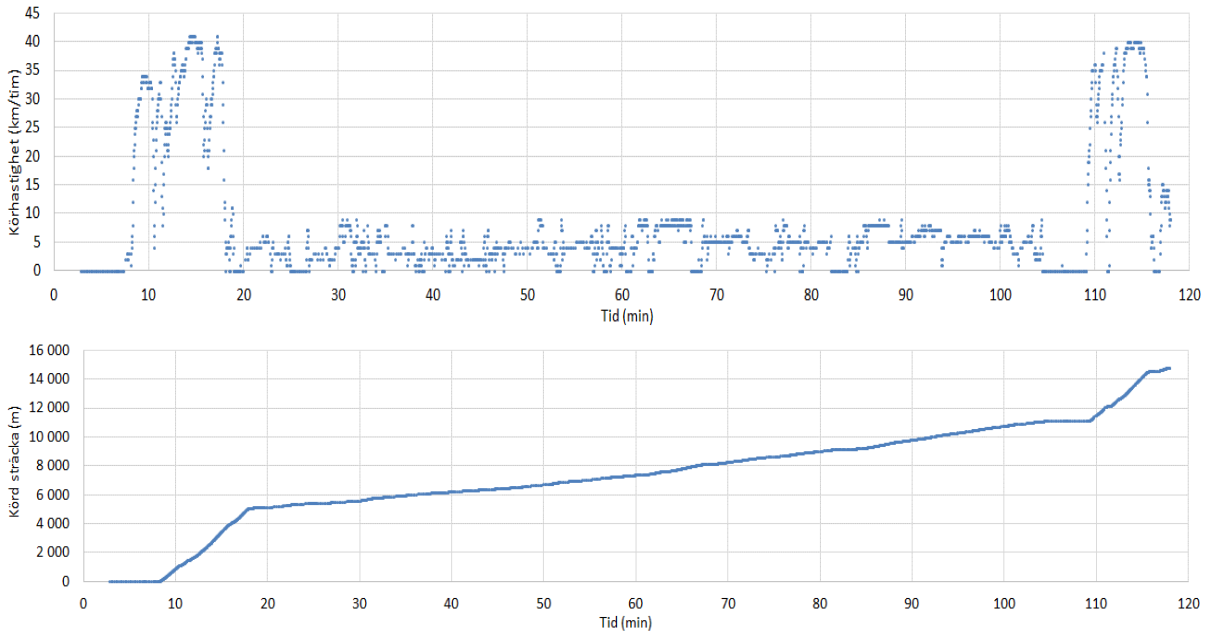
Den 20 maj 2022 skördades och levererades tre lass till Gasums anläggning i Jordberga. Körrutterna framgår av figur 9. Det första lasset, som skördades på båda sidor av vägen Vallby Norrmark, norr om Vallby, innehöll 2900 kg och samlades upp på en total sträcka av drygt 5,9 km (tabell 4).



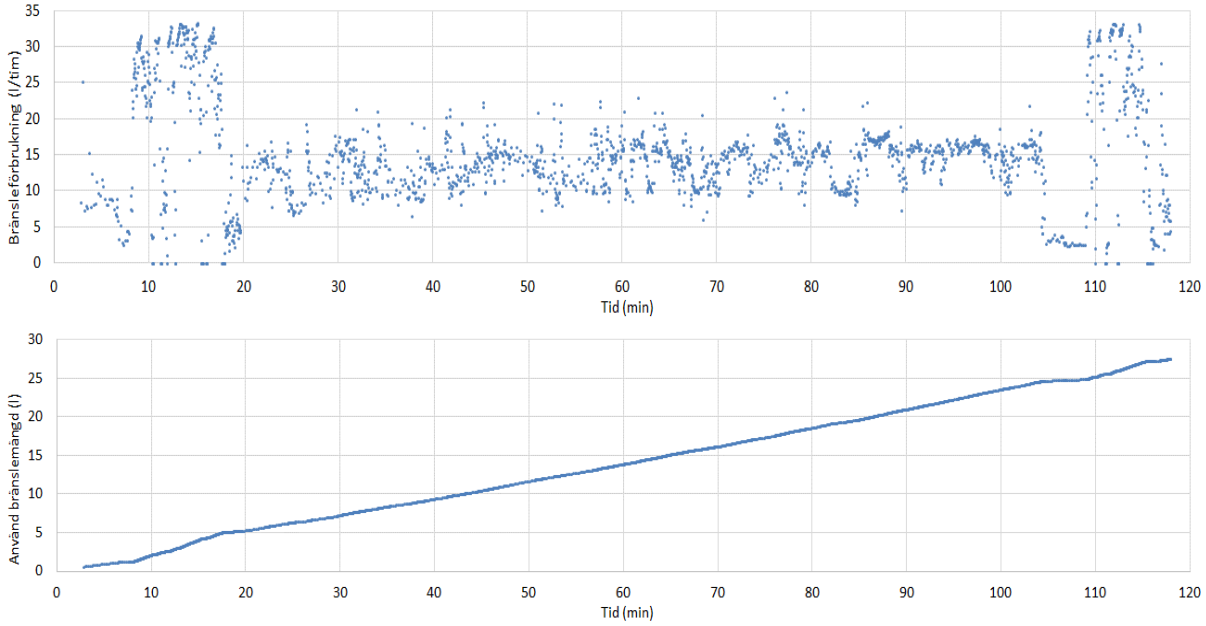
Figur 9. Körrutter under den 20 maj 2022. Röda linjer betecknar transportsträckor och blå linjer slåttersträckor.

Körhastigheten vid transport till det första lassets startplats vid Långskiftet (se karta i figur 9) var bitvis drygt 40 km/tim, och under slåtter översteg hastigheten aldrig 10 km/tim (figur 10). Bränsleförbrukningen för lass 1 var som högst 30-35 l/tim under transporterna, och som högst 20-25 l/tim under slåtter (enligt den ”momentana” mätmetod som används i Logmaster) (figur 11). Vid transporterna nådde motorn vid några tillfällen 100 % belastning, medan motorns varvtal var runt

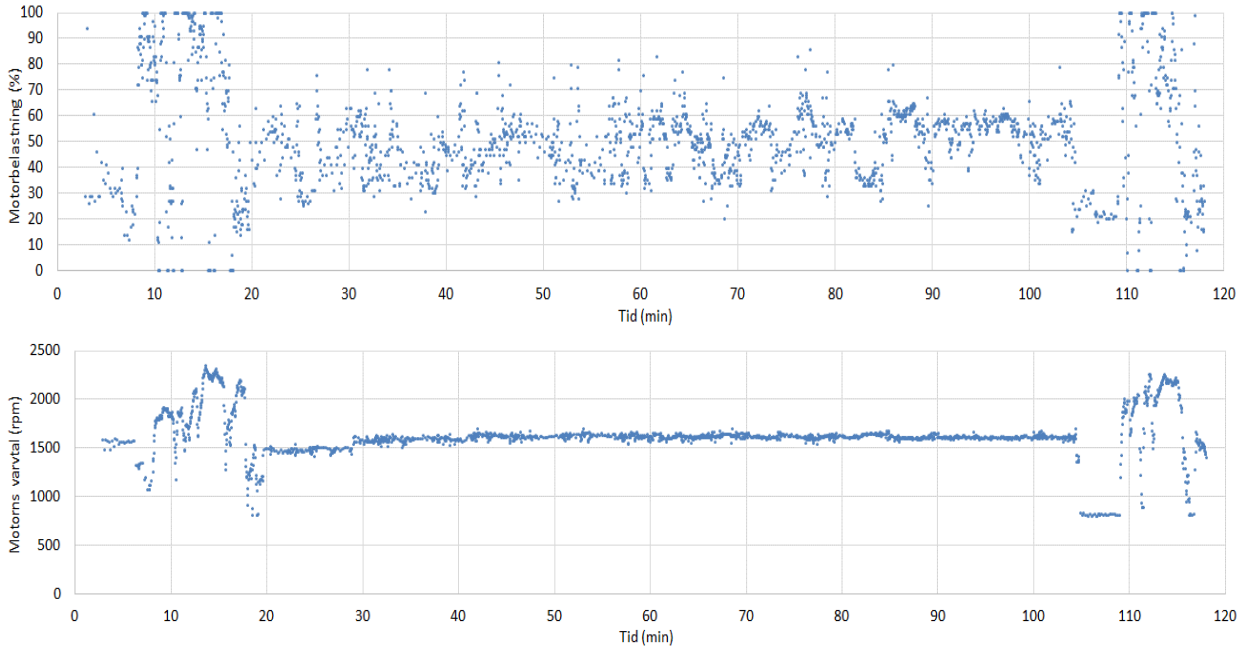
1600 rpm under slåtter (figur 12). Generellt kan man konstatera att variationerna i utdata, med den tidsupplösning som användes vid mätningarna, var stora.



Figur 10. Körhastighet (km/tim; överst) och förflyttad sträcka (m; nederst) vid transport till slåtterplats, slåtter samt transport till tömningsplats för lass 1 den 20 maj 2022.



Figur 11. Bränsleförbrukning (l/tim; överst) och ackumulerad bränsleförbrukning (l; nederst) för transport till slåtterplats, slåtter samt transport till tömningsplats för lass 1 den 20 maj 2022.



Figur 12. Motorbelastning (%; överst) och motorns varvtal (rpm; nederst) för transport till slåtterplats, slåtter samt transport till tömningsplats för lass 1 den 20 maj 2022.

För lass 1 var den genomsnittliga biomassamängden 0,49 kg per sträckmeter vid antagen effektiv slåtterbredd på 1,30 m. Tidsåtgången för enbart slåtter (inkl ställ- och stopptider) var totalt 90 minuter och bränslebehovet 19,7 liter, eller 31,1 min/ton respektive 6,8 liter/ton (tabell 4). Lass nr 3 hade stora avvikelser jämfört med lass nr 1 och 2 när det gäller körd sträcka, tidsåtgång och bränslemängd (tabell 4). Biomassamängden per sträckmeter var ungefär 3,5 ggr mindre, medan tidsåtgång och bränslebehov per ton skördad mängd var ca 3,5 ggr högre.

Tabell 4. Prestanda-data för de tre lass som skördades och levererades till Jordberga den 20 maj 2022. Uppgifterna gäller enbart för slåtter, inkl. stopp när slår och ställtider före och efter slåtter, exkl. förberedelser på morgonen, transporter, tömning och lunchpaus

Lass #	Leverans-tid (kl.)	Lass-vikt (kg)	Slåtter sträck (m)	Tids-åtgång (min)	Bränsle (liter)	Bio-massa (kg/m)	Tid / ton (min/t)	Kör-hastigh. (km/tim)	Bränsle per ton (l/ton)
1	09:43:15	2 900	5 951	90	19,7	0,49	31,1	4,0	6,81
2	11:01:39	1 540	3 333	55	11,5	0,46	35,6	3,7	7,47
3	14:21:15	1 400	10 737	140	34,1	0,13	99,8	4,6	24,39
Tot		5 840	20 022	285	65,4				

Körd sträcka, tidsåtgång och bränsleförbrukning för transportarbetet (inkl tid för tömning) under den 20 maj 2022 redovisas i tabell 5. Värdena avser transport från hemmastationen (inkl förberedelsetid på morgonen) till den första slåtterplatsen under dagen, och därefter transporter till och från Jordberga för tömning, samt dagens sista transport från Jordberga till hemmastationen. Den totala transport-sträckan uppgick till 29 km den 20:e maj. Totalt under dagen var det sju transport-sträckor med en genomsnittlig körhastighet (på väg) på 25,7 km/tim. Den totala sträckan som maskinen förflyttade sig (inkl slåtter) den 20 maj var 49 km, varav slåtterarbetet svarade för ca 40 % (figur 13). När det gäller tidsåtgång och bränsleförbrukning, svarade slåtterarbetet för 68 % resp 75 % av den totala summan under dagen. När det gäller tidsåtgången för tömning vid Gasums anläggning, var den beroende av om det var köbildning, vilket framförallt uppstod när stora lastbilar skulle lasta av. Föraren kunde få vänta 15-20 minuter innan det blev dags för avlastning.

Tabell 5. Körd sträcka, tidsåtgång och bränsleförbrukning för alla transporter, inkl. tömning vid Jordberga, för vägkantskörd den 20 maj 2022 (exkl. ställtider före och efter slåtter, inkl. förberedelsetid på morgonen)

Lass nr	Aktivitet	Sträcka (m)	Tidsåtgång (min)	Bränsleförbrukn. (liter)
1	Från hemmastation till slåtterplats	5 152	19	5,2
	Från slåtterplats till Jordberga	3 487	8	2,4
2	Från Jordberga till slåtterplats	3 320	19	2,7
	Från slåtterplats till Jordberga	1 347	5	0,9
3	Från Jordberga till slåtterplats	4 335	19	2,9
	Från slåtterplats till Jordberga	3 685	9	2,7
	Från Jordberga till hemmastation	7 671	26	4,8
Summa		28 997	104	21,7

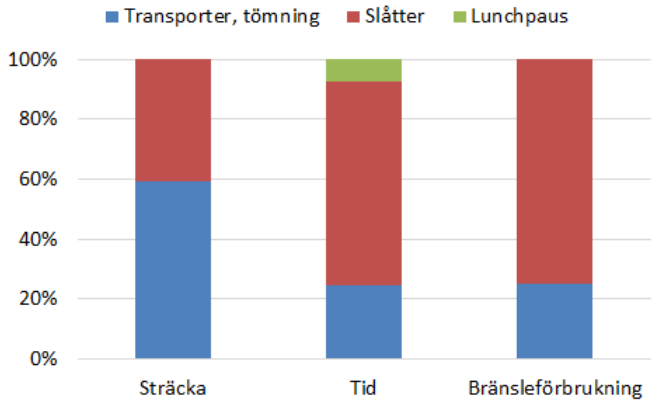


Fig. 13. Procentuell fördelning av körd sträcka, tidsåtgång och bränsleförbrukning för olika aktiviteter vid vägkantskörd den 20 maj 2022.

Under slåtterarbetet har tre olika typer av stillestånd identifierats; ställtid före slåtter, avbrott under slåtter och ställtid efter slåtter. ”Ställtid före slåtter” inleds när körhastigheten (efter transport till slåtterplatsen) har blivit 0 km/tim, motorvarvtalet är under 1000 rpm och motorbelastningen i regel under ca 40 %. Ställtid före slåtter avslutas när körhastigheten >0 km/tim och motorns varvtal är minst 1500 rpm. ”Avbrott under slåtter” har definierats utifrån körhastighet (= 0 km/tim) och motorns varvtal (i regel minst ca 1500 rpm) och avser alla stopp från det att ”ställtid före slåtter” har avslutats tills ”ställtid efter slåtter” har inletts. ”Ställtid efter slåtter” inleds när körhastigheten är 0 km/tim och motorns varvtal (i regel) är under 1000 rpm, och avslutas när körhastigheten blir > 0 km/tim.

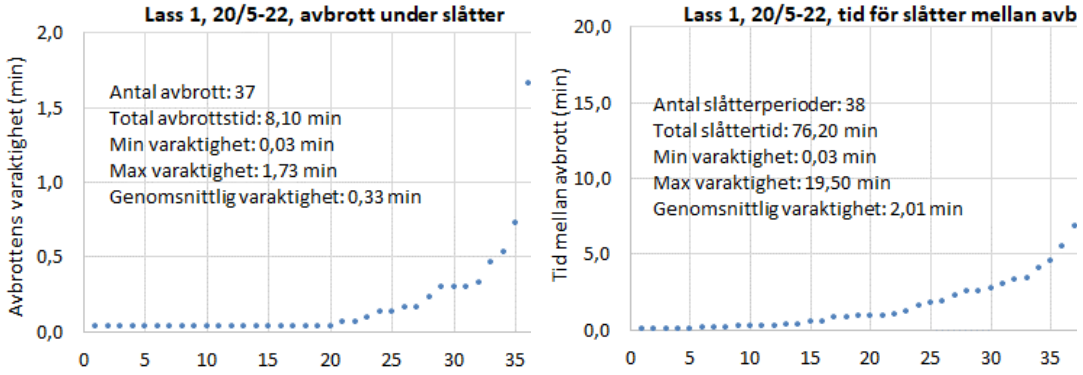
Ställtiderna inkluderar tid för bl.a. nedsänkning, klargöring och uppstart av slåtteraggregatet, samt eventuell rengöring, etc. av utrustningen efter avslutat arbete. Ställtiden före slåtter var kortare än ställtiden efter slåtter (tabell 6). Den genomsnittliga körhastigheten (exkl avbrott, dvs. när maskinen verkligen rörde sig)

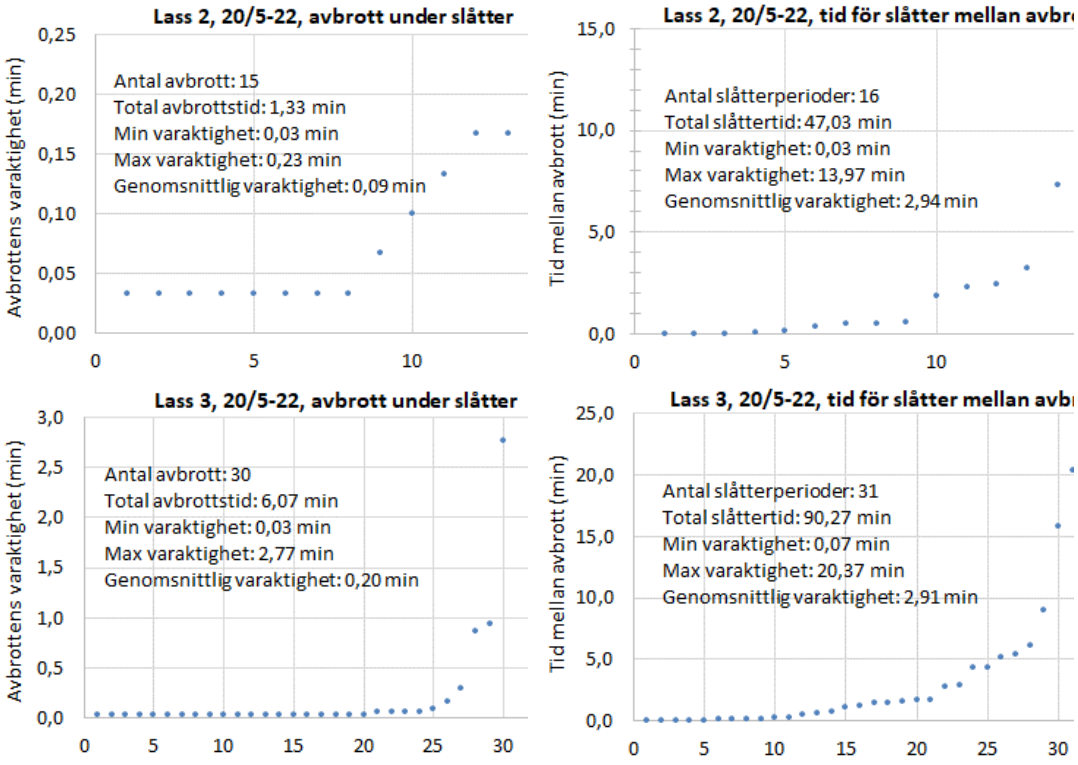
varierade från 4,3 km/tim (lass 2) till 7,1 km/tim (lass 3). Antalet avbrott under slåtter varierade från 15 (lass 2) till 37 (lass 1) (tabell 6).

Tabell 6. Antal och total varaktighet för ställtider, avbrott och perioder med maskinen i arbete, samt genomsnittlig körhastighet under slåtter (exkl ställtider och tid för avbrott), för lassen den 20 maj 2022

Lass nr	Ställtid före slåtter		Ställtid efter slåtter		Avbrott under slåtter		Maskinen i arbete (mellan avbrotten)		Körhastigh. under slåtter
	Antal	Total tid (min)	Antal	Total tid (min)	Antal	Total tid (min)	Antal	Total tid (min)	(km/tim)
1	1	1,17	1	4,63	37	8,10	38	76,20	4,7
2	1	0,73	1	5,67	15	1,33	16	47,03	4,3
3	1	3,63	1	6,07	30	6,07	31	90,27	7,1

Avbrott under slåtter kan bero på en mängd olika faktorer. Det kan uppstå problem med maskinen (till exempel stopp i den sug- och blåsanordning som blåste in materialet i vagnen), eller på grund av hinder vid vägbanan (stolpe, stor sten, parkerad bil, brevlådor, etc), eller att föraren måste stanna och släppa förbi en bil som hindrats att köra om, eller vid vändning för slåtter på vägens andra sida. Med hjälp av Logmaster-data har vi kunnat uppskatta hur frekventa avbrotten har varit och vilken varaktighet de har haft. Detta innebär att vi också har kunnat få fram varaktigheten för när maskinen har varit i arbete mellan avbrotten. Den genomsnittliga varaktigheten för avbrotten var 0,33 min, 0,09 min och 0,20 min för lassen 1, 2 och 3, medan motsvarande varaktighet för slåtter mellan avbrotten för dessa lass var 2,01 min, 2,94 min samt 2,91 min (figur 14).





Figur 14. Avbrottstider sorterade efter ökande varaktighet (t.v.) och slåtterperioder däremellan sorterade efter ökande varaktighet (t.h.) vid skörd den 20 maj 2022 (lass 1- överst, lass 2 – mellan, lass 3 - underst).

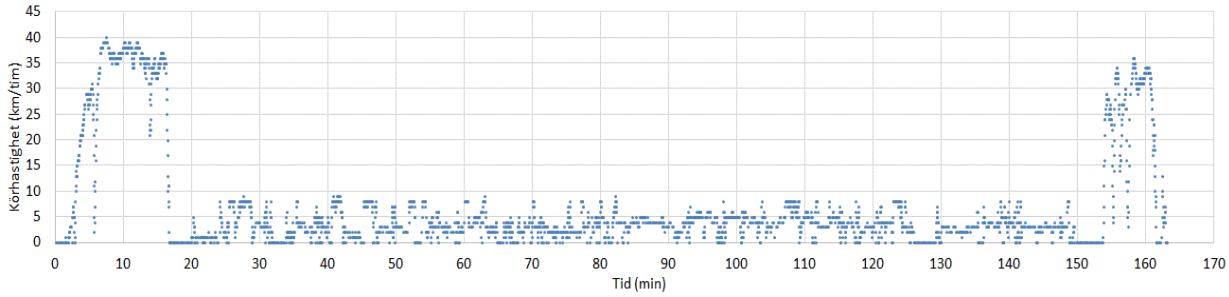
Detaljstudie av slåtter med direktleverans den 25 maj

Rutterna under den 25 maj 2022 visas i figur 15. Under denna dag skördades och levererades tre lass med en total vikt på 6,5 ton (tabell 6) och en total slåttersträcka på 13,8 km (tabell 6)

Figur 15. Körrutter under den 25 maj 2022. Röda linjer betecknar transportsträckor och blå linjer slåttersträckor.

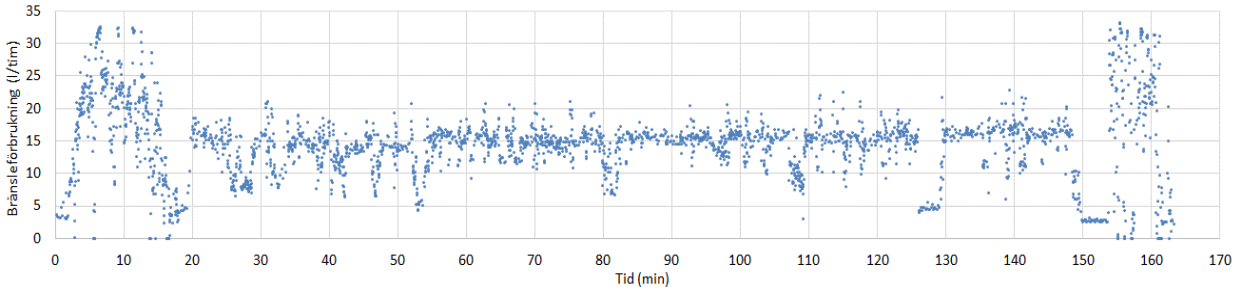
Ett exempel på maskindata för det första lasset den 25 maj 2022 visas i figurerna 16-17. Kl. 7:00:00 har redskapsbäraren startats, och kl. 7:02:52 lämnar den Maryhill för att köra till Annexdal, där den börjar slå kl. 7:20:00 söderut längs vägen efter att ha stått stilla under drygt 3 minuter för förberedelser (ställtid).

Motorvarvtalet ligger nu på ca 1500 varv/min, men maskinen råkar ut för flera stopp (körhastigheten varierar från 0 km/tim till 8 km/tim) av varierande tidslängd. Ett längre stopp på ca 3 minuter förekommer t.ex. vid tiden 125 min (se figur 17) i samband med att maskinen passerar byn Annexdal (slår nu norrut längs vägen). Vid tiden 09:29:34 avslutas slåttern, och det blir en ställtid på ca 4 minuter innan maskinen börjar röra sig mot Jordberga för tömning av lasset. Transporthastigheten är ca 30 km/tim (figur 16), med några korta stopp vid vägkorsningar. Kl. 09:43:12 är lasset tömt, vägt (2700 kg) och registrerat av Gasum på Jordberga.



Figur 16. Körhastighet (km/tim)vid transport till slåtterplats, slåtter samt transport till tömningsplats för lass 1 den 25 maj 2022.

Under slåttern har (den ”momentana”) bränsleförbrukningen legat kring 15 l/tim (figur 17). Den ackumulerade bränsleförbrukningen för detta lass för slåtter, inkl. stopp och ställtider, exkl. transporter till slåtterplats och tömningsplats, var 32 liter eller 11,7 liter/ton (tabell 6). Sträckan som slåddes var 6998 m, vilket i genomsnitt innebar 0,39 kg gräs per meter. Tidsåtgången för slåtter, inkl stopp och ställtider, var 137 minuter, vilket motsvarar 50,7 min/ton och en genomsnittlig hastighet på 3,1 km/tim (tabell 6).



Figur 17. Bränsleförbrukning (l/tim) för transport till slåtterplats, slåtter samt transport till tömningsplats för lass 1 den 25 maj 2022.

Tabell 6. Prestanda-data för de tre lass som skördades och levererades till Jordberga den 25 maj 2022. Uppgifterna gäller enbart för slåtter, inkl. stopp när slår och ställtider före och efter slåtter, exkl. förberedelser på morgonen, transporter, tömning och lunchpaus

Lass nr	Leverans-tid (kl.)	Lass-vikt (kg)	Slådd sträck (m)	Tids-åtgång (min)	Bränsle (liter)	Bio-massa (kg/m)	Tid / ton (min/t)	Kör-hastigh. (km/tim)	Bränsle per ton (l/ton)
1	09:43:12	2 700	6 998	137	32	0,39	50,7	3,1	11,74
2	12:11:26	2 500	3 480	81	20	0,72	32,2	2,6	8,09
3	14:59:55	1 300	3 342	55	15	0,39	41,9	3,7	11,34
Tot		6 500	13 820	272	67				

Jämfört med den 20 maj 2022 (figur 13), blev transportsträckorna betydligt längre än de slådda sträckorna den 25 maj 2022 (de svarade för 84 % av den totala sträckan), se figur 18. Även transporternas andel av total arbetstid och bränsleförbrukning var högre den 25 maj jämfört med den 20 maj.

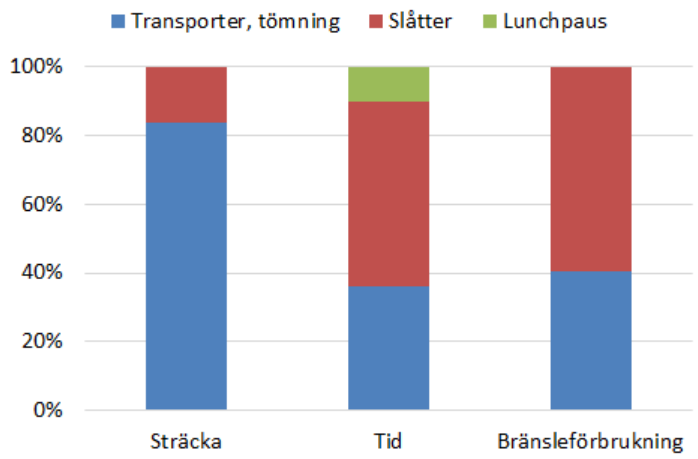


Fig. 18. Procentuell fördelning av körd sträcka, tidsåtgång och bränsleförbrukning för olika aktiviteter vid vägkantskörd den 25 maj 2022.

Den totala transportsträckan (exklusive slåttrad sträcka) den 25 maj var 70,8 km (tabell 7). Notera att det fanns två slåtterplatser för lass två; först en kort sträcka norr om Annexdal, och därefter en längre sträcka väster om Östra Torp (figur 15). Notera också att det gjordes ett besök vid hemmastationen (Maryhill) innan lass 3 levererades till Jordberga. Totalt under dagen var det nio transportsträckor med en genomsnittlig körhastighet (på väg) på 29,2 km/tim.

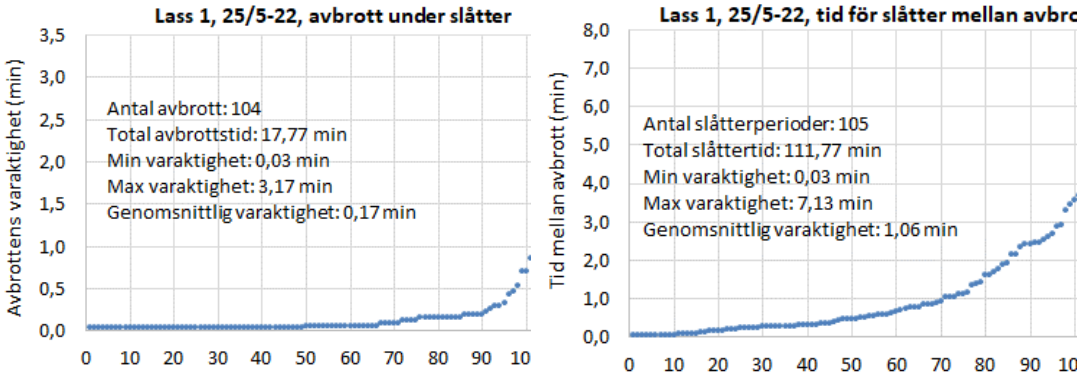
Tabell 7. Körd sträcka, tidsåtgång och bränsleförbrukning för alla transporter, inkl. tömning vid Jordberga, för vägkantskörd den 25 maj 2022 (exkl. ställtider före och efter slåtter, inkl. förberedelsetid på morgonen)

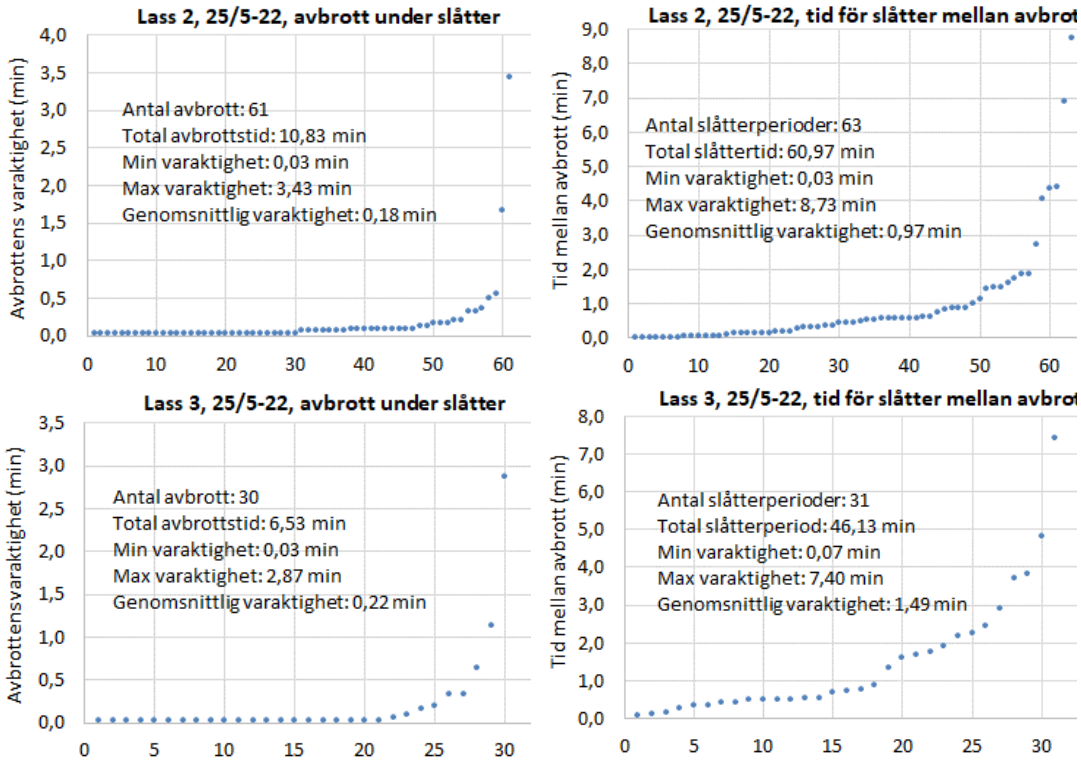
Lass nr	Aktivitet	Sträcka (m)	Tidsåtgång (min)	Bränsleförbrukn. (liter)
1	Från hemmastation till slåtterplats	7 408	17	4,6
	Från slåtterplats till Jordberga	3 434	10	2,7
2	Från Jordberga till slåtterplats(er)	16 595	45	9,9
	Från slåtterplats till Jordberga	11 129	22	7,5
3	Från Jordberga till slåtterplats	12 067	36	8
	Från slåtterplats till Jordberga	12 570	26	8
	Från Jordberga till hemmastation	7 580	25	4,7
Summa		70 783	182	45,6

Slåttern vid fyllning av lass 3 hade färre avbrott och samtidigt högre körhastighet och längre genomsnittlig tid för avbrottsfri slåtter, jämfört med för lassen 1 och 2 (tabell 8) (figur 19). Denna skillnad kvarstår även när man beaktar att lass 3 bara hade ungefär hälften så stor mängd biomassa som lassen 1 och 2.

Tabell 8. Antal och total varaktighet för ställtider, avbrott och perioder med maskinen i arbete, samt genomsnittlig körhastighet under slåtter (exkl ställtider och tid för avbrott), för lassen den 25 maj 2022

Lass nr	Ställtid före slåtter		Ställtid efter slåtter		Avbrott under slåtter		Maskinen i arbete (mellan avbrotten)		Körhastigh. under slåtter
	Antal	Total tid (min)	Antal	Total tid (min)	Antal	Total tid (min)	Antal	Total tid (min)	(km/tim)
1	1	3,27	1	4,17	104	17,77	105	111,77	3,8
2	2	3,87	2	5,00	61	10,83	63	60,97	3,4
3	1	0,93	1	0,83	30	6,53	31	46,13	4,3





Figur 19. Avbrott sorterade efter ökande varaktighet (t.v.) och slåtterperioder däremellan sorterade efter ökande varaktighet (t.h.) vid skörd den 25 maj 2022 (lass 1 - överst, lass 2 – mellan, lass 3 - underst).

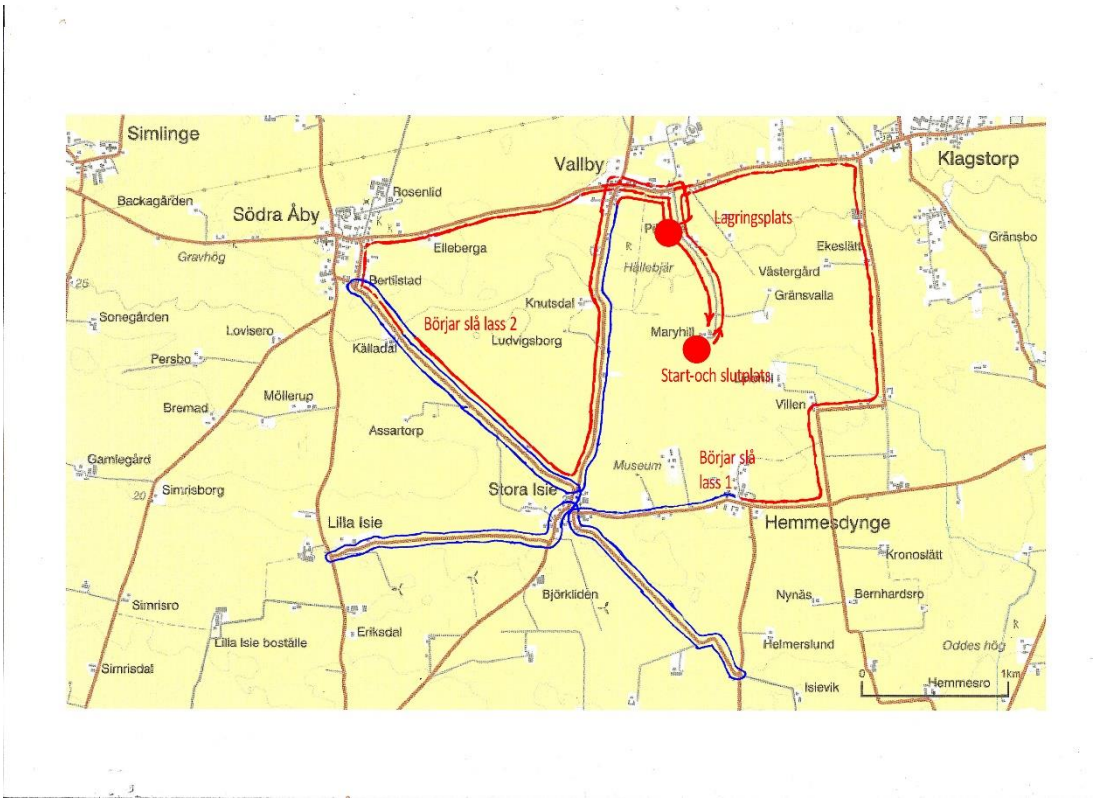
Slåtter med mellanlagring den 30 maj

Fr.o.m. den 30 maj till den 8 juni mellanlagrades all skördad biomassa, och transporterades sedan till Jordberga i totalt tre lass (sista leveransen gjordes den 9 juni). Den 30 maj gjordes två tömningar vid mellanlagret, som låg strax söder om Vallby. Eftersom vikten inte vägdes vid tippningen, är det okänt hur mycket biomassa som samlades in den dagen. Tömningen av de två lassen tog 5,0 resp 4,4 minuter (den tid som redskapsbäraren stod stilla). Arbetet under den 30 maj sammanfattas i tabell 9, och körrutterna visas i figur 20. Total sträcka som skördades var 14,2 km och de totala transportsträckorna var 14,8 km (inkl korta transporter på t.ex. gårdsplan och tömningsplats).

Tabell 9. Tidsåtgång, körd sträcka och bränsleförbrukning för olika aktiviteter under den 30 maj 2023

Aktivitet	Tidsåtgång (min)	Sträcka (m)	Bränsleförbrukning (liter)
Ställtid före start	2,3	35	0,2
Transport till slåtter	11.4	5806	4.1

Aktivitet	Tidsåtgång (min)	Sträcka (m)	Bränsleförbrukning (liter)
Ställtid före slåtter	6.1	17	0.7
Slåtter	150.2	9266	34.5
Ställtid efter slåtter	3.4	3	0.3
Transport inkl tömning	21.9	7244	5.2
Ställtid före slåtter	1.3	2	0.2
Slåtter	66.1	4959	20.0
Ställtid efter slåtter	0.9	2	0.1
Transport inkl tömning	9.5	1619	1.4
Ställtid arbetsdagens slut	4.6	44	0.3
Summa	277,7	28 996	66,9



Figur 20. Körrutter under den 30 maj 2022. Röda linjer betecknar transportsträckor och blå linjer slåttersträckor.

Ungefär hälften av den körda sträckan ägnades åt slåtter, medan ca 82 % av tiden och 83 % av bränsleförbrukningen kan hänföras till slåtterarbetet (figur 21). Jämfört med den 20 (figur 13) och den 25 maj (figur18), då lassen levererades direkt, var alltså utnyttjandet av slåtteraggregatet högre den 30 maj (figur 21). Totalt under dagen var det fem transportsträckor med en genomsnittlig körhastighet (på väg) på 26,7 km/tim.

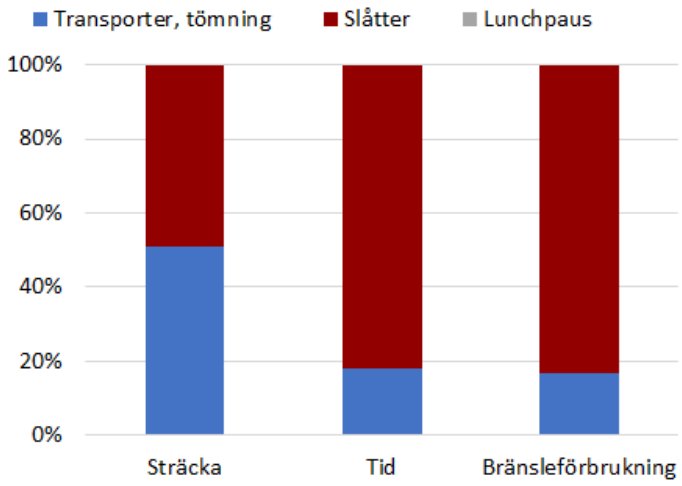


Fig. 21. Procentuell fördelning av körd sträcka, tidsåtgång och bränsleförbrukning för olika aktiviteter vid vägkantskörd med mellanlagring den 30 maj 2022.

Tidsåtgång, körda sträckor och bränsleåtgång för transport av ett lass med vägkantsgräs, från mellanlagringsplatsen Vallby till biogasanläggningen i Jordberga, visas i tabell 10. Lagret, som låg strax sydost om Vallby, fylldes på med biomassa som hade slagits av den 30 maj och den 1-3 juni. Lasset levererades den 3 juni och hade en biomassavikt på 10,2 ton (se tabell 10). Det har antagits att både lastmaskin och transportekipage har utgått från Maryhill. Vidare antogs att det tog 20 minuter att lasta lasset och 15 minuter för avlastning (inkl. ev. kötid). Transporthastigheten på väg var 27 km/tim, vilket är ett genomsnitt för vägtransporterna under 20, 25 och 30 maj. Resultaten för den 20, 25 och 30 maj ovan har visat att ställtiderna är viktiga att beakta, och antagna värden är därför också medtagna i tabell 10.

Tabell 10. Tidsåtgång (manminuter), körd sträcka (m) och bränsleåtgång (liter) för hantering och transport av ett lass biomassa (10,2 ton) från mellanlagringsplats (Vallby) till biogasanläggning (Gasum Jordberga)

	Tidsåtgång (manmin)	Körd sträcka (km)	Bränsleåtgång (liter)
Transport till lagringsplats (Vallby)	4[a]+2[b]	1,8[a]+0,9[b]	1,9[f]
Lastning Vallby	40[c]	0	3,5[g]
Transport till Jordberga	16[d]	7,1	5,3[f]
Avlastning Jordberga	15	0	0,2[g]
Transport från Jordberga	18[d]	8,0	5,6[f]
Totala ställtider	44[e]	0	0
Summa	139	16,0	16,5

[a] lastmaskin t.o.r., genomsnittlig körhastighet 27 km/tim.
[b] transportekipage, enkel resa, genomsnittlig körhastighet 27 km/tim.
[c] 2 personer · 20 min/lass = 40 manmin.
[d] genomsnittlig körhastighet 27 km/tim (transport på väg; genomsnitt för 20, 25 och 30 maj).
[e] 2·8 (före start) + 2·2·4 (före och efter lastning) + 2·4 (före och efter avlastning) + 2·2 (efter arbetet) = 44 manmin.
[f] genomsnittl bränsleförbr 0,70 l/km vid tom vagn och 0,74 l/km vid full vagn (Logmasterdata), 0,70 l/km för lastare t.o.r.
[g] uppskattat värde.

Med ovan angivna förutsättningar, tog det totalt 139 manminuter (2,3 mantimmar) att lasta och leverera detta lass till Jordberga. Transportavstånden för detta mellanlager var relativt korta (totalt 16 km för transportekipaget).

Sammanfattande prestandaresultat för våren 2022 och för hela året 2022

För våren 2022 var den totala tidsåtgången 89 timmar, den totala körsträckan 654 km och den totala bränsleåtgången 1187 liter, för att skörda och leverera 61,7 ton vägkantsgräs (tabell 11). Detta innebär att den genomsnittliga bränsleförbrukningen var 19 liter per ton, eller 13 liter per timme. Det genomsnittliga arbetsbehovet var 1,4 timmar per ton (inkl alla arbetsoperationer) och total sträcka dividerad med total mängd var 10,6 km per ton.

Tabell 11. Sammanfattning av resultat för slåtter under våren 2022

Datum	Total tidsåtgång[a] (timmar[b])	Total körd sträcka (km)	Total bränsle-förbrukning (liter)	Levererad mängd (antal lass) (kg)
18 maj	9,0	38,1	110,7	3 100 (1)
19 maj	7,0	45,9	92,9	7 680 (3)
20 maj	6,5	49,0	87,1	5 840 (3)
23 maj	8,5	60,3	123,0	8 000 (3)
24 maj	3,4	29,1	48,2	3 100 (1)
25 maj	7,6	84,6	112,3	6 500 (3)
30 maj	4,6	29,0	66,9	-
1 juni	3,2	34,2	49,5	-
2 juni	9,7	79,1	141,8	-
3 juni	7,1+2,3[c]	58,3+17,8[c]	105,6+16,5[c]	10 240 (1)
7 juni	8,6	47,0	119,8	-
8 juni	3,7+2,7[c]	31,1+27,7[c]	50,6+23,5[c]	7 440 (1)
9 juni	3,5[c]	48,7[c]	38,9[c]	9 840 (1)
Summa	87,4	680	1 187	61 740 (17)

a) Exkl lunchpauser.
b) Antalet mantimmar uttryckta i decimaltal.
c) För hantering och transport av mellanlagrat material (se tabellerna x och x).

För hantering och transport av biomassa från övriga mellanlagringsplatser har dataunderlaget i tabell 11 använts i tabell 12. Sannolikt transporterades 10,2 ton från mellanlagret utanför Vallby den 3 juni, 7,4 ton den 8 juni från Södra Åby, 9,8 ton den 9 juni från Gislöv, 8,3 ton den 14 juli från Vallby, 6,0 ton den 14 juli från Gislöv och 10,2 ton den 10 okt från Vallby (en viss osäkerhet råder ang. vilken plats gräset hämtades från under de aktuella dagarna, men detta har ingen betydelse för det totala resultatet). Samma antaganden om ställtider, körhastighet, bränsleförbrukning med mera som gäller för tabell 11 gäller också för tabell 12.

Tabell 12. Tidsåtgång (manminuter), körda sträckor (m) och bränsleåtgång (liter) för transport av ett lass biomassa (9,2 ton) från mellanlagringsplatserna Södra Åby och Gislöv till biogasanläggningen i Gasum Jordberga. Samma lastnings-, lossnings- och ställtider, samt bränsleåtgång, körhastigheter, som i tabell 11 har använts

	Tidsåtgång (manmin)	Sträcka (km)	Bränsleåtgång (liter)
Mellanlagringsplats Södra Åby			
Transport till lagringsplats	23	3,5+3,5+3,5	7,4
Lastning	40	0	3,5
Transport till Jordberga	20	9,2	6,8
Avlastning Jordberga	15	0	0,2
Transport från Jordberga	18	8,0	5,6
Totala ställtider	44	0	0
Summa	160	27,7	23,5
Mellanlagringsplats Gislöv			
Transport till lagringsplats	59	8,8+8,8+8,8	18,6
Lastning	40	0	3,5
Transport till Jordberga	32	14,3	11
Avlastning Jordberga	15	0	0,2
Transport från Jordberga	18	8,0	5,6
Totala ställtider	44	0	0
Summa	208	48,7	38,9

Terranor AB hade också ett GPS-system (BM System) monterat på slåtterekipaget och som registrerade körda sträckor med en indelning av slåtter och transporter samt övrig tid utifrån körhastigheterna. En jämförelse har gjorts mellan de uppskattningar av körda sträckor som gjordes med hjälp av Logmasterdata ovan och med de data som har uppmätts med hjälp av BM System. För de tre dagar (20, 25, 30 maj) som studerades i detalj med hjälp av Logmasterdata, var den totala skördade sträckan 6,9 % högre jämfört med BM System, medan transport-sträckorna var 1,1 % lägre jämfört med BM Systems data (tabell 13). Sträckorna för slåtter för Logmaster-alternativet baserades på (momentana) data för varvtal och körhastighet, samt klockslag (sekunder) och ekvation 1. Även tidsåtgången skiljer en del, särskilt när det gäller för transporter. En orsak kan vara att lunchpauser inte är inräknade i Logmaster-alternativet.

Tabell 13. Jämförelse av resultaten för slåtter resp. transporter mellan Logmaster- och BM System-data för den 20, 25 och 30 maj, samt total summa för hela vårskörden (exkl transporter för mellanlagrat material)

Skördedatum	Slåtter				Transporter			
	Logmaster[a]		BM System		Logmaster[b]		BM System	
	Tid (min)	Sträcka (km)	Tid (min)	Sträcka (km)	Tid (min)	Sträcka (km)	Tid (min)	Sträcka (km)
20 maj	285	20,0	318	19,6	104	29,0	149	29,2
25 maj	272	13,8	272	11,6	182	70,8	232	71,9
30 maj	228	14,2	229	13,7	50	14,8	47	14,8
Summa	785	48,0	819	44,9	336	114,6	428	115,9
Summa våren-22			3 640	151			1 430	438

[a] inkl ställtider före och efter slåtter
[b] inkl ställtider vid dagens början och slut, exkl lunchpauser

Eftersom det var tidskrävande att ta fram data med hjälp av Logmaster för hela året 2022, och eftersom skillnaderna mellan mätmetoderna ansågs vara acceptabla, har data från BM System använts för att få fram prestanda-data för alla tre skörde-perioderna under 2023 (tabell 13).

Av tabell 14 framgår att totalt tidsbehov per ton biomassa var 1,7 tim/ton och att total bränsleåtgång per ton biomassa var ca 20 liter/ton. Man också konstatera att det var stora skillnader mellan de olika skördeperioderna; för vårskörden var total tids- och bränsleåtgång 1,5 tim/ton resp. 15,7 liter/ton, medan motsvarande värden för höstskörden var 2,7 tim/ton resp. 33,5 liter/ton. Skördad sträcka var samtidigt 151 km för vårskörden, medan den var 209 km för höstskörden. En viktig förklaring till skillnaderna är att biomassaskörden var betydligt lägre under höstskörden; 31 640 kg / 209 000 m = 0,15 kg/m, medan den var 61 740 kg / 151 000 m = 0,41 kg/m under vårskörden. Med en antagen effektiv slåtterbredd på 1,30 m (maximal arbetsbredd var 1,5 m), blir detta 2,0 resp. 5,3 ton (våtvikt) per ha.

Tabell 14. Tidsåtgång och sträckor för slåtter resp. transporter för samtliga skördeperioder under 2022 (data från BM System), samt bränsleåtgång (liter per km baserat på Logmaster-data; genomsnitt för 20, 25 och 30 maj))

Skörde-period	Levererad mängd	Slåtter		Transporter		Bränsleåtgång		
	(kg)	Tid (tim)	Sträcka (km)	Tid[a] (tim)	Sträcka[a] (km)	Slåtter[b] (liter)	Trpt[c] (liter)	S:a (liter)
Vår	61 740	60,8	151	23,9+8,5	438+94	587	302+79	968
Sommar	62 300	57,1	204	25,1+5,8	406+66	794	280+55	1 129
Höst	31 640	65,0	209	19,6+2,3	333+18	813	230+16	1 059
Summa	155 680	182,9	564	68,6+16,6	1177+178	2 194	812+150	3 156

[a] BM System data + data för mellanlagring (tabellerna 10,12).
[b] har använt genomsnittlig bränsleförbrukning för 20, 25, 30 maj: (65,4+67,0+54,5) / (20,0+13,8+14,2) = 3,89 l/km
[c] har använt genomsnittlig bränsleförbrukning för 20, 25, 30 maj: (21,7+45,6+11,2) / (29,0+70,8+14,7) = 0,69 l/km. Data från BM System + data för mellanlagring (tabellerna 10,12).

KOSTNADSBERÄKNINGAR

Förutsättningar och antaganden

Förarkostnaden har antagits vara 320 kr/tim (Maskinkalkylgruppen, 2023). Dieselkostnaden har varierat starkt under den senaste tiden, men här har vi i grundscenariot satt det till 19 kr/liter (MK2, exkl moms), vilket ger ett pris vid pump på knappt 24 kr/liter (Ekonomifakta, 2023).

Timkostnader har räknats fram för redskapsbäraren och vagnen, eftersom dessa antas ha alternativa arbetsuppgifter. Därmed är deras timkostnader i huvudsak inte beroende av hur många timmar de används för skörd av vägkantsgräs. Även kostnaderna för lastmaskin och transportekipage vid mellanlagring baserades av samma skäl på fasta timkostnader.

Entreprenören som skördade under år 2022 genomförde flera anpassningar av sin utrustning för att den skulle fungera bra vid arbetet. Kostnadsberäkningarna nedan förutsätter att det inte finns några sådana extra kostnader för att åtgärda tekniska ”barnsjukdomar”.

Återanskaffningsvärdet för en redskapsbärare med kranarm, motsvarande en Energreen ILF 1500 på 130 kW, har uppskattats till 1,8 milj kr. Redskapsbäraren antas ha en kalkylperiod på 10 år, en årlig användningstid på 750 timmar och ett restvärde på 25 %. Utifrån uppgifter från Maskinkalkylgruppen och HIR Skåne (2023), har det antagits en realränta på 2 % (denna ränta har använts för all utrustning), en förvaringskostnad på 120 kr/m² och en försäkringskostnad per år på 0,3 % av återanskaffningsvärdet, samt en underhållskostnad på 0,07 kr per timme och 1000 kr återanskaffningsvärde (Hörndahl, 2023). Sammantaget ger detta en timkostnad på 346 kr (exkl. förare och bränsle).

Återanskaffningsvärdet för en vagn motsvarande den som användes i Söderslätt uppskattades till 200 000 kr. Timkostnaden för en liknande vagn (med en antagen något högre årlig användning än normalt) är enligt Maskinkalkylgruppen och HIR Skåne (2023) ca 140 kr.

Slåtteraggregatet och övrig utrustning (sugfläkt, sugslangmed mera) antogs enbart användas för slåtter av vägkantgräs. Timkostnaden blir därför beroende av den årliga användningstiden. Slåtteraggregat inklusive sugfläkt med mera hade ett uppskattat återanskaffningsvärde på 250 000 kr, en kalkylperiod på 10 år och ett restvärde på 15 %. Förvaringskostnaden antogs vara 120 kr/m², försäkrings-kostnaden per år 0,1 % av återanskaffningsvärdet (Maskinkalkylgruppen, 2023), och underhållskostnaden 0,70 kr per timme och 1000 kr återanskaffningsvärde (Hörndahl, 2023). Vid en genomsnittlig årlig användningstid på till exempel 250 timmar blir timkostnaden 277 kr.

Maskinkostnaderna (d.v.s. exkl. förare och bränsle) för lastning och transport från mellanlagren har tagits från (Maskinkalkylgruppen, 2023): lastmaskin (110 hk) 208 kr/timme, traktor (162 hk) 264 kr/timme och vagn (15 ton) 150 kr/timme.

Kostnader för skörd under våren 2022

De totala kostnaderna för skörd av vägkantgräs i Söderslätt under våren 2022 beräknades till 113 700 kr (tabell 15). Detta innebär en kostnad på 1,84 kr per kg levererad biomassa. Vid en skördad sträcka på totalt 151 km (tabell 13), blir totala kostnaden 753 kr per km. Observera att kostnader för administration och övergripande planering, samt vinstkrav, etc., ej är medtagna.

Tabell 15. Totala kostnader för skörd av vägkantgräs i Söderslätt våren 2022

Kostnadspost	kostnad	Antal	Summa (kr)
Arbete	320 kr/timme	87,4 timmar	27 970
Diesel	19 kr/liter	1 187 liter	22 600
Redskapsbärare inkl kran	346 kr/timme	78,9 timmar[b]	27 300
Uppsamlingsvagn	140 kr/timme	78,9 timmar[b]	11 050
Slåtteraggregat	277 kr/timme[a]	78,9 timmar[b]	21 860
Lastmaskin	208 kr/timme	2,9 timmar	600
Transporttraktor	264 kr/timme	5,6 timmar	1 480
Transportvagn	150 kr/timme	5,6 timmar	840
Summa			113 700

[a] timkostnad vid en genomsnittlig årlig användningstid på 250 timmar
[b] alla timmar exkl transporter av mellanlagrat gräs

Kostnader för alla skördetillfällen under 2022

Totala kostnaderna för skörden under hela år 2022 blev 350 000 kr, vilket innebär 2,25 kr per kg levererad biomassa, eller 621 kr per skördad km (totalt 564 km enligt tabell 14).

Tabell 16. Totala kostnader för skörd av vägkantgräs i Söderslätt under 2022

Kostnadspost	kostnad	Antal	Summa (kr)
Arbete	320 kr/timme	268 timmar[b]	85 800
Diesel	19 kr/liter	13 l/tim[c], 268 tim	66 200
Redskapsbärare inkl kran	346 kr/timme	252 timmar[d]	87 200
Uppsamlingsvagn	140 kr/timme	252 timmar[d]	35 300
Slåtteraggregat	277 kr/timme[a]	252 timmar[d]	69 800
Lastmaskin	208 kr/timme	5,6 timmar[e]	1 200

Kostnadspost	kostnad	Antal	Summa (kr)
Transporttraktor	264 kr/timme	11 timmar[f]	2 900
Transportvagn	150 kr/timme	11 timmar[f]	1 600
Summa			350 000

[a] timkostnad vid en genomsnittlig årlig användningstid på 250 timmar.
[b] alla timmar inkl transporter av mellanlagrat gräs.
[c] genomsnitt för vårskörden.
[d] alla timmar exkl transporter av mellanlagrat gräs.
[e] för resp skördetillfälle: 2,9+2,0+0,7 = 5,6 tim.
[f] för resp skördetillfälle: 5,6+3,8+1,6 = 11 tim.

Diskussion av kostnadsberäkningar och insamling av material

Montgomery Wildlife Trust (Delafield, 2006) rapporterar om ett projekt i Wales (Living Highways Project) där insamling av vägkantsvegetation undersöktes i större skala. I försöken konstaterades att mängden biomassa per km varierade stort beroende på typ av växtlighet, antalet skördar per år, tidpunkt för slåtter med mera. Ett typiskt intervall angavs vara 300-400 kg torrsubstans (ts) per km vägkant och år, vid en slåtterbredd på 1,2 m. Detta motsvarar en biomassaskörd på 2,5-3,3 ton ts per ha och år. För skörden användes en traktordriven slagslåttermaskin (Trilo SG1100) med skruv och vacuum-sug. Den effektiva arbetsbredden var 1,2 m och armens räckvidd 5,5 m. Den genomsnittliga körhastigheten var 2,7 km/h, men variationerna var stora (1-7 km/h), framförallt beroende på vegetationens täthet, höjd och fukthalt. En begränsning var sugens lägre kapacitet i förhållande till slåtteraggregatets kapacitet. Produktiviteten var 0,3-1,0 ton ts per timme, med ett genomsnitt på 0,55 ton ts/timme (Delafield, 2006).

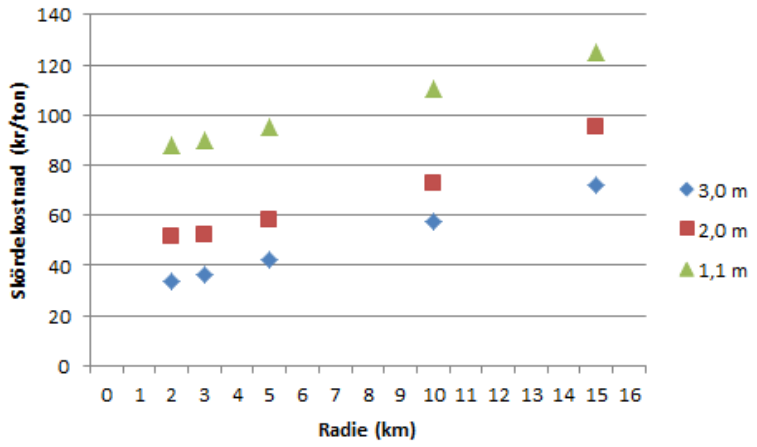
I försöken i Wales (Delafield, 2006) lastades skördarekipagets vagn av med hjälp av en transportmatta (kedja och medbringare) efter att baklämmen hade öppnats. Varje lass innehöll ca 4 ton färsk biomassa, vilket var ihop-packat av sugfläkten på en volym av ca 11 m^3. Lasten tömdes på marken vid speciellt utvalda s.k. ”bulking sites”, till exempel parkeringsplatser och rastplatser, vägdepåer eller där vägrenen var särskilt bred. Materialet lastades sedan på lastbilar med hjälp av en hjullastare. Lastningen av en lastbil (utan släp) tog ca 10 minuter.

För att effektivisera hanteringen, föreslår man i rapporten (Delafield, 2006) att skörde-ekipaget förses med en balpress som lämnar av balarna vid vägkanten för senare hämtning. På så sätt slipper man alla transporter mellan skördeplats och ”bulking sites”. I svenska försök (Vägverket, u.å.) var system baserade på rundbalspressning vid skörd något dyrare än system baserade på ensilagevagnar och växelflak för containrar. Ett problem var att de stora luftmängderna från

sugfläkten hade en negativ inverkan på pressningen. Skörd i två steg; slåtter och rundbalspressning, har varit vanligt i Nederländerna (Keizer, 2000). Först slogs vegetationen med rotorslåttermaskin, varefter gräset fick torka någon vecka innan det pressades till rundbalar. Slagslåttermaskin rekommenderades ej eftersom det innebar att gräset blev alltför finfördelat för att kunna plockas upp av balpressen. En fördel med detta system är att rundbalarna är torrare och därmed lagringsbara utan inplastning. Denna lösning kräver troligen ganska breda vägkanter för att kunna fungera praktiskt.

I Lincolnshire i Storbritannien genomfördes för några år sedan ett projekt som handlade om uppsamling av vägkantsgräs (Brown & Ford, 2017). I projektet ingick praktiska försök, kostnadsberäkningar, energibehovsberäkningar och framtagande av affärsmodeller för användning av gräset i biogasanläggningar. Området är en jordbruksbygd och präglas av ett omfattande nätverk av landsvägar med förhållandevis breda vägkanter och ett flertal biogasanläggningar på gårdsnivå.

Vid en radie på upp till 15 km blev kostnaden ca 70-125 kr per ton färskt material (Figur 22). Inom denna radie ger de ett exempel på en befintlig biogasanläggning som skulle kunna förses med 50 000 ton gräs från en total vägsträcka på 690 mil. Som jämförelse skriver de att biogasanläggningarna får betala ett pris på ca 160 kr/ton för biogasgräs. Kostnaden för vägkantsgräset är alltså lägre än det pris som man normalt får betala för biogasgräs. Vid intervjuer av 6 biogasproducenter svarade alla att de var intresserade av att använda vägkantgräs (upp till max 25 % av biogasråvaran). Men producenterna hade också krav när det gäller gräsets innehåll av skräp m m, hackelselängden och leveransformen; vissa ville ha balar, andra i lös form eller i storsäckar. Försök visade att gaspotentialen från vägkantsgräs kan nå upp till samma nivåer som för majs. Energikvoten för vägkantgräset var 4,2-7,2 (Brown & Ford, 2017).



Figur 22. Skördekostnad per ton gräs för tre olika slåtterbredder som funktion av skördeområdets radie, med de förutsättningar (vägnät, avkastning per skördad yta, m m) som rådde i Lincolnshire (omräknat till SEK med en växelkurs på 1,00 £ = 11,50 SEK, vilket var den genomsnittliga växelkursen 1 jan 2017 – 31 okt 2019). I källan (figuren ritad efter Brown & Ford (2017)) framgår inte vilka kostnadsposter som är medtagna, men troligen ingår inte kapitalkostnader).

Under 2018 testade man i Lincolnshire en maskinuppsättning bestående av en JCB Fastrac-traktor, en 5,5 m Tiefermec kranarm, en 1,1 m slaggräsklippare med sug (och skruv) och en Larringtons-vagn med en ny typ av kopplingsanordning för snabbare vagnsbyten (Schofield, 2019). Skördekapaciteten var över 30 ton per dag, med en körhastighet på 3-5 km/tim.

Några slutsatser från försöken i Lincolnshire är att man bör dela in vägkants-sträckorna i olika klasser beroende på deras kvalitativa egenskaper, och att man sedan bör anpassa skördetid och skördemetod efter dessa förutsättningar (Schofield, 2019). I undersökningen betraktades till exempel ca 1 % av vägkantsträckorna som ”guldkanter”, det vill säga att de hade ett mycket högt biologiskt värde, ca 10 % betraktades som ”silverkanter” med ett högt biologiskt värde, och ca 90 % hade ett visst biologiskt värde, ”bronskanter”. Områden med särskilt höga värden gynnas om man inför ”fristadsytor” med särskilt anpassad skötsel, till exempel skördesystem som liknar dem som används vid höbärgning, eftersom sugande uppsamlingsmaskiner inte bör användas på sådana ytor. Ett annat förslag är att använda sig av ”linear mosaic and remove the cuttings”-system. Organisationen Wildlife Trust (2019) i Lincolnshire har tagit fram ett faktamaterial om skötsel av vägkanter, och organisationen Plantlife har tagit fram en ”best practice guide” (Bromely m.fl., 2019).

I en tysk studie uppger Rommeiß m.fl (2006) att entreprenörer i förbundsstaten Nordrhein-Westfalen erhåller ca 1,0 kr/m^2 för vägkantsslåtter, med en spridning på 0,8-1,5 kr/m^2 (en växelkurs på 1,00 € = 10,00 SEK har använts, vilket var den genomsnittliga växelkursen under perioden 1 jan 2017-31 mars 2019). Med en genomsnittlig skörd på 6,3 ton/km och en skördad yta på 0,6 ha/km, blev kostnaden 950 kr/ton. För att även beakta kostnaden för själva uppsamlingen, har författarna lagt till 25 %, vilket betyder att den totala kostnaden blev 1 190 kr/ton. Dessa skördekostnader baserar sig alltså på det pris som har förhandlats fram mellan uppdragsgivarna och utförarna av vägkantsskötseln. För transporterna var timkostnaden 559 kr/tim, varav traktorkostnaden var 197 kr/tim, maskinkostnaden (transportvagn) 162 kr/tim och arbetskostnaden 200 kr/tim (Rommeiß m.fl, 2006). Transportvagnen hade en maximal lastvolym på 33 m^3 och maximal lastvikt på 18

ton, och den antogs kunna transportera 10 ton gräsmaterial per lass. Med en transporthastighet på 25 km/tim och ett genomsnittligt transportavstånd på 18,2 km blev transportkapaciteten 6,9 ton/tim och transportkostnaden 81 kr/ton. Kostnaden för ensilering, sannolikt i plansilo, (ej entydigt i rapporten) var ca 15 kr/ton (Rommeiß m.fl, 2006).

I en dansk studie (Birkmose m.fl., 2013) uppskattades kostnaden för skörd med slagslåtter-maskin och fläktsug till mellan 720-1 200 DKK per ton ts, inkl. transport till biogasanläggning. Beräkningarna baserades på en produktivitet på 0,25-0,5 ha/tim eller 1-2 ton ts per timme (eller 4-8 ton färsk biomassa per timme). Timpriset för maskinen antogs vara 600-1000 DKK och transportkostnaden antogs vara 120-200 DKK per ton ts. Denna kostnad skulle de danska biogasanläggningarna knappast vara beredda att betala för substratet, men författarna menar att detta ska ställas mot den kostnad som man normalt har för slåtter (utan uppsamling): i storleksordningen 400 DKK per timme (Birkmose m.fl., 2013). Ett exempel på en kommun i Danmark som har provat vägkantsskörd för biogasproduktion är Vejle (Petersen, 2012a; Petersen, 2012b).

I en dansk studie kom Meyer m.fl. (2014) fram till en energikvot på 2-3. Intervallet beror bl.a. på om biogasen producerades i en centraliserad anläggning eller i en gårdsanläggning. Vid beräkningarna använde de en dieselkonsumtion på 15 l/tim vid skörd, 0,42 l/km för transport, 15 l för omlastning och tömning av tre containrar och 15 l/tim för ensilering i ”tuber”. De antog en körhastighet vid skörd på 2,7 km/tim. I samma studie genomfördes skördeuppskattningar som visade en genomsnittlig skörd på drygt 2 ton TS per ha och år, vilket är lägre än till exempel mätningar i Wales (3-4 ton TS/ha och år) (Delafield, 2006) och i Tyskland (5 ton TS/ha och år) (Kern m.fl, 2009). Viktiga orsaker till skillnader i skördenivå är tidpunkt vid skörd, antal skördar per år, stubbhöjd, väder, markförhållanden (inkl. näringsinnehåll), dominerande vegetationstyp, etc. Antalet skördar per år har stor betydelse för skördenivån enligt Piepenschneider m.fl. (2016), vars studie i Tyskland resulterade i en genomsnittlig skörd på 5,7 ton ts/ha och år vid två skördar per år, jämfört med 3,2 och 3,3 ton TS per ha och år för kvarlämning av materialet resp. fyra skördetillfällen per år.

En sammanställning av skördenivåer, maskinprestanda, kostnader, energikvoter, med mera från ovan nämnda studier visas i tabell 17. Av tabellen framgår att det fanns en relativt god samstämmighet för de utländska studierna mellan till exempel skördenivåer (ton ts per km och år respektive ton ts per ha och år), körhastighet, ts-halt, VS-halt och gasutbyte. Skördeproduktiviteten varierade från 0,55 ton ts/tim till 1,5 ton ts/tim, men man ska också notera att detta var pilotförsök där det kan förekomma stora variationer i uppläggen av försöken liksom förarnas skicklighet och andra yttre förutsättningar.

Skördekostnaderna var lika i den tyska och danska studien, men däremot betydligt lägre i Lincolnshire-studien, medan de var betydligt högre för skörden på

Söderslätt. I Lincolnshire-studien var rörliga kostnader såsom bränsle- och personalkostnader medtagna, men troligen inte kapitalkostnader. Eftersom maskinerna är dyra och används under en relativt kort tid per år, blir kapitalkostnaderna en viktig kostnadspost totalt sett. När det gäller det högsta priset som ägarna till biogasanläggningarna i Lincolnshire var beredda att betala för vägkantgräs, så anger Brown & Ford (2017) att det i genomsnitt var £14 per ton (variation £10-£20 per ton), vilket motsvarar ca 524 kr/ton ts. Ts-halterna låg kring 25-30 %; troligen mer samlat i den övre delen av intervallet enligt andra studier och erfarenheter.

Tabell 17. Jämförelse mellan utländska studier och vår studie på Söderslätt

	Powy, Wales[a]	Lincolnshire, England[b]	Nordrhein-W. m.fl., Tyskland[c]	Dan-mark[d]	Söder-slätt
Skörd, ton ts/km*år	0,35[e]	0,38[i]	0,36[p]		0,20[y]
Skörd, ton ts/ha * år	2,9[f]	3,2[j]	3,0[q]	2	1,5[z]
Körhastighet, km/tim	2,7[g]	4[k]		2.7	3,1[å]
Skördeproduktivitet, ton ts/tim	0,55[h]	1,1[l]		1,5[t]	
Lastvikt, råton/lass	4		10		1,9[ä]
Skördekostnad, kr/ton ts		430[m]	1 350[r]	1 350[u]	9 370[ö]
Skördekostnad, kr/ha		1 380[n]	4 100[s]	2 710[v]	
Pris för substrat, kr/ton ts		524[o]			
TS-halt, %	29			24[x]	24

[a] Källor: Delafield (2006), Salter m.fl. (2007), Gunton (2006), Cheffins (2015).
[b] Källor: Brown & Ford (2017), Schofield (2019).
[c] Källor: Rommeiß m.fl (2006).
[d] Källor: Birkmose m.fl. (2013), Meyer m.fl. (2014)
[e] Typiskt intervall i studien 0,3-0,4 ton ts/km. Skördebredd 1,2 m.
[f] Typiskt intervall i studien 2,5-3,3 ton ts/ha och år.

[g] 2,7 km/tim i genomsnitt, variation 1-7 km/tim.
[h] 0,55 ton ts/timme, variation 0,3-1,0 ton ts/tim.
[i] 3,2 ton ts/ha enl punkt 13, med antagen slåtterbredd på 1,2 m.
[j] 11 råton/ha (Shofield, 2019), antagen ts-halt 29 % (ton ts/(ton ts+ton v)=ton ts/råton=0,29).
[k] variation 3-5 km/tim.
[l] 30 ton per dag (Schofield, 2019) / 8 tim per dag (antagen arbetstid) x 0,29 (antagen ts-halt) = 1,09 ton ts/tim .
[m] 10,85 £/råton (för 1,1 m slåtterbredd och max radie 15 km) x 11,5 (växelkurs) / 0,29 (antagen ts-halt) = 430 kr/ton ts
[n] 430 kr/ton ts x 3,2 ton ts/ha = 1380 kr/ha.
[o] 14 £/råton (pris som betalas av biogasanläggningar för substrat med liknande egenskaper) x 11,5 (växelkurs) x 0,29 antagen ts-halt). Variation 10-20 £/råton enl Brown & Ford (2017).
[p] 3,045 ton ts per ha (punkt 21) /10000 m^2 per ha x 1000 m per km x 1,2 m (antagen slåtterbredd) = 0,365 ton ts/km.
[q] 6,3 råton per km / 0,6 ha per km x 0,29 ton ts/råton (antagen ts-halt) = 3,045 ton ts/ha.
[r] 4 105 kr per ha (punkt 23) / 3,045 ton ts per ha = 1 348 kr per ton ts.
[s] entreprenörer i Nordrhein-Westfalen erhåller 0,8-1,5 kr/m^2 per år för vägkantskötsel, ca 1,0 kr/m^2 i genomsnitt (en växelkurs på 1,00 € = 10,00 SEK har använts). Ett påslag på 25 % har gjorts av Rommeiß m.fl. (2006) för att beakta extra kostnader för uppsamling av materialet. Detta ger 1,25 kr per m^2 x 10 000 m^2 per ha / 3,045 ton ts per ha (punkt 21) = 4 105 kr/ton ts.
[t] 1,5 (ett genomsnitt av 1-2) ton ts per tim.
[u] 960 DKK (ett genomsnitt av 720-1200 DKK) per ton ts x 1,41 (växelkurs 1,00 DKK=1,41 SEK) = 1 354 kr per ton ts.
[v] 1 354 kr per ton ts x 2 ton ts per ha = 2708 kr/ha.
[x] genomsnitt beräknat efter tabell 2 i Meyer m.fl. (2014).
[y] antagit att samma sträckor klipptes varje skördesäsong; 37363 kg ts/564 km x 3 = 0,199 ton ts/km
[z] 0,2 ton ts/km, år kan räknas om till ca 1,5 ton ts/ha, år vid en effektiv arbetsbredd på ca 1,3 m
[å] genomsnitt för hela året; 564 km / 183 tim = 3,1 km/tim (tabell 14).
[ä] genomsnitt av lass som levererades direkt; 103,7 ton / 55 lass = 1,9 ton/lass (råvikt) (tabell 2).
[ö] 350 000 kr/år / 37,363 ton ts/år = 9368 kr/ton ts

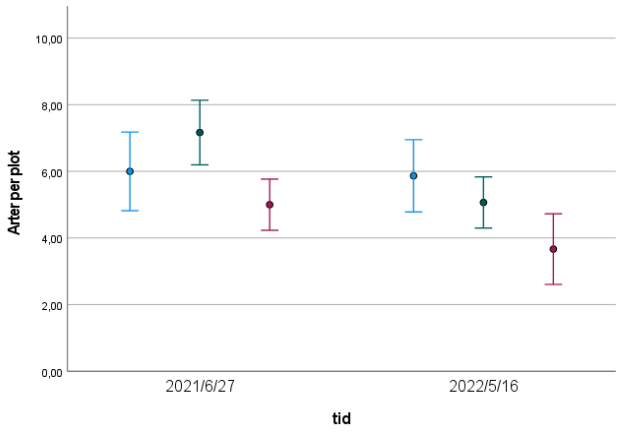
Påverkan på biologisk mångfald

Vägkanter utgör en viktig resurs när det kommer till att främja biologisk mångfald, och i synnerhet har de potential att gynna arter som är kopplade till slåttermarker. I dagens landskap blir slåttermarker allt mer sällsynta, vilket gör vägkanternas roll ännu mer betydelsefull.

Det finns många studier på hur slåtter kan gynna biologisk mångfald. Sammanfattningsvis så gynnas mångfald av kärlväxter om en yta slås en till två gånger per år med uppsamling (Jakobsson et al., 2018). Att slå fler än två gånger har ingen vidare positiv effekt på utvecklingen av mångfalden av kärlväxter. Det finns idag inte så mycket data på hur klippning påverkar andra organismer som till exempel insekter. Vissa studier pekar dock på att den typ av klippaggregat som användes i denna studie har en begränsad negativ effekt på flygande insekter eftersom suget och klippenergin blir lägre jämfört med till exempel en slaghack (Bernes et al., 2017; Hemmann et al., 1987; Leineßer, n.d.). Det är dock troligt att vissa insekter kommer att sugas upp i och med uppsamlingen av hö från vägkanterna. Det finns studier som pekar på den negativa effekten av uppsamling och förespråkar att man lämnar permanenta eller omväxlande remsor med oklippt vegetation (Kaláb et al., 2020). Generellt så kan man anta att vägkantslåtter närmast vägbanan där mängden flygande insekter redan är låg bara utgör en begränsad risk för flygande insekter eftersom denna remsa är relativt glest bevuxen.

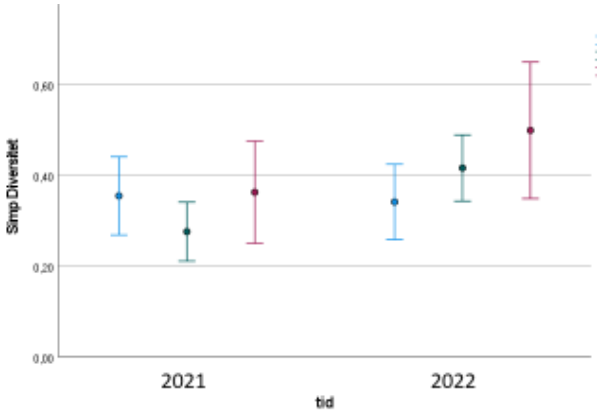
Inom projektet har vi inventerat vägkanter från tre olika kategorier: vägkanter som har slagits med uppsamling 2020 – 2021, vägkanter som slagits 2021 med uppsamling och vägkanter som slagits utan uppsamling. Totalt inventerades 5 ytor inom varje kategori. Platserna och inventeringsrutorna fotograferades. Vid varje plats inventerades tre rutor á 1m². Data som samlades in vid inventeringen var vägkantens bredd, koordinater, art, andel art, samt andel örter, gräs, träd och öppen mark. Andel av varje art uppskattades med 5 % noggrannhet och de arter som uppskattades till mindre än 5 % skrevs som <5 %.

Resultaten från inventeringen visade inte på någon tydlig förändring i antal arter per inventerad yta mellan 2021 och 2022. Antalet arter minskade mellan de två åren för alla klippbehandlingar men variationen mellan platser var samtidigt stor. Det går inte att dra några klara slutsatser om sambandet mellan artantal och klippstrategi.



Figur 23. Utveckling av genomsnittligt artantal på ytor som slåttrats med eller utan uppsamling. Staplarna visar på 95 % konfidensintervall. Blå staplar = slåtter med uppsamling 2020&2021, Gröna staplar = slåtter med uppsamling 2021, Röda staplar = slåtter utan uppsamling.

Den vanligaste arten inom de inventerade ytorna var Röllika som hade en total täckningsgrad på ca 19 % och som förekom i 80 % av alla plottar. Totalt hade 11 arter en täckningsgrad över 5 % och de flesta representerar relativt vanliga ängsväxter. Diversitetsindex (Simpson) visade inte heller på några tydliga skillnader över dessa två år.



Figur 24. Utveckling av Simpson diversitetsindex på ytor som slåttrats med eller utan uppsamling. Staplarna visar på 95 % konfidensintervall. Blå staplar = slåtter med uppsamling 2020&2021, Gröna staplar = slåtter med uppsamling 2021, Röda staplar = slåtter utan uppsamling

Det är välkänt att trafik kan påverka spridning av arter som åker med i vinddrag eller som liftar med bilar och lastbilar, men även själva underhållet av väginfrastrukturen kan påverka spridningen av olika arter, inklusive invasiva (Rauschert et al., 2017). Markarbeten i vägområdet tenderar att sprida växter ganska korta avstånd men det

finns också vissa arter som kan spridas långt. Upprepade markarbeten men även slåtter kan över tid sprida vissa arter längre sträckor (Rauschert et al., 2017).

Det finns en liten risk för att uppsamling och hantering av insamlat material från invasiva arter kan bidra till spridning av dessa och man måste därför ta hänsyn till hela hanteringskedjan. Det är viktigt att ta hänsyn till frötyp när man sätter upp ett hanteringssystem för invasiva arter där till exempel frön från lupin kan ha hög överlevnad om behandlingstemperaturerna inte är tillräckligt höga (Hassani et al., 2021). Ett sätt att minska överlevnaden kan vara att arbeta med flera olika behandlingar som värme, tryck eller vatten. Frö från Jätteloka påverkas mer av värme och har generellt en lägre överlevnad i en biogasreaktor, vilket ytterligare visar på att behandlingsstrategier måste utarbetas så att de klarar flera olika arter och då både frö och vegetativa delar (Tanke et al., 2019).

Sammanfattande diskussion

Slåtter med uppsamling och följande omvandling av materialet till biogas och biogödsel ser lovande ut både ur energisynvinkel och miljösynvinkel. Vid slåtter med uppsamling på rika marker med god näringsstatus som har varit fokus i detta projekt så finns det en betydande mängd material i våra vägkanter. Under 2022 samlades 152 ton (våtvikt) in genom 3 slåttertidpunkter; vår, sommar och höst.

Den maskintyp som användes i detta projekt valdes ut för att vara skonsam mot insekter och för att inte suga upp föroreningar från marken. Vi har inte gjort några egna studier kring slåttersystemets påverkan på insekter utan förlitar oss på litteraturuppgifter. När det gäller föroreningsfrågan så har vi sett att maskinen inte plockar upp några större mängder material från vägkanterna utan att det insamlade materialet är rent från plast och skräp. Det kan dock tilläggas att denna studie utfördes på det mindre vägnätet på den skånska landsbygden och att förekomsten av skräp var relativt låg generellt. Vi kunde inte se några dramatiska förändringar i den biologiska mångfalden på de undersökta platserna inom detta projekt. Det handlar ännu om en relativt kort tid av förändrad skötsel på ytor som har hög näringsstatus. Men det finns goda förhoppningar om att denna teknik verkligen kan bidra till att utveckla biologisk mångfald om den appliceras på större skala och på fler typer av marker.

En slutsats i projektet är att valet av maskinsystem och logistik/hantering har stor betydelse för hur stora kostnaderna blir. Kostnaderna är också starkt beroende av platsspecifika faktorer såsom transportavstånd till biogasanläggning eller mellanlager, det lokala vägnätets beskaffenhet och vilka specifika sträckor som ska slås, skördenivåer (kg biomassa per m^2), m.m. Några råd är att: använd så stor lastvolym som möjligt vid slåtter för att kunna slå längre sträckor innan tömning behövs. Om den skördbara biomassan längs vägkanten är för liten, för att kunna skördas på ett rimligt ekonomiskt sätt, så bör traditionell avslagning av vegetationen ske, istället för att samla upp den. Någon form av ruttplanering är lämpligt för att minimera det totala transportbehovet. För detta kan man använda olika typer av simulerings- eller optimeringsprogram. Mellanlager kan vara bra, men det är viktigt att de är lokaliserade till rätt platser och har tillräckligt med utrymme för avlastning och senare lastning. Noggranna avvägningar behöver göras när det gäller biologisk nytta och utbytet av biomassa per km skördad sträcka i förhållande till slåtter- och transportkostnaderna, annars är risken att de totala kostnaderna blir för höga.

Referenser

Bernes, C., Bullock, J.M., Jakobsson, S., Rundlöf, M., Verheyen, K., Lindborg, R., 2017. How are biodiversity and dispersal of species affected by the management of roadsides? A systematic map. Environmental Evidence 6, 24. https://doi.org/10.1186/s13750-017-0103-1

Birkmose, T., Hjort-Gregersen, K. & Stefanek, K. 2013. Biomasse til biogasanlæg i Danmark - på kort og langt sigt. Tillgänglig på: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Bioenergi/biomasser_til_biogasanlaeg.pdf (2016-12-15).

Bromley, J., McCarthy, B. & Shellswell, C. 2019. Managing grassland road verges. A best practice guide. Plantlife. Tillgänglig på: https://www.plantlife.org.uk/uk/our-work/publications/road-verge-management-guide (2019-11-20).

Brown, A. & Ford, J. 2017. Grass to Gas: Roadside Verge Biomass CDT Mini-Project. CDT Conference Low Grade Biomass: Challenges and Opportunities, 27th June 2017. Tillgänglig på: https://irp-cdn.multiscreensite.com/57706d10/files/uploaded/A%20Brown%2C%20J%20Ford%2C%20Leeds%2C%20Leeds%2C%2027-06-17.pdf (2019-11-19).

Cardoen, D, 2013. Productie van zuiver bermmaaisel door innovatieve maaitechnologie. Een vergelijkende test met de ecologische maaier Herder ECM160 en de klepelmaaier Herder KMD150. Pro Natura Oost-Vlaanderen vzw. Eeklo, Nederländerna.

Carlsson, M. och Uldal, M. 2009. Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport SGC 200, 1102-7371, ISRN SGC-R-200- SE. Svenskt Gastekniskt Center AB. Tillgänglig på: Substrathandbok slutversion

Cheffins, N. 2015. A feasibility study into the utilization of anaerobic digestion to sustain the harvesting of low input high diversity road verge biomass. Peakhill Associates. Tillgänglig på: http://www.peakhill-associates.co.uk/wp-content/uploads/2017/07/Verge-Biomass-scoping-report-November-2015.pdf (2019-11-20).

Czubaszek, R., Wysocka-Czubaszek, A., Banaszuk, P., Zając, G., Wassen, M.J., 2023. Grass from Road Verges as a Substrate for Biogas Production. Energies 16, 4488. Tillgänglig på: https://doi.org/10.3390/en16114488

Dataväxt, 2022. Logmaster – full översikt på gårdens maskinanvändning [WWW Document]. Logmaster – full översikt på gårdens maskinanvändning. URL https://datavaxt.com/sv/produkter/logmaster/ (accessed 11.7.23).

Delafield, M. 2006. A practical trial to investigate the feasibility of wide-scale collection of cuttings from roadside verges in Powys, for use in biogas and compost production. Living Highways Project. Montgomery Wildlife Trust, Powys, Wales, United Kingdom.

Ekonomifakta, 2023. Dieselskatt [WWW Document]. Ekonomifakta. URL https://www.ekonomifakta.se/Fakta/elfakta/Styrmedel/Konsumtionsskatter-pa-diesel/ (accessed 11.8.23).

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. Rapport (Institutionen för energi och teknik, SLU).

Gunton, Z. L. 2006. Are roadside verge cuttings a feasible source of renewable energy? MSc project report. School of Civil Engineering and the Environment, University of Southampton. Citerad av Delafield, M. 2006. A practical trial to investigate the feasibility of wide-scale collection of cuttings from roadside verges in Powys, for use in biogas and compost production. Living Highways Project. Montgomery Wildlife Trust, Powys, Wales, United Kingdom.

Hassani, M., Vallius, E., Rasi, S., Sormunen, K., 2021. Risk of Invasive Lupinus polyphyllus Seed Survival in Biomass Treatment Processes. Diversity 13, 264. https://doi.org/10.3390/d13060264

Hemmann, K., Hopp, I., Paulus, H., 1987. Zum Einfluss der Mahd durch Messerbalken, Mulch und Saugmäher auf Insekten am Straßenrand. Natur und Landschaft 62, 103–106.

Herder, 2023a. Ecological mower | Herder machines [WWW Document]. URL https://herder.nl/en/products/roadside-maintenance/ecological-mower (accessed 11.8.23).

Herder, 2023b. Herder Ecochopper is an innovative mower with a built-in shredding unit [WWW Document]. URL https://herder.nl/en/products/roadside-maintenance/ecochopper (accessed 11.8.23).

Hörndahl, T., 2023. Kompendium TN0332. Maskinekonomi. Inst för biosystem och teknologi, SLU, Alnarp.

Kaláb, O., Šipoš, J., Kočárek, P., 2020. Leaving uncut refuges during meadow harvesting increases the functional diversity of Orthoptera. Entomological Science 23, 95–104. https://doi.org/10.1111/ens.12404

Keizer, P-J. 2000. Studie av vägkantsskötsel i Nederländerna. Bilaga 1 i: Durling, M. & Jacobsson, K. 2000. Slåtter av vägkanter med upptagande slagslåtteraggregat – energianvändning och kostnader vid upptagning, transport och behandling. Institutionsmeddelande 2000:05. Inst. för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

Kern M, Funda F, Hofmann H, Siepnkothen HJ. Biomassepotenzial von Bio- und Grün-abfällen sowie Landschaftspflegematerialien. Biomasse Forum 2009:107–90. Citerad av: 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.

Lantz, M., Prade, T., Ahlgren, S., Björnsson, L., 2018. Biogas and Ethanol from Wheat Grain or Straw: Is There a Trade-Off between Climate Impact, Avoidance of iLUC and Production Cost? Energies 11, 2633. https://doi.org/10.3390/en11102633

Leineßer, B.A., n.d. Faunaschonende Mähtechnik naturschutzfachliche Bedeutung und technische Umsetzbarkeit 15.

Maskinkalkylgruppen, 2023. Maskinkostnader 2023 : underlag och kalkylexempel för lantbruksmaskiner. Hushållningssällskapet, Stockholm.

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.

Petersen, B. 2012a. Erfaringer med opsamling og anvendelse af biomasse i Vejle Kommune. Plantekongres 2012. Tillgänglig på: https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjkp8TDz_bQAhVCkSwKHTQ-DtIQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.landbrugsinfo.dk%2FPlanteavl%2FPlantekongres%2FFiler%2Fpl_plk_2012_shw_M10_2_Brian_Oernhoej_Petersen.pdf&usg=AFQjCNGF-uJaMuPG9DhF-KSvSSW2tB-GWA&bvm=bv.141536425,d.bGg (2016-12-15).

Petersen, B. 2012b. Høst af biomasse til bioenergi på naturarealer – en metode til fjernelse af næringsstoffer? Tillgänglig på: https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiysNynzfbQAhVPKywKHbFLCOAQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Fwww.landbrugsinfo.dk%2FPlanteavl%2FPlantekongres%2FSider%2Fpl_plk_2012_resume_M10-2_Brian_Oe_Petersen.pdf%3Fdownload%3Dtrue&usg=AFQjCNG0GuCCoaa-OEm07TpA_Bc2LAUiPw (2016-12-15).

Piepenschneider, M., Bühle, L., Hensgen, F. & Wachendorf, M. 2016. Energy recovery from grass of urban roadside verges by anaerobic digestion and combustion after pre-processing. Biomass and Bioenergy, 85, 278-287.

Prade, T., Svensson, SE., Hörndahl, T. et al. (2018). Impact of Harvest Date and Cutting Length of Grass Ley and Whole-Crop Cereals on Methane Yield and Economic Viability as Feedstock for Biogas Vehicle Fuel Production. Bioenerg. Res. 12, 137–149 (2019). https://doi.org/10.1007/s12155-018-9952-x

Rasi S, Timonen K, Joensuu K, Regina K, Virkajärvi P, Heusala H, Tampio E, Luostarinen S. Sustainability of Vehicle Fuel Biomethane Produced from Grass Silage in Finland. *Sustainability*. 2020; 12(10):3994. https://doi.org/10.3390/su12103994

Rauschert, E.S.J., Mortensen, D.A., Bloser, S.M., 2017. Human-mediated dispersal via rural road maintenance can move invasive propagules. Biol Invasions 19, 2047–2058. https://doi.org/10.1007/s10530-017-1416-2

Rommeiß, N., Thrän, D., Schlägl, T., Daniel, J. & Scholwin, F. 2006. Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 150. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, Tyskland.

Salter A., Delafield, M., Heaven, S. & Gunton, Z. 2007. Anaerobic digestion of verge cuttings for transport fuel. Waste and Resource Management, 160, 105-112.

Schofield, M. 2019. Management to maintain and restore road verge biodiversity. Lincolnshire Wildlife Trust. Tillgänglig på: https://butterfly-conservation.org/sites/default/files/2019-10/Mark%20Schofield%20Lincs%20WT-%20Road%20Verge%20Symposium%2013-09-2019%20final_0.pdf (2019-11-20).

SMHI, 2023a. Hämta observationsdata [WWW Document]. URL https://www.smhi.se/data (accessed 5.5.23).

SMHI, 2023b. Hur var vädret? - Malmö [WWW Document]. URL https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/hur-var-vadret/q/Malm%C3%B6/temperature (accessed 6.27.23).

SNFS, 1994. Naturvårdsverkets kungörelse med föreskrifter om skydd för miljön, särskilt marken, när avloppsslam används i jordbruket.

Svensson, S.-E., Englund, J.-E., 2015. Klosettvattenkvalitet – spårelement i relation till fosfor (No. 2015–19), LTV-fakultetens faktablad.

Svensson, S.-E., Mattsson, J.E., Englund, J.-E., Johansson, C., 2015. Halter av 60 spår-- element relaterat till fosfor i klosettvatten – huvudstudie (Svenskt Vatten Utveckling,), 2015-10.

Tanke, A., Müller, J., de Mol, F., 2019. Seed Viability of Heracleum mantegazzianum (Apiaceae) Is Quickly Reduced at Temperatures Prevailing in Biogas Plants. Agronomy 9, 332. https://doi.org/10.3390/agronomy9060332

Vägverket. U.å. Slåtter och uppsamling av vegetation på vägkanter. Broschyr. Vägverket, Borlänge. 6 sid.

Wildlife Trust Lincolnshire. 2019. Road Verge Biomass Harvesting FAQ. Tillgänglig på: https://www.lincstrust.org.uk/wildlife/wildlife-gardening/wildflower-hub/verges-faq

Bilaga A

Nedan visas beräkningsgången för nettoklimatgasreduktionen [ton CO_2 per ha vägkant] och för klimateffektskvoten, då biomassaskörden är 1 ton ts per hektar vägkant, dvs 1 ton ts per mil vägkant vid slåtterbredden 1 meter, för båda skötselsystemen. I dessa beräkningar gör vi följande antaganden:

- Denna studie visar att torrsubstansinnehållet (ts), i snitt, kan antas vara 25 % i den skördade vägkantsvegetationens biomassa, med en variation från ca 22 % till ca 28 % för de enskilda analyserna.
- Med 1 ton ts vägkantsvegetation skördas ca 15 kg kväve, ca 3 kg fosfor och ca 20 kg kalium, vilket baseras på data från denna studie. Den skördade växtnäringen antas gödsla livsmedelsgrödor via biogödseln, som en förnybar växtnäringsresurs, och ersätter därmed fossilbaserad mineralgödsel.
- Markkolsbidraget från vägkantsvegetationens ovanjordiska biomassa, som bidrar till klimatgasreduktionen, antas vara 4 % av ts, dvs 40 kg stabilt kol per ton ts.
- Markkolsbidraget från stubb och rötter antas vara 2,5 % av vegetationens ovanjordiska biomassa, dvs 25 kg stabilt kol per ton ts.
- Den skördade vegetationens energiinnehåll, utvunnen som metangas, beräknas till 300 m^3 CH_4 per ton ts. (300 l CH_4 per kg ts * 1000 kg ts = 300 m^3 CH_4, motsvarande ca 300 liter diesel).
- Från den producerade mängden metangas avräknas 10 %, motsvarande 30 liter diesel, bland annat för transport och spridning av den mängd biogödsel som vägkantsvegetationen resulterar i vid biogasanläggningen.
- Förbränning av 1 liter diesel MK1 genererar i medeltal ca 2,69 kg CO_2-e enligt Energimyndigheten (2023) ”Växthusgasutsläpp - för drivmedel levererade under 2021”
- Förbränning av 1 kg kol (C) genererar 3,67 kg CO_2-e
- Slåtter utan uppsamling beräknas ske med en arbetsbredd på 1 m och vid en genomsnittlig arbetshastighet på ca 7 km/h och vid en dieselförbrukning på ca 10 liter/h. Detta leder till att det förbrukas ca 14,3 l diesel per ha och att det bildas ca 38 kg CO_2-e per hektar för slåttern. (14,3 liter * 2,69 kg CO_2-e per liter = 38 kg CO_2-e)
- Slåtter med uppsamling beräknas ske med en arbetsbredd på 1 m och vid en genomsnittlig arbetshastighet på ca 4 km/h och med en dieselförbrukning på ca 15 liter/h. Detta leder till att det förbrukas ca 37,5 l diesel per ha och att det bildas ca 101 kg CO_2-e per hektar. (37,5 liter * 2,69 kg CO_2-e per liter = 101 kg CO_2-e)
- Energiåtgången för transport av vägkantsvegetationen till biogasanläggningen med skördemaskinen (redskapsbärare med tillkopplad vagn för uppsamling av skördad biomassa) beräknas till ca 10 l diesel per ton ts vid 10 km transportavstånd enkel resa. Detta motsvaras av 27 kg CO_2-e per ton ts, vid ett transportavstånd på 10 km enkel resa.
- Beräkning av energiåtgången för detta transportarbete: Körhastigheten för skördemaskinen antas i snitt vara ca 30 km/h, vid en dieselförbrukning på ca 15 liter/h, och med en lassvikt på ca 4 ton, med ca 25 % ts (dvs 1000 kg ts) och vid en körsträcka på 20 km tur och retur. Skördemaskinen har en maxhastighet på ca 40 km/h, men snitthastigheten har satts till 75 % av maxhastighet beroende på vägarnas beskaffenhet i fråga om vägbredd, möte, stopp-skyltar och andra begränsningar längs vägen. Detta leder till en dieselåtgång på 10 liter för transportarbetet som

varar 40 min, vilket leder till att det förbrukas ca 10 l diesel per ton ts vid ett transportavstånd på 10 km enkel resa och att det bildas 27 kg CO_2-e per ton ts. (10 liter * 2,69 kg CO_2-e per liter = 27 kg CO_2-e för 10 km transportavstånd enkel resa)

CO_2-beräkning [CO_2-e per ha] eller [CO_2-e per mil vägkant vid arbetsbredden 1,0 m] för vägkantsvegetation som bara slås av och återförs i jämförelse med vägkantsvegetation som skördas för produktion av biogas och biogödsel. Beräkningen gäller då biomassaskörden är 1 ton ts per mil vägkant och bredden är 1 m på slåtteraggregatet, vilket resulterar i en skörd av 1 ton ts per ha vägkant

Vägkantsvegetation	Återförd biomassa till vägkanten	Skördad biomassa till biogas
Ovanjordisk biomassa [ton ts/ha]	1	1
Kväve-innehåll i biomassan [kg/ton ts]	15	15
Fosfor-innehåll i biomassan [kg/ton ts]	3	3
Kalium-innehåll i biomassan [kg/ton ts]	20	20
Stabilt kol till marken med avslagen biomassa [kg/ton ts]	40	0
Stabilt kol till åkermark med biogödseln [kg/ton ts] [a)]	0	20
Markkolsbidrag - rötter o stubb	25	25
Biometanpotential brutto i biomassan [m^3 CH_4/ha]	0	300
Andel av biometanpotentialen som kan avyttras	0	90 %
Biometanpotential netto [m^3 CH_4/ha]	0	270
Transportavstånd för biomassa till biogasanläggning [km]	0	5
CO_2-beräkning [kg CO_2-e per ha = 1 mil vägkant, slåtter 1 m]		
Biometan - netto från biomassan- ersätter fossil diesel	0	726
Stabilt mark-kol med avslagen biomassa	147	0
Stabilt kol till åkermark med biogödseln	0	73
Markkolsbidrag från rötter och stubb	92	92
Undviken fossil CO_2 via kväve till åkermark via biogödsel [b)]	0	68
Undviken fossil CO_2 via fosfor till åkermark via biogödsel [c)]	0	7
Undviken fossil CO_2 via kalium till åkermark via biogödsel [d)]	0	14
Diesel för avslagning resp. skörd av vegetationen (fossil)	-38	-101
Diesel för transport av vägkantsvegetation till anläggning tor:	0	-27
Summa klimateffekt [kg CO_2 per ha]	201	852
Nettoklimateffekt [ton CO_2 per ha]	0,65 [e)]	
Klimateffektskvot = skördad CO_2 / återförd CO_2	4,25 [f)]	

[a)] Hälften av det stabila kolet i biomassan sprids på åker med biogödseln: 50 % * 40 kg kol = 20 kg kol per ha.
[b)] 4,5 kg CO_2-e per kg N. (Lantz m. fl. 2018). 4,5 kg CO_2/kg N *15 kg N/ha = 68 kg CO_2/ha.
[c)] 2,3 kg CO_2-e per kg P. (Lantz m. fl. 2018). 2,3 kg CO_2/kg P * 3 kg P/ha = 7 kg CO_2/ha.
[d)] 0,7 kg CO2-e per kg K. (Lantz m. fl. 2018). 0,7 kg CO2/kg K * 20 kg K/ha = 14 kg CO2/ha.

[e)] Nettoklimateffekten för de två systemen, skördad biomassa till biogas resp. återförd biomassa till vägkant, beräknas som: 852 (kg CO_2-e per ha) - 201 (kg CO_2-e per ha) = 651 (kg CO_2-e per ha) = 0,65 (ton CO_2-e per ha)

[f)] Klimateffekt-kvot för de två systemen, skördad biomassa till biogas resp. återförd biomassa till vägkant, beräknas som: 852 (kg CO_2-e per ha) / 201 (kg CO_2-e per ha) = 4,25

Trafikverket, 781 89 Borlänge. Besöksadress: Röda vägen 1
Telefon: 0771-921 921, Texttelefon: 010-123 50 00
trafikverket.se