

Artrik energiutvinning

– energiutvinning och ökad biologisk mångfald inom väg- och järnvägsområden

Species-rich energy extraction

– energy extraction and increased biodiversity on road and railway verges

Tobias Emilsson, Urban Emanuelsson, Roman Hackl, Julia Hansson, Anders Larsolle, Daniel Nilsson, Thomas Prade, Sven-Erik Svensson



Artrik energiutvinning – energiutvinning och ökad biologisk mångfald inom väg- och järnvägsområden

Species-rich energy extraction – energy extraction and increased biodiversity on road and railway verges

Tobias Emilsson,
Tobias.Emilsson@slu.se

Urban Emanuelsson,
Urban.Emanuelsson@slu.se

Roman Hackl,
Roman.Hackl@ivl.se

Julia Hansson,
Julia.Hansson@ivl.se

Anders Larsolle,
Anders.Larsolle@slu.se

Daniel Nilsson,
Daniel.Nilsson@slu.se

Thomas Prade,
Thomas.Prade@slu.se

Sven-Erik Svensson
Sven-Erik.Svensson@slu.se

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2017

Omslagsbild: Tobias Emilsson

Serietitel: Rapport – Institutionen för energi och teknik

Delnummer i serien: 098

ISSN: 1654-9406

Elektronisk publicering: <http://epsilon.slu.se>

Nyckelord: biomassa, vägkanter, järnvägar, biogas, biologisk mångfald

Sveriges lantbruksuniversitet
Swedish University of Agricultural Sciences

Institutionen för energi och teknik

SAMMANFATTNING

Trafikverket sköter årligen betydande ytor längs vägar och järnvägar. Det statliga vägnätet omfattar exempelvis närmare 100 000 km. Dessa vegetationsområden har blivit alltmer värdefulla för den biologiska mångfalden i takt med att traditionellt hävdade biotoper har blivit mer sällsynta i landskapet. Dessa områden utgör också en betydande areal för produktion av biomassa. Att samla upp, processa och nyttiggöra denna biomassa för energiändamål är ett sätt att komma närmare målet om ett fossilfritt samhälle. Syftet med denna förstudie var att översiktligt undersöka möjligheterna för tillvaratagande av gräs- och vedartad biomassa längs våra vägar och järnvägar för energiändamål, samtidigt som en större artrikedom möjliggörs.

En slutsats är 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 material är kritiskt för ytornas värden och möjliga utveckling.

Under det senaste decenniet har teknik utvecklats i bl.a. Tyskland och Nederländerna för uppsamling, transport och hantering av biomassa från väg- och järnvägsområden. Valet av teknik och logistiksystem ska alltid ses i ett helhetsperspektiv, t.ex. när det gäller lokalisering av produktionsytor, lagringsplatser, slutanvändare och deras kvalitetskrav på råvaran. Fallstudier behöver därför göras för ett större geografiskt område med syfte att ta reda på hur det ekonomiska utfallet blir för olika teknik- och logistikscenarier.

Den uppsamlade biomassan kan utgöras av färsk gräsartad, torr höaktig samt vedartad biomassa. Dessa kan användas som fastbränslen (i form av t.ex. balar, flis eller pellets) eller omvandlas till flytande bränslen (t.ex. etanol eller syntetisk diesel) eller gasformiga bränslen (t.ex. biogas, syntetisk naturgas eller DME). F.n. torde produktion av biogas vara mest intressant för gräsartad biomassa, och användning i värme-/kraftvärmeverk för vedartad biomassa. Ny teknik, t.ex. IFBB (integrerad fastbränsle- och biogasframställning från biomassa) och den s.k. Florafuel-metoden kan dock bli kommersiellt intressanta inom en snar framtid.

En grov uppskattning av den totala tillgängliga energipotentialen visade att den är i storleksordningen 0,5-1,5 TWh/år. Det är främst mindre vägar och järnvägskorridorer som bidrar till potentialen. En förbättrad metodik behöver utvecklas för potentialuppskattningarna, bl.a. behövs en verifiering av avkastningsnivåer. Dessutom behövs mer kunskap när det gäller uttagsbredder och förutsättningar för fler än en skörd per år, samt vilken eventuell betydelse tillämpning av nuvarande regelverk har för skötseln.

I rapporten konstateras också att nya verktyg behöver utvecklas för kvantifiering och värdering av miljönyttan vid uppsamling av vegetation längs vägar och järnvägar. Ett viktigt verktyg för att styra till ett ökat utnyttjande av denna energiråvara är Trafikverkets upphandlingsförfarande vid s.k. baskontrakt för underhåll. Nya affärsmodeller behöver också utvecklas för att öka incitamenten för insamling av biomassan.

Rapporten avslutas med några förslag på hur framtida pilotstudier skulle kunna utformas för att få igång ett ökat energiutnyttjande av vegetationen längs våra vägar och järnvägar.

ABSTRACT

The Swedish Transport Administration is responsible for the management of hundreds of thousands of kilometers of road and railway verges in Sweden. These areas have become more interesting from a biodiversity point of view as a result of reduced areas of traditionally managed meadows in recent decades. These verges also constitute large areas for the production of biomass. To collect and use this biomass as an energy resource is in line with the goal to reduce the use of fossil fuels in Sweden. The objective of this study was to investigate the possibilities to use verge cuttings for energy purposes, while improving the richness in species.

A conclusion in the study was that road and railway verges have a great potential to promote biodiversity, especially by modified and improved management strategies. The management primarily should be directed at maintaining the present values and at restoring of earlier species-rich areas. There is a great potential to adapt the management in order to upgrade the areas that have no unique value at present. Nutrient levels, time of cutting, and collection of the material are critical factors for the development of biodiversity values.

In recent years, new technologies for the cutting, collection and handling of biomass from road verges have been developed in e.g. Germany and the Netherlands. However, a comprehensive view should be used in the choice of technology and logistics systems, as e.g. the location of production areas, storages and final users have an important impact on total performance and costs. Therefore, case studies are recommended for a region or a larger geographical area to evaluate the economic outcome for different technologies and logistics scenarios.

The biomass could be harvested in the form of fresh grass-like biomass, dry hay-like biomass or as woody biomass, and used in the form of solid fuels (e.g. bales, wood chips and pellets), liquid fuels (e.g. ethanol and synthetic diesel) or gaseous fuels (e.g. biogas and synthetic natural gas). The production of biogas from fresh grasses and the production of wood chips from woody biomass may be the most profitable alternatives at present. However, new technologies, such as the IFBB and Florafuel processes may become commercially interesting in a near future.

A rough estimation of available potentials showed that about 0.5-1.5 TWh could annually be utilized in Sweden. The largest quantities can be found along country roads and in railway corridors. However, improved methodologies need to be developed for more accurate resource estimations. Furthermore, more knowledge is needed regarding possible cutting widths, the possibilities for more than one harvest per year and regarding possible harvest limitations set by legal frameworks.

It was concluded that new tools should be developed for the quantification and evaluation of environmental benefits of a wide-scale collection of biomass on road and railway verges. At present, the procedures at the Swedish Transport Administration for procurement of so-called base contracts are an important monitoring tool for the management of such areas. In addition, new business models should be developed in order to provide economic incentives for the increased use of this biomass.

Finally, future pilot studies are suggested in the report for realizing a cost-efficient and environmental-friendly collection of railway- and roadside vegetation for energy use.

FÖRORD

Denna rapport är framtagen inom projektet *Artrik energiproduktion – Energiproduktion från biomassa och ökad biologisk mångfald inom väg- och järnvägsområden*. Projektet har drivits som ett FUD-uppdrag från Trafikverket. Projektet har syftat till att undersöka hur det går att skapa nya möjligheter för energiutvinning och samtidigt gynna den biologiska mångfalden. Inom projektet har vi studerat ramarna för hur denna artrika energiutvinning skulle kunna utformas och vilka faktorer som är mest intressanta att undersöka vidare i ett pilotprojekt.

Mars 2017

Tobias Emilsson¹, Urban Emanuelsson², Roman Hackl³, Julia Hansson³, Anders Larsolle⁴, Daniel Nilsson⁴, Thomas Prade⁵, Sven-Erik Svensson⁵

¹ Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

² Centrum för biologisk mångfald, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

³ IVL Svenska Miljöinstitutet, Stockholm.

⁴ Institutionen för energi och teknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.

⁵ Institutionen för biosystem och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.

INNEHÅLL

1. INTRODUKTION	5
2. PRODUKTIONSKAPACITET I RELATION TILL BIOLOGISK MÅNGFALD OCH ANDRA VÄRDEN	6
2.1. Väg-ängarnas ekologi	6
2.2. Strategier för biologisk mångfald i väg- och järnvägsmiljöerna	8
2.3. Avsnitt med låg potential för biologisk mångfald men med hög potential för bioenergi	12
2.4. Differentierade järnvägszoner med slåtter, slyskörd och bete	12
2.5. Maskinutveckling för olika behov och funktioner	13
2.6. Inventeringar och prioriteringar	15
2.7. Sociala aspekter av skörd	15
2.8. Sammanfattning	15
2.9. Referenser	16
3. UPPSAMLING OCH LOGISTIK	17
3.1. Skörd längs vägar	17
3.2. Skörd längs järnvägar	21
3.3. Skörd av vedartad biomassa	22
3.4. Maskiner i arbete - länkar till Youtube m.fl.	26
3.5. Sammanfattning	27
3.6. Referenser	28
4. ANVÄNDNING, OMVANDLING OCH UPPARBETNING	31
4.1. Inledning	31
4.2. Produkter och tjänster från biomassan	31
4.3. Omvandlingsprocesser för biomassa	32
4.4. Översikt över möjliga användningsområden av olika sorters biomassa	33
4.5. Praktiska exempel, fallstudier och tekniker	36
4.6. Tids- och geografiska aspekter	38
4.7. Ekonomiska aspekter	38
4.8. Referenser	38
5. TOTAL BIOMASSAPOTENTIAL FÖR ENERGIOMVANDLING OCH DESS KLIMATPÅVERKAN	41
5.1. Grov uppskattning av biomassa- och energipotentialen för gräsartad vegetation	41
5.2. Slytillgångar längs vägar och järnvägar	43
5.3. Förslag på fördjupade potentialstudier	45
5.4. Klimatpåverkan	47
5.5. Sammanfattning	48
5.6. Referenser	48
6. AFFÄRSUTVECKLING OCH INCITAMENT FÖR SKÖRD AV VÄXTMATERIAL FRÅN TRAFIKYTOR	50
6.1. Kvantifiering och värdering av miljönytta	50
6.2. Metoder för styrning mot ökad miljönytta	52
6.3. Exempel affärsmodeller och incitament från Sverige och andra länder	53
6.4. Referenser	55
7 UTFORMNING AV FRAMTIDA PILOTPROJEKT	56
7.1. Grov uppskattning av biomassa- och energipotential från vägkantsgräs i jordbrukslandskapet i Skåne	56
7.2. Beslutstöd	57

1. INTRODUKTION

Trafikverket sköter årligen betydande ytor vägkant och spårområde. Det statliga vägnätet omfattar närmare 100 000 km väg (Trafikverket 2017). Vägkanter sköts traditionellt genom slåtter utan uppsamling. Förutom detta sker borttagning av vedartad vegetation och dikesskärning. När det gäller spårområden har vegetationsskötsel under de senaste åren fokuserat på trädsäkring där trädsäkringszonen utvidgats. I järnvägsmiljö har flera projekt också fokuserat på ogräsbekämpning och strategier för att minska behovet av slyröjning längs med spåret.

Vägkantsskötsel hanteras inom trafikverkets baskontrakt som innehåller flera typer av vägrelaterat underhåll så som saltning, plogning och slåtter. Generellt, hanteras baskontrakten av de stora aktörerna NCC, Peab, Skanska och Svevia som i sin tur handlar upp tjänster från underleverantörer. I baskontrakten finns specificerade skötselkategorier som beskriver antal slåttertillfällen och hur långt från vägen som slåtter skall ske. I nuläget finns det kring 100 baskontrakt på det statliga vägnätet. Inom varje kontrakt läggs ungefär 1200 timmar på slåtter per år. Det finns också speciella områden som har mer riktad skötsel med utarbetade skötselplaner. Vissa vägkanter är definierade som artrika vägkanter och utgör ca 5% av den totala sträckan vägkant. Till dessa kan man lägga ca 5% av den totala ytan som klassas som hänsynsobjekt. Dessa artrika vägkanter har definierats något olika beroende på plats i landet och begreppet hänsynsobjekt har bara använts i region väst (Lindqvist, Karlsson & Adelsköld, 2012). De artrika vägkanterna slås i regel inte före 15 augusti, men det finns undantag.

Artrika vägkanter identifierades tidigare genom tips från botaniska föreningar och intresserad allmänhet, men Trafikverkets nya riktlinjer och mål kräver ytterligare insatser för att aktivt samla in information om vilka värden som finns, hur de utvecklas och vilka processer och påverkan som är av vikt för ytornas fortsatta förändring. Skötsel och utveckling av vägkanter och spårområden bör ske för att stärka t.ex. miljömålet ”ett rikt växt och djurliv”. De artrika vägkanterna har definierats utifrån fokus på hotade arter, sällsynta eller naturvårdsintressanta arter, hävdgynnade arter samt för riklig blomning (Lindqvist, Karlsson & Adelsköld, 2012). De rikblommande ytorna är de som är svårast att motivera för deras biologiska värden eftersom de också inkluderar relativt triviala arter. Dock kan man säga att de har en viktig betydelse som nektarkälla i landskapet samt att de bidrar till en positiv estetisk upplevelse för trafikanterna.

Trafikytor, vägkanter och spårområde, utgör också en betydande yta för produktion av biomassa. Att kunna samla upp, processa och nyttiggöra denna biomassa skulle kunna vara ett sätt att komma närmare målet om ett fossilfritt transportsystem.

I denna rapport har vi utvärderat nyckelfaktorer för hur vegetation på trafikytor kan utnyttjas för energiproduktion samtidigt som det gynnar den biologiska mångfalden på vissa ytor samt utvecklar eller bibehåller biologiska värden på rena ”produktionsytor”.

2. PRODUKTIONSKAPACITET I RELATION TILL BIOLOGISK MÅNGFALD OCH ANDRA VÄRDEN

Vägkanter har kommit att bli en allt mer värdefull resurs i takt med att många traditionella hävdade biotoper blir allt sällsyntare. Speciellt skall man i detta sammanhang uppmärksamma fastmarksängar, d v s foderproducerande ytor på frisk och torr mark som skötts med slåtter. Fastmarksängarna är idag ett mycket sällsynt inslag i våra landskap. De har tidigare varit vanliga och utmärks av en mycket rik flora och ett rikt insektsliv. Där vägkanter sköts på ett sätt som liknar den äldre ängsskötseln finns det idag ”ängar” längs vägarna. Att sköta dessa ”ängar” på ett bättre sätt för flora och fauna och göra dem attraktivare för betraktaren fodrar dock att skötseln blir mer lik äldre tiders ängsskötsel. Ofta har det varken funnits tid, kunskaper eller medel att göra detta.

I en situation där vegetationen i form av biomassa som ”slätterhö” från ”väg-ängar” kan komma att utnyttjas som en rationell biobränsleresurs (fastbränsle eller kanske ännu hellre som biogas alternativt bioetanol) kan chanserna öka för att större arealer ”väg-ängar” kan skötas ännu bättre. När det gäller vägar har vi som utgångspunkt en uppdelning i tre ”marktyper”:

- 1) Mark som redan har stor artrikedom. För att behålla och utveckla den är det viktigt att ta bort biomassan vid slåtter för att bibehålla växtnäringensstatusen eller tom magra ut jorden ytterligare,
- 2) mark med potential till större artrikedom, vilket inkluderar mark där slåtter och borttagning av biomassan magrar ut jorden på sikt och det finns en möjlighet att öka artrikedomen och
- 3) mark som inte har lika stort värde vad gäller artrik flora, men som energimässigt sett har en biomassapotentia genom att den är näringsrik. Ofta finns denna i anslutning till jordbruksmark där den inte sällan anses som ett problem av jordbrukarna genom hög förekomst av åkerogräs.

Grundtanken i detta arbete är att Trafikverket genom en liten förändring i skötsel mot ett mer dynamiskt angreppssätt skulle kunna skapa en generell ökning av den ekologiska kvaliteten i trafikområdena. Eftersom skötseln måste vara fortsatt rationell och kostnadseffektiv, handlar det om ny teknik men även små förändringar i skördetider och intervall. Utifrån den stora yta det handlar om finns det en stor potential att åstadkomma förändringar på landskapsnivå.

2.1. Väg-ängarnas ekologi

Traditionellt skötta ängar innehåller ungefär samma kärlväxtarter som naturbetesmarkerna. Samma sak gäller också i stort storsvampar och insekter. Skillnader finns, och det har visat sig generellt att ängar med lång slätterhistoria innehåller fler kärlväxtarter än motsvarande naturbetesmarker. Störst artantal uppvisar dock ängar som efterbetas. Såväl naturbetesmarkernas som ängarnas flora, fauna och funga går evolutionärt tillbaka till perioder då s.k. megaherbivorer spelat större roll i landskapet än som nu är fallet. För en närmare diskussion om naturbetesmarkernas biota se t.ex. (Emanuelsson *et al.*, 2009) och (Backéus *et al.*, 2016).

Bl.a skiljer sig ängar från naturbetesmarker genom att vegetationen i ängarna får stå orörd en bit in på sommaren vilket bl.a.medför att blomningen i en äng ofta upplevs som betydligt mer intensiv än vad som gäller en naturbetesmark. I en naturbetesmark sker tramp och djuren avlämnar gödsel och urin. Detta hjälper nyetablering av plantor samt diversifierar vege-

tationen. Detta är skälet till att de allra mest artrika ängarna är sådana som efterbetas. Väg-ängar efterbetas idag ytterst sällan, vilket sker fortfarande på sina håll, t.ex. på Balkan. Detta är en faktor att ta hänsyn till om man vill långsiktigt bevara artrika blommande vägkanter.

Ytterligare en faktor som kan vara värd att nämna i detta sammanhang är att kobetade naturbetesmarker ofta är betydligt mer artrika än motsvarande får- eller hästbetade sådana. Skälet är att kon sliter av gräs och örter med tungan och ”snaggar” alltså inte vegetation som får och hästar gör. Den avslitna vegetationen blir ojämn vilket medför en viss variation vilket gynnar ett högre artantal. På sikt finns det risk för minskad artrikedom i väg-ängar om slått skär vid samma tidpunkt år från år, enligt samma modell. Det finns skäl att fundera över hur man i väg-ängarna ibland kan efterlikna den påverkan som tramp och bete har på vegetationen eftersom det påverkar både vegetationens dynamik genom artkonkurrens och frögroning.

Naturbetesmarker och ängar kan med lämplig skötsel uppkomma under mycket skiftande abiotiska omständigheter. Vi har torra-våta, näringsrika-näringsfattiga ytor med högt resp. lågt pH, ytor med varmt klimat-ytor med kallt klimat. Själva jordmånen och jordstrukturen kan också variera brett. Det är viktigt att förstå denna variation så man inte tror sig kunna åstadkomma öländska vägrenar (varmt, högt pH, ganska näringsfattigt) i t.ex. centrala Småland, eller på skånska lerslätter. Både restaurerade och nyanlagda väg-ängar bör sträva efter att få den flora som är naturligt för ängar i de trakter som de ligger inom. På vägrenar som bara behöver måttligt restaureras är detta inget problem, men i sådana fall där omfattande åtgärder, och t.ex. insådd skall sättas in behöver man göra ett grundligare förarbete gällande både omkringliggande vegetation och förväntade miljövinster med investeringen.

Vad som är avgörande för att behålla eller få fram artrika och vackra väg-ängar är att den generella närsaltsnivån inte blir för hög. Många potentiellt artrika och vackra vägkanter lider idag av att framförallt kvävenivåerna är höga i marken. Detta gynnar storvuxna arter och ofta stora gräs. Slås sådana vägkanter och vegetationen/materialet lämnas kvar återcirkulerar närsalterna och eutrofieringsnivån stiger succesivt då vägkanterna ofta mottager närsalter genom nedfall och att de ofta påverkas av angränsande jordbruksmark. Träd och trädridåer som delvis eller helt skuggar vägrenarna minskar förutsättningarna för ängsvegetation där p.g.a. det ringa ljuset, men också genom att torrt partikulärt material med närsalter fastnar på blad och barr som sedan tvättas av och faller till marken när det regnar. Generellt mottar ytor under träd mer närsalter än motsvarande öppna ytor. Bortförelsen av slaget växtmaterial är alltså en grundbult för att behålla och få fram artrika och vackra vägkanter. Att hitta avsättningsmöjlighet för vägkantsvegetation/vägkantshö blir därför en nyckelfaktor för en god vägkants-skötsel.

När skall vägkanten slås? Tittar man på hur dagens slåttvallar sköts skulle man kunna tro att tidig slått är bra (början av juni är vanligt i Sydsverige). Men för slåttvallarna gäller att ta ensilaget eller höet i ett utvecklingsstadium då vallen har ett stort näringsvärde för den boskap som skall äta detta. Traditionellt slog man sina ängar i Sydsverige t.o.m. efter mitten av juli. Kunskapen om näringsvärdesförändringar över säsongen var ringa, man såg att man fick volymmässigt mest hö vid denna tid, och så gödslades inte ängarna såsom man gör med dagens slåttvallar som också består av några väl utvalda och förädlade arter. Det har också ofta hävdats att man väntade så pass länge med slått för att många arter skulle hinna fröa av sig och på så sätt förnya ängarna. De är dock tveksamt om detta var ett reellt argument för äldre tiders bönder. Det är också tveksamt om denna ”avfröning” spelar så stor roll för ängarnas långsiktiga produktion.

Idag har vi två argument för att vänta med slåttern till sent på säsongen, dels ger det en blomsterrikedom som vi önskar se, dels är en äng som blommar rikt och länge ett bra matförråd i form av nektar och pollen till många både vackra och nyttiga insekter. Till exempel ger det många humlearter en skjuts om det finns ängar i en trakt. Dessa humlor fungerar sedan som pollinatörer till många av våra odlingsväxter.

Finns det en insektsrikedom gynnar det t.ex. många av de fågelarter som är karaktäristiska för odlingslandskap. Dessa fågelarter blir allt ovanligare och kan gynnas med en bra ängsskötsel.

Man kan också fråga sig hur sent på säsongen som en väg-äng kan slå. Mycket sen slåtter t.o.m. på vintern kan gynna fröätande fåglar, men å andra sidan drar växterna tillbaka mycket närsalter till sina rötter på hösten och sen slåtter kan alltså medföra eutrofiering. Att enstaka år slå mycket sent är dock inte alls så negativt som att slå mycket tidigt och på så sätt ”missa” blomsterrikedomen. Sen slåtter gör dock materialet mindre lämpligt för biogasproduktion, men det kan istället användas t.ex. för bioetanolproduktion.

Eld eller bränning kan vara en skötselmetod som kan användas om skötseln av en eller annan anledning uteblivit ett år. Eld kan också vara en metod vid restaurering av väg-ängar, men kan inte ses som utbytbar mot slåtter eller bete. Bränning kan ses som en egen form av markanvändning som ger upphov till en specifik effekt på vegetationen (Milberg & Bergman, 2014).

För en väghållare som har ambitioner att väl sköta en väg-äng eller restaurera/nyanlägga en sådan bör det finnas uppföljningsverktyg. Det gäller alltså att framförallt följa vegetationsutvecklingen. Att här i detalj beskriva hur detta skall gå till är knappast möjligt. Man kan dock konstatera att ett uppföljningsverktyg måste vara enkelt att använda, det skall i princip gå att använda för en tidigare icke botaniskt kunnig person efter en dags utbildning. Ett viktigt steg för framtida bättre väg-ängar är att utforma ett sådant uppföljningsverktyg. Troligen skall det vara utformat så att bara några få lätt identifierbara ”målarter” skall följas.

2.2. Strategier för biologisk mångfald i väg- och järnvägsmiljöerna

2.2.1. Bevarande av kvaliteter

Slåttertillfället skall i väg-ängar med höga kvalitéer ske i princip efter juli månads mitt utifrån ett sydsvenskt perspektiv. Upp till en månad senare kan vara lämpligt i nordligaste Sverige. Dock kan det skilja på upp mot två veckor beroende på hur årsmånen ser ut. Slåtter bör dock alltid undvikas före midsommar, med tanke på biologisk mångfald.

Bortförelsen av materialet har i traditionella sammanhang ofta skett först efter några dagar efter slåtter, för att som man har sagt ”växterna skall hinna fröa av sig”. Om vi idag skall sköta väg-ängar rationellt, vid rätt tid och i ganska stor volym och föra bort materialet, blir det antagligen mycket mera kostsamt att besöka vägkanten med maskiner vid två tillfällen, istället för ett. Vi får därför inrikta oss på att materialet skall tas bort i samband med slåttern. Hur stor nackdel kan detta vara för vegetationen? Missar man det viktiga ”avfröingstillfället”? Ja, detta kan bli en nackdel på sikt om aldrig avfröing får ske på plats. Detta gör det ytterst viktigt att man inte skördar biomassan för tidigt utan låter frö mogna ut och falla till marken (Jacobsson, 1991) Vid optimal väg-ängsskötsel är det klart önskvärt att man vissa år väntar med insamling av materialet för att tillåta ytterligare avfröning. Då det dock är så att det hjälper inte bara med

att frö hamnar på marken, fröet måste också komma i kontakt med bar jord för att gro och bilda en planta. Med efterbete åstadkoms detta, men då vi längs vägkanterna knappast kan ha efterbetande kor borde man ta fram en metod som innebär att man skapar bara markfläckar de år som man väntar med insamlingen av materialet.

Just markberedning har förts fram som en viktig komponent för att bevara och skapa höga kvaliteter i ängsmiljöer. Det kan skapas genom bitvis luckring eller fräsning av spår i befintlig grässvål (Hammer, 1996). Kompletterande skötsel kan behövas i de lägen då en relativt högkvalitativ äng befinner sig i en situation med hög närsaltspåverkan. Träd kan behövas tas bort för att minska närsaltsnedfallet.

Det har gjorts flera inventeringsarbeten i järnvägsmiljö som visar på betydande naturvärden i järnvägsmiljöer. De arter som påträffas i järnvägsmiljö kan beskrivas som järnvägstypiska men även som järnvägsorganismer. De järnvägstypiska finns många stationsområden men förekommer också i det övriga landskapet. De flesta av dessa arter är kopplade till torräng, sandmark eller annan typ av näringsfattig väl-dränerad mark. Järnvägsorganismerna kan karakteriseras som arter som trivs i den specifika järnvägsmiljön men som också minskar i kringliggande landskap. Exempel på arter är klådris, rallarbi och svartpälsh. De största naturvärdena är knutna till stationsområden. Generellt är de höga värdena också kopplade till varma solbelysta ytor och följaktligen är det största hotet ingenväxning och förbuskning. Att bibehålla värdena kräver markbearbetning, slätter och slytåkt men kommer troligtvis inte generera några större mängder biomassa.

2.2.2. Restaurera

Det är ganska vanligt att tidigare vägkanter med väg-ängar kommit att "förfalla" en hel del. Detta har flera orsaker, men den kanske viktigaste orsaken är benägenheten att lämna avslaget material kvar, vilket medför eutrofiering och därmed en artutarmning. Också bruket att slå vägkanterna tidigt kan missgynna inte minst sådana växtarter som har ett kort liv och är beroende av att förnyas via frön. Också ingenväxning med sly kan minska blomsterrikedomen även om slyet slås av ibland, då slyet ofta hinner bli så välutvecklad att det hunnit skugga ut väg-ängarnas flora till stor del. Man skall också nämna att skötsel av omkringliggande marker kan ha en negativ inverkan på väg-ängarna. Framförallt är det när dessa ängar gränsar till åkermark som utvecklingen kan bli riktigt negativ. Dels kommer gödslingen av åkern ofta att spilla över på vägganten, vilket gör denna eutrof och artfattig. Dels kan användandet av herbicider som slår ut tvåhjärtbladiga växter medföra att väg-ängen blir helt gräsdominerad.

Vid en restaurering av en f d väg-äng så är det av avgörande betydelse att de faktorer som nämnts ovan elimineras. I sak innebär det att slättern ska ske sent på säsongen och att det avslagna materialet bortförs. Sly måste bekämpas intensivt, dock kan man tänka sig en typ av väggantsskötsel där "sly-produktion" sker. Se mer om detta nedan.

Mycket viktigt för om man långsiktigt skall lyckas med en restaurering är att den angränsande markanvändningen utförs på ett lämpligt sätt. En sprutfri kantszon är därför viktig om det gäller åkermark. Gödsling skall heller inte ske i omedelbar kontakt med vägganten.

Bara genom att eliminera de ovan nämnda negativa faktorerna ger dock inte alltid tillbaka en högkvalitativ väggant. Artutarmningen och eutrofieringsnivån kan ha gått för långt.

Eutrofieringen kan åtgärdas med intensiv slåtter och bortförandet av växtmaterialet. Det kan vara klokt att satsa på slåtter vid flera tillfällen under säsongen för att sänka eutrofieringsgraden. Någon större blomsterrikedom får man inte sådana år, men det är en åtgärd som kan ge vackra väg-ängar senare. En radikal åtgärd kan vara att schakta bort ytskiktet eller påföra näringsfattigt material t.ex. sand. En mycket radikal åtgärd kan vara upplöjning och insådd av en näringskrävande jordbruksgröda som sedan skördas.

När det gäller att återfå en artrik flora kan man vidta allt från ganska enkla åtgärder till riktigt kostsamma och intensiva sådana. Bland de relativt billiga åtgärderna hör bränning, fläckvis jordbearbetning och enkel fröspridning där närliggande ängars hö påförs.

Mer komplicerade metoder kan vara att systematiskt så in ängsväxter eller att plantera ängsväxter i form av pluggplantor. Det finns en del studier på etablering av äng på tidigare gräsytor där man visat att kostnaderna blir lägre vid restaurering än nyanläggning men man kan ändå anta att det är en komplicerad process att arbeta med i vägmiljö. Vid nyinsådd eller plantering av pluggplantor är det viktigt att platsen markbereds genom att grässvålen fräses upp eller att man luckrar ytan. Luckor bör vara 0,5-1 m² och spåren bör vara minst 7-10 cm. Man bör samtidigt hålla omkringliggande vegetation låg (Hammer, 1991; Hammer, 1996; Hammer, 1997; Jacobsson, 1991; Jacobsson 1992). En sorts insådd som kan ge snabba resultat är insådd av ängsskallra som är en halvparasitisk växt vilken parasiterar på gräs och får dessa att gå tillbaka. Detta kan ha viss betydelse för växtsamhällenas dynamik och öppnar för att mindre konkurrenskraftiga örter kan etablera sig (Westbury *et al.*, 2006).

En mycket aggressiv art, en s k invasiv art, är den nordamerikanska blomsterlupinen som helt kan dominera en vägkant. Under en period sådde Vägverket in just blomsterlupin längs nyanlagda vägrenar, för att snabbt få fram en spektakulär vegetation här. Idag kan det vara på sin plats att aktivt bekämpa blomsterlupinen för att ge utrymme åt en mer varierad flora. Ett strategiskt tänkande måste dock till för väghållaren. Dels upplevs blomsterlupinen som attraktiv av många människor och dels är det rent av en omöjlighet att utrota den totalt. Därför bör man välja att bekämpa denna växt just på sådana vägkanter där den börjat sprida sig och där det fortfarande finns kvar en hel del väg-ängsflora. Här kan en bekämpning bli till nytta. Andra ytor får fortsatt blomma spektakulärt kring midsommar och sedan övergå till tämligen intetsägande vägkanter.

Ett strategiskt tänkande behövs också ur en annan synvinkel när det gäller valet av vilka vägkanter man skall satsa på för att restaurera dem till väg-ängar. Riktigt vackra vägkanter lockar till blomsterplockning och att kunna njuta av dem på nära håll och detta bör man bejaka. Restaurering bör därför ibland prioriteras längs små vägar med ringa trafik och/eller längs vägar med bra parkeringsmöjligheter.

För vissa vägar kan det finnas tveksamheter rörande restaurering, då dessa kan dra till sig insekter t.ex. vissa dagfjärilar som kan vara hotade. Intensiv vägtrafik kan troligen gå hårt åt sådana populationer. Kunskapen om denna problematik är dock ringa.

Relationen mellan alléer/alléträd och väg-ängar kan se olika ut. Ibland står träden så tätt och ger så mycket skugga att det inte finns ljus nog till en väg-äng. Ibland samspelar en väg-äng väl med en allé. Troligen är det inte så lämpligt att välja alléer för att restaurera eller nyanlägga väg-ängar. En problematik i sammanhanget är svårigheterna att sköta slåttern väl i alléer.

Slutligen kan man påpeka här att det finns anledning att ha en varierande restaureringsteknik och skötsel längs en vägsträcka. Det är svårt att riktigt förutsäga hur man kommer att lyckas, resultaten kan variera en hel del. Det är heller inget fel om olika typer av väg-ängar finns på olika delar av en väg. Denna variation kan vara både till glädje för betraktaren, men också bidra till en större biodiversitet på landskapsnivå.

2.2.3. Utveckla och nyanläggning

Att gå från initialt ”fattiga” vägrenar till ”väg-ängar” kan vara önskvärt på många håll. Ungefär samma metoder som nämns under restaurering kan också tillämpas här. Skillnaden är att med de ”fattiga” vägrenarna kan man förfara tämligen brutalt. Det finns i praktiken inga värden som kan skadas vid ett för ”brutalt” tillvägagångssätt. Begränsningen ligger snarast i att få åtgärderna att bli så kostnadseffektiva som möjligt. Olika former av markbearbetning och eventuellt avbaning av ytlagen kan bli aktuella. Viktigt är insådden av ängsväxter som kan komma att etablera sig. Till detta behövs ofta relativt stora mängder frö. Att heltäckande så in, är antagligen för det mesta orealistiskt. Fläckvis insådd är antagligen att föredra, men avbaning av ytskikt på dessa fläckar är viktigt att göra.

Slutligen har vi helt nya vägrenar och ytor i anslutning till trafikplatser som blir resultatet när nya vägar anläggs. Här bör man eftersträva att ytskikten skall vara relativt näringsfattiga, men med relativt högt pH. Dock skall situationen någotsånär överensstämma med traktens traditionella ängar och naturbetesmarker. Alltså skall man inte anlägga hög-pH-ängar i typiska näringsfattiga urbergstrakter. Insådd av ängsväxter bör ske här.

Framförallt när det gäller nyetablering av väg-ängar kommer det att gå åt mycket frö. Dessutom är det väsentligt att fröet kommer åtminstone från regionala källor. Att köpa t.ex. holländskt frö är både oetiskt ur ett genbevarandeperspektiv och det är antagligen också ineffektivt då frö som kommer långväga från är ofta dåligt anpassat till de sammanhang de skall användas i. Idag finns det kommersiell uppförökning av regionalt ängsväxtmaterial i Sverige. Det skulle dock här behövas en tydlig nationell strategi om man framöver från t.ex. Trafikverkets sida bestämmer sig för en mer omfattande restaurering och nyanläggandet av väg-ängar. NordGen som är en organisation som lyder under Nordiska Ministerrådet har fört strategiska diskussioner i ämnet.

En metod som visat sig tidvis fungera mycket bra är att hämta hö från artrika ängar inom regionen och sedan sprida detta hö på ytor i vägrenen som markbetetts på något sätt, så att frö från höet får möjlighet att gro och att plantor kan etableras. I Skåne har hö från ett välkänt ängsområde öster om Lund, Kungsmarken, använts för att både nyanlägga och restaurera ängar. Exemplet Kungsmarken är särskilt intressant då Kungsmarkens ängar ligger på bördig jord och denna typ av mark hyser i princip inga ängar längre i Skåne. Relativt regionalt autentiska ängar har därför kunnat nyanläggas.

På samma sätt borde man kunna kartlägga runt om i landet, var det finns ängar som skulle kunna fungera som ”moderängar” vid utveckling och nyanläggning av väg-ängar. Det skall också här framhållas att det snarast behöver startas experiment kring restaurering och nyanläggning av väg-ängar. Det tar nämligen tid innan man får fram resultat i detta sammanhang. En hel uppsättning olika metoder måste testas, något som kan verka vara ofokuserat och dyrt, men skillnader i framgång för olika metoder har mycket stor betydelse om dessa sedan skall tillämpas i stor skala. Dessa experiment kan också kompletteras med en systematisk genomgång av de resultat som uppnåtts såväl av föreningar/företag/institutioner som av

privatpersoner. Kunskapen är dåligt dokumenterad, men troligen skulle intervjuer med de som anlagt olika former av ängar ge intressant kunskap för framtida anläggandet av väg-ängar.

Vilka vägrenar skall då prioriteras i detta sammanhang? Nyanlagda större trafikplatser och breda vägrenar kan ge relativt stora sammanhängande ytor som både kan skötas rationellt och samtidigt inte helt ”trängas” mot vägen, vilket ger bättre möjligheter för biologisk mångfald, t.ex. insekter och fåglar jämfört med smala vägrenar.

Också i landskapsavsnitt som nästan helt utarmats på ängar och naturbetesmarker bör man prioritera utvecklingsområden och nyanläggning. Framförallt om dessa nya väg-ängar kan fungera som spridningskorridorer mellan de sällsynta betes- och slåtterytor som finns kvar.

2.3. Avsnitt med låg potential för biologisk mångfald men med hög potential för bioenergi

Efter en genomgång av hur man kan förfara för att återfå och förbättra väg-ängar i landskapet kan det paradoxalt nog vara lämpligt att också diskutera vägkanter där ren biomassa-produktion skall stå i centrum. Som framgår tidigare i denna genomgång är inte mycket hög biomassaproduktion på slåttermark förenlig med hög biodiversitet. Skall man uppnå hög produktion behöver man gödsla och då minskar per automatik artantalet. Den högproducerande vägkanten kommer att domineras av gräs.

I ett större sammanhang kan det dock vara önskvärt att på vissa vägsträckor ha just högproducerande gräsytor. Skälet till detta är att biomassautbytet per körsträcka för de som skördar kan bli mycket högre om högproducerande ytor varvas med biodiversitetsrika väg-ängar. Ekonomin för grässkörden som kan användas för t.ex. biogasproduktion kan därmed förbättras. Gödsling kommer att behövas.

I ett idealfall förs en vägkantsplan för en väg eller ett landskap med vägar, där man på ett strategiskt sätt bestämmer sig för vilka vägkanter som innehåller högkvalitativa väg-ängar som bara fortsatt behöver skötas väl, väg-ängar som behöver utvecklas och restaureras, var nyanläggning av väg-ängar skall ske och slutligen var de produktionsinriktade vägkanterna skall ligga. En sådan plan behöver både ta hänsyn till vägarna, befintlig vegetation, kultur- miljövärden, sociala värden samt det omkringliggande landskapet. Planen kan både utformas så att den hjälper till att göra landskapet mer sammanhängande för växter och djur, men planen kan också användas för att komma fram till längs vilka vägsträckor en aktiv samplanering med åkermarken kan behöva ske. Till exempel genom att komma överens med markägare om sprut- och gödslingsfria kant-zoner och nyttja de nya ”Ekologiska fokusarealerna” som ingår i kraven för jordbrukarstöd i slättbygd (Ref <http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Jordbruksstod/JS21.pdf>).

2.4. Differentierade järnvägszoner med slätter, slyskörd och bete

Inte minst längs järnvägar, men kanske också längs vissa större vägar kan det vara intressant att försöka anlägga mera komplexa och breda kantzoner. Idag finns krav på ”trädsäkring” längs järnvägarna. Detta innebär där järnvägen går i skogsmark att en relativt bred zon skapas där sly regelbundet måste huggas. Nyligen har i en rapport från SLU (Emanuelsson *et al* 2015) visats att sly är en stor biomassaresurs som kan skördas på många håll i landskapet.

Ganska kort omloppstid kan ge ett resultat som liknar det vid ängsskötsel. Det har t.ex. visat sig i många studier från Storbritannien att många dagfjärilar som vi normalt förknippar med relativt trädrika betes- och slåttermarker kan klara sig bra i s.k. skottskogar (eng. coppice). Regelmässigt återkommande sly-skörd längs järnvägar skulle i praktiken ge upphov till skottskogsliknande miljöer. Skottskogarnas bryn mot öppen mark har visat sig vara en mycket intressant zon i landskapet för en rad växter och djur. Om man anlade och skötte ett buskfritt slåtterstråk närmast järnvägen skulle man få både en äng som med ett intressant bryn övergick i en skottskog. Detta skulle bli viktiga miljöer i landskapet för många djur- och växtarter. En fördel med att inte låta buskarna komma ända fram till järnvägen/vägen skulle vara att vilt som rådjur och älg i mindre grad skulle bli en trafikfara. Estetiskt skulle denna kombination av skottskog och äng bli tilltalande i landskapet. Skörden på ytan kunde alltså både ge upphov till sly som gick till förbränning och ängsvegetation som blev biogas eller bioetanol.

En vidare utveckling av detta koncept skulle vara att ha betesdjur åtminstone i den buskfria zonen närmast järnvägen/vägen. Detta förutsätter dock mycket säkra stängsel, men å andra sidan kan sådana stängsel också vara befogade för att hålla vilt ute från järnvägen. Då behövs höga, älgssäkra stängsel.

Man kan också tänka sig att buskzonen också blir betad. Ett sådant bete, beroende på intensiteten sätter dock ner slyproduktionen vilket gör slyskörden, när den genomförs mindre ekonomiskt försvarbar. Bete i anslutning till vägar/järnvägar blir dock mer lönsamt om man kan göra den betade ytan betydligt bredare än bara en öppen zon samt en buskzon. Ingår skogsbete och eventuellt annan öppen mark kan lönsamheten bli bättre. Pågående studier inom SLU visar att ett måttligt skogsbete kan ge mycket små skador på skogen om nöt används. Getter skadar dokumenterat skog och hästar kan göra detta. Får ger en mindre intressant flora än nöt. Här pågår utvecklingsarbete. Antagligen kan man tänka sig att olika betesdjurslag används i olika väg/järnvägssammanhang. Vill man t.ex. definitivt bli av med buskarna så kan t.ex. getbete vara att föredra.

2.5. Maskinutveckling för olika behov och funktioner

Mycket av det som beskrivits ovan innebär att maskiner skall användas. Dagens maskinpark kanske bara är måttligt anpassad till de skötsel- och anläggningsåtgärder som skissas. Nya maskiner och modifiering av befintliga maskiner behövs. Vissa skillnader föreligger när det gäller vägar och järnvägar. Dagens järnvägar kan i mycket liten grad användas som bas för vegetationsskötsel då dessa är mycket upptagna av tågtrafik. Järnvägarnas kantområden måste därför skötas med maskiner som rör sig inom dessa kantområden. Detta innebär att maskinerna måste vara väl anpassade till besvärlig terrängkörning. Vägarnas kantzoner kan däremot skötas till största delen med vägen som bas. När det gäller det arbete som skall utföras finns inga större skillnader när det gäller vägar eller järnvägars kantzoner. Här skall inte möjlig maskinutveckling beskrivas i detalj. Vissa enkla specifikationer görs dock nedan vad som kan behövas för morgondagen när det gäller en avancerad väg- och järnvägskant skötsel. Här skall inte detta utvecklas mer, utan här listas bara några möjliga utvecklingsvägar:

2.5.1. Maskiner som hugger på olika sätt och maskiner som efterliknar bete

Det är en fördel om huggande maskiner kan kontinuerligt variera slåtterhöjden. Detta för att anpassa skötseln efter den vegetation som finns på platsen. I vissa lägen finns det behov av att kapa vegetationen så nära marken som möjligt. Detta gäller t.ex. vid restaurering av närings-

rika välganter eller där man önskar utarma icke önskvärd vegetation som t.ex. blomsterlupin och älggräs, genom att upprepat under säsongen slå välganten och bortföra materialet.

En mycket intressant utvecklingsväg är möjligheten att ta fram maskiner som kan efterlikna bete. Åtskilligt utvecklingsarbete behövs antagligen här. Det är främst nötkreatursbete som behöver efterliknas. Nötkreaturen sliter med tungan av vegetationen. Detta ger som resultat en ojämn vegetation som gör det möjligt för en större ekologisk bredd av växter att samexistera på små ytor. Betet har också den sekundära effekten att det ger upphov till smärre markskador efter tramp och sparkar. I dessa ytor där jorden blottas sker mycket av kärllväxternas nyetablering. Framförallt små och konkurrensvaga arter behöver jordblottor, inte minst arter där plantorna är ettåriga eller bara lever några få år. Mera perenna arter behöver också en möjlighet att fröetablera sig, då de också ofta har en begränsad livslängd p.g.a. att de blir mer och mer belastade över åren av predatorer och parasiter (här ingår virus- och nematodinfektioner).

2.5.2. Maskiner som kan förbereda mark för insådd samt för sådd

Att så i etablerad vegetation är ofta inte alls framgångsrikt. Marken behöver förberedas. Man kan ha olika ambitionsnivåer. Den högsta ambitionen innebär att marken både utarmas på näringsämnen samt görs så ogräsfri som möjligt. Utarmningen kan ske genom insådd av en mellangröda, t.ex. vitsenap eller bovete. Potatis är en effektiv växt för ändamålet, men här stöter vi antagligen på för stora praktiska problem. Ogräsbekämpningen kan ske genom harvning. I enstaka fall kan kemisk bekämpning komma i fråga.

En något lägre ambition innebär harvning, så att mycket jord blottas. Detta skall naturligtvis bara göras om väg/järnvägs-kanten hyser mycket begränsade floristiska värden. Sådd kan i detta fall ske på förhösten. Fröna kan spridas och lätt/grund nermyllning kan ske.

Hyser väg/järnvägs-kanten hyggliga - höga floristiska värden bör blottor göras i den slutna vegetationen och sådden koncentreras hit. En maskin som klarar detta behöver antagligen utvecklas.

2.5.3. Maskiner som sätter pluggplantor

Idag finns i Sverige kommersiell uppförökning av betes- och slåtterväxter. Till stor del är det regionalt material som används. Skall man i framtiden använda större mängder pluggplantor behövs en långsiktig planering och samarbete med firmor som behärskar uppförökningstekniken. Pluggplantorna, egentligen jordpluggarna som växterna står i, kan lämpligen ha en diameter vid markytan på ca 5 cm. Djupet bör vara kring 10 cm. Exempel på arter som kan vara lämpliga att plantera/sätta är slåttergubbe, ängsvädd, blodnäva och backsippa. Upp till 100 olika arter kan komma ifråga.

Maskinerna som skall sätta dessa pluggplantor bör vara utformade så att de river av grässvålen på en yta av ca 20 x 20 cm och omedelbart i blottan sätter pluggplantan.

2.5.4. Maskiner för lupinbekämpning

Blomsterlupinen behandlas ovan i detta arbete och det behövs alltså framförallt för denna art en effektiv maskinell bekämpning. Antagligen behövs en hel del experimenterande för att komma fram till en bra maskin. Dessutom bör maskinutvecklingen samordnas med studier när på året bekämpningen skall sättas in och frekvensen på bekämpningen (det kan vara fråga om

att återkomma upprepat till samma lupinbestånd). Två strategier kan man tänka sig. Den enklare strategin innebär enbart avkapning av lupinens ovanjordiska delar. Här kan antagligen redan befintliga slåtteraggregat duga. Den mer avancerade strategin innebär att lupinens rot angripes, dras eller grävs upp.

2.6. Inventeringar och prioriteringar

Kartläggningar behövs för att få en bild av var det finns väg-ängar kvar med varierade kvalitet. Hur ser de optimala väg-ängar ut på olika håll i landet, bör man fråga sig? Den regionala variationen bör kartläggas och jämföras med andra ängar.

Slutligen bör en grov strategi tas fram för var och på vilket sätt olika vägkanter kan utvecklas, och nya väg-ängar anläggas.

Man bör fråga sig var det finns störst vinster att göra ekologiskt och socialt vid restaurering och nyanläggning, samt hur den nya skötseln kan bli ekonomiskt bärkraftig?

2.7. Sociala aspekter av skörd

Om man skulle öka frekvensen av väg-ängar i landskapet skulle detta antagligen upplevas som positivt av många människor. Att gå från upplevelse till att faktiskt nyttja väg-ängarna till närstudier och blomlockning skulle många nog också önska sig. Dock är detta inte så lämpligt längs mer trafikerade vägar. Därför kan man i planeringen kanske göra prioriteringen att mindre, cykelvänliga vägar och vägar med parallell cykelbana, samt cykelbanor skulle prioriteras. Längs sådana stråk kanske de mest resurskrävande satsningarna kunde göras. Möjligheten att närma sig väg-ängarna ”bakifrån” kanske inte alltid är en så uppenbar möjlighet. Detta kan vara ett alternativ i anslutning till mer trafikerade vägar om man vill att människor skall få en närkontakt med väg-ängar på vissa punkter längs en väg. Speciella stigar eller bara enkla genomgångar av staket kunde vara en metod, där bredden och vägutformningen inte gör att säkerhetsrisker uppstår.

Som i alla fall med avancerad landskapsvård och där man försöker få tillbaka olika kvaliteter i landskapet är det också lämpligt med informationsskyltar som berättar t.ex. om restaurering, men också om kulturhistoria och arter som finns i väg-ängarna. Sådana skyltar bör naturligt nog mest placeras i anslutning till p-platser.

2.8. Sammanfattning

- Vägkanter har en stor potential för utveckling av biologisk mångfald, framförallt genom förändrad och anpassad skötsel.
- Skötseln har primärt inriktats 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 ytor som i nuläget inte har något unikt värde.

- Näringsnivåerna, slåttertidpunkter och uppsamling av material är kritiskt för ytornas värden och möjliga utveckling. Det finns även en stor utvecklingspotential för anpassning eller utveckling av teknik som lämpar sig för ändamålet.

2.9. Referenser

- Backéus, I., Emanuelsson, U. & Petersson, M. 2016. The Rural Landscapes of Northeast Asia. Emanuelsson, U., Carlsson, B. & Backéus, I. 2009. Europeiska kulturlandskap: hur människan format Europas natur. Stockholm: Formas.
- Hammer, M. 1987. Äng i urban miljö – anläggning och skötsel, en kunskapsöversikt.
- Hammer, M. 1991. Anläggning av blomsteräng i urbana friområden: orienterande experimentella studier. Alnarp: Sveriges lantbruksuniv.
- Hammer, M. 1996. Gräsmatta blir blomsteräng, *Gröna Fakta*, 7:8.
- Hammer, M. 1997. Med naturen som förebild. Ingår i: Bengtsson, Rune (red.) (1997). Perennboken med växtbeskrivningar. 2. [uppl.] Stockholm: LT Ingår i: Dahlsson m. fl. Kunskaper om gräs. Alnarp:
- Jacobson, E. 1991. Skötsel av stadens ängar. *Gröna Fakta* D6. Alnarp: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Milberg & Bergman. 2014. Vårbränning är inte ett långsiktigt skötselalternativ till bete eller slåtter av värdefulla artrika gräsmarker, *Svensk Botanisk Tidskrift* 108:6.
- Trafikverket. 2017. "Sveriges vägnät." Text. Trafikverket. Accessed March 20. <http://www.trafikverket.se/resa-och- trafik/vag/Sveriges-vagnat/>.
- Westbury, D.B., Davies, A., Woodcock, B.A. & Dunnett, N.P. 2006. Seeds of change: The value of using *Rhinanthus minor* in grassland restoration. *Journal of Vegetation Science*, 17: 435–446. doi:10.1111/j.1654-1103.2006.tb02464.x

3. UPPSAMLING OCH LOGISTIK

Effektiv uppsamling och effektiva transport- och lagringsmetoder är avgörande för hanteringssystemens ekonomiska och miljömässiga hållbarhet. Enbart slåtter och röjning av vägsränor kostar det svenska samhället idag närmare en miljard kronor per år (Bäckström, 2014). I detta kapitel redovisas metoder och tekniker för uppsamling, transport och mellanlagring av materialet direkt efter skörd. Teknik för skörd av gräs, örter, m.m., längs vägar (kapitel 3.1) och järnvägar (kapitel 3.2), samt för skörd av vedartad biomassa (kapitel 3.3) presenteras, liksom sammanfattande synpunkter när det gäller val av teknik i en framtida pilotstudie (kapitel 3.5).

3.1. Skörd längs vägar

3.1.1. Exempel på studier beskrivna i litteraturen

Under år 1999 genomförde SLU, på uppdrag av dåvarande Vägverket, en studie av skörd, hantering och användning av biomassa uppsamlad från vägkanter runt Göteborg (längs E6, väg 168 och väg 570) och på Öland (längs väg 925 och väg 940) (Durling & Jacobsson, 2000). Skördemaskinen, som var traktordragen (125 hk), var av typen slagslätteraggregat med uppsamlande funktion (Herder Grenadier MBK 135 S). Vegetationen slogs alltså av med hjälp av slagor, varefter det transporterades av en skruv till mitten av aggregatet, där en sugfläkt blåste över materialet till en efterföljande container, vagn eller rundbalspress. Maskinen hade en slåtterbredd på 1,3 m och en räckvidd på 7 m. Tidsstudier visade att den genomsnittliga körhastigheten vid uppsamling av materialet var 2,7 km/h jämfört med ca 6 km/h vid ordinär avslagning utan uppsamling. Det fanns ingen väsentlig skillnad i körhastighet när uppsamlingen gjordes i container eller i ensilagevagn (Durling & Jacobsson, 2000).

För containern var den genomsnittliga tiden mellan tömningarna 2,8 timmar (Göteborg) och för ensilagevagnen 0,8 timmar (Öland). Fyllnadsgraden var dock endast ca 50 % i det förra systemet, medan det var ca 80 % i det senare. Skillnaderna berodde framförallt på tillgången på ytor för växling av container respektive tömning. Tömningen av ensilagevagnen kunde ske på flera ställen samtidigt som avståndet mellan tänkbara tömningsställen var kortare. För båda systemen var den totala energiåtgången för skörd ca 510 MJ/ton och den totala kostnaden ca 770 kr/ton, motsvarande ca 420 kr/km. Analyserna visade att körhastigheten och fyllnadsgraden är kritiska parametrar för de totala skördekostnaderna, där den förstnämnda faktorn påverkas av val av teknik, vegetationens beskaffenhet, hinder i form av t.ex. stolpar och förarens skicklighet, och den sistnämnda av utformningen av systemets totala organisation och logistik (Durling & Jacobsson, 2000).

I samband med försöken provades också skörd med en slaggräsklippare (LMV Kantklippare) utanför Kungälv. LMV Kantklippare var utrustad med sugslang och uppsamling i nätsäck (Vägverket, u.å.). Jämfört med de system som Durling och Jacobsson (2000) redovisar, så var kostnaderna högre (ca 500 kr/km). Orsaken till detta var främst tätare stopp för säckbyte, vilket gav en lägre produktivitet totalt sett. Annars konstaterade man att maskinen var mycket smidig (Vägverket, u.å.). Samma skördekostnad erhöles också när Herder-maskinen på Öland (se ovan) kombinerades med en rundbalspress. När en bal var pressad ställdes den av vid vägkanten. Även detta ekipage ansågs i försöken vara ”smidig”. Ett sätt att minska kostnaderna är att köra i två-skift, vilket ger ca 25 % lägre kostnad (Vägverket, u.å.).

Montgomery Wildlife Trust (Delafield, 2006) rapporterar om ett projekt i Wales (Living Highways Project) där man undersökte insamling av vägkantsvegetation i större skala. I projektet studerades hela kedjan från slåtter till produktion av biogas eller kompostering av det insamlade materialet. I försöken konstaterades att mängden biomassa per km varierade stort beroende på typ av växtlighet, antalet skördar per år, tidpunkt för slåtter, m.m. Ett typiskt intervall angavs dock vara 300-400 kg torrsbstans (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 slagslåttermasin (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. Generellt var dock maskinens körhastighet ungefär hälften av den körhastighet som är normal vid slåtter utan insamling. 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 anslutning till denna studie beräknades också den totala energikvoten, från slåtter till produktion av biogas, till 5,6-6,6 (Gunton, 2006).

I en dansk studie (Birkmose m.fl., 2013) uppskattades kostnaden för skörd med slagslåttermaskin 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).

Svevia, som bl.a. ansvarar för skötseln av det statliga vägnätet i Sverige, har undersökt den internationella marknaden när det gäller flerarmade slåtteraggregat som skulle kunna vara lämpliga under svenska förhållanden (Bäckström, 2013; Bäckström, 2014). Syftet var att hitta nyutvecklade teknik som ger högre produktivitet och lägre kostnader jämfört med ”dagens” (2013) teknik (i studien ingick ej uppsamling av biomassan). För praktiska tester valde man en MULAG-maskin med frontklippare, stolpröjare och armklippare (monterad på traktorns sida). Resultaten visade att man kan göra besparingar på 37 % (tidsmässigt) respektive 29 % (kostnadmässigt), bl.a. tack vare bredare ”kördragsytor” med flerarmade maskiner (upp till max 2,8 m). I beräkningarna var kostnaden för maskinen (traktor med klippare) 850 kr/tim och körhastigheten 2,5 km/tim (utan stolpröjare) och 2,0 km/tim (med stolpröjare). Med arbetsbredder på upp till 1,5 m på dagens maskiner, behövs flera rundor om släntbredden t.ex. är 10 m. En viktig fördel med bredare slåtterdrag är att olycksrisken och trafikstörningarna minskar p.g.a. kortare utförandetider (Bäckström, 2014).

3.1.2. Skördeteknik – en kort översikt av dagens marknad

På marknaden finns ett flertal maskiner för slåtter och uppsamling längs vägkanter och järnvägar (för skörd av vedartad biomassa, se kapitel 3.3). En tillverkare är MULAG i Tyskland (MULAG, 2016) (Figur 3.1). Företaget säljer hydrauldrivna slagslåttermaskiner med olika (effektiva) arbetsbredder; 0,5 m, 1,2 m och 1,6 m, men andra alternativ finns också. Maskinerna kan vara front- eller bakmonterade, och man kan ha upp till tre kranar monterade samtidigt (dock ej vid uppsamling), varvid man får en betydligt bredare slåtteryta.

Kranarmarna har en räckvidd på upp till 7 m. Slätteraggregaten har sensorer för hinder, t.ex. stolpar, som de automatiskt kan vika undan för. Bäckström (2014) uppger att MULAG har en marknadsandel på 85 % i Tyskland, Nederländerna och Belgien.

En annan tillverkare är Trilo i Nederländerna (Trilo, 2016). Företaget tycks framförallt vara inriktat på tillverkning av sugfläktsmaskiner med tillhörande vagnar och olika applikationer för dessa (Figur 3.2).



Figur 3.1. Slätter och uppsamling med en MULAG SB 500-maskin (Källa: MULAG (2016); bilden publicerad med tillstånd från MULAG Fahrzeugwerk, Heinz Wössner GmbH u. Co. KG, Gewerbestrasse 8, 77728 Oppenau, Germany).



Figur 3.2. Slätter och uppsamling med en Trilo-maskin (Källa: Trilo (2016); bilden publicerad med tillstånd från Trilo, Vanmac BV, Astronaut 40, 3824 MJ Amersfoort, The Netherlands).

Andra exempel på tillverkare är Maschinenfabrik Dücker i Tyskland (Dücker, 2016) och Herder i Nederländerna (Herder, 2016). Herder (2016) uppger att deras slätteraggregat har en mer skonsam inverkan på växtligheten och att den därför passar bättre där större biologiska

hänsyn behöver tas. Några av företagen anger ganska höga körhastigheter (upp till 10 km/h), men några aktuella officiella tester när det gäller kapaciteter m.m. har inte hittats i litteraturen. I kapitel 3.4 finns länkar till Youtube-filmer, där man kan se maskinerna i arbete.

3.1.3. Transport och lagring

Det finns en mängd olika alternativ när det gäller vidare hantering av det skördade materialet från väg- och järnvägs kant till vidareförädling och/eller slutlig användning. Tekniken för skörd bestämmer till stor del om biomassan ska hanteras löst, i form av balar eller som flis. Alternativen för lagring är också många, t.ex. löst i stack, som obehandlade eller som inplastade balar, i ensilagerullar, m.m.

I den ovan nämnda studien av Durling och Jacobsson (2000) undersöktes transport av biomassan med hjälp av containrar på lastbil (varje ekipage inkl. släp kan ta upp till tre containrar) samt med uppsamling i ensilagevagn, tömning vid väggkant, lastning med gripskopa och transport i lastbil med släp. För containersystemet var tidsåtgången 40 minuter för tömning av tre containrar och 20 minuter för byte av tomma containrar till fyllda. Den totala kostnaden var 149 kr/ton vid en transportsträcka på 84,5 km. Den totala kostnaden för transport med lastbil (inkl. släp) för samma sträcka var 243 kr/ton. I beräkningarna för lastbil användes en lastdensitet på 185 kg/m³, en lastningstid på 23 min per traktorlass x 8 traktorlass per ekipage, tid för täckning 20 min per tillfälle och tid för tömning 60 min. Författarna konstaterade att en låg fyllnadsgrad var en kritisk faktor för containersystemet, och för lastbilssystemet med gripskopa var tidsåtgången för lastning, täckning och tömning en viktig ekonomisk parameter (Durling & Jacobsson, 2000).

För vidare hantering och lagring beräknade Durling och Jacobsson (2000) att kostnaden för stationär pressning till rundbalar och inplastning var 175 kr per ton skördad biomassa (kapacitet 10 ton/tim), pressning till "ensilagerullar" var 33 kr per ton skördad biomassa (kapacitet 30 ton/tim), samt tillverkning av pellets 303 kr per ton skördad biomassa (anläggningen antogs ha en kapacitet på 8 ton/tim). Metoden med lagring av löst växtmaterial i långa inplastade "korvar" ("ensilagerullar") hade alltså lägst kostnad. Denna teknik kräver dock tillräckligt stora ytor och lämplig lokalisering av lagringsplatsen, och måste dessutom passa in i en helhetslösning från väg/järnväg till slutlig användare. Tillverkning av pellets är till stor fördel när det gäller kostnaderna för efterföljande transporter, lagring och förbränning, men detta system förutsätter att det finns en tillverkningsanläggning i närheten.

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 m³. Lasten tömdes på marken vid speciellt utvalda s.k. "bulking sites", t.ex. 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 skördarekipaget förses med en balpress som lämnar av balarna vid väggkanten 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; slätter 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.

Företaget Orkel i Norge har byggt rundbalspressar enligt ”swing out” principen för vägskötsel. Traktorn kör på vägen medan pressen går ut på vägkanten och samlar upp det redan avslagna materialet med en pick-up. Alternativt slås vegetationen av med ett rotorslätteraggregat och vegetationen samlas upp direkt i rundbalspressen utan att materialet läggs på marken. Med den senare metoden utförs alltså avslagning och rundbalspressning i ett moment.

3.1.4. Logistiksystem

Logistik är ett begrepp som definieras som processen att ”leda och kontrollera materialflöden samt till dessa kopplade resurs-, informations- och monetära flöden”. Syftet är ”att uppnå högsta möjliga effektivitet genom bra service och låga kostnader, för att därigenom tillfredsställa olika parter i en flödeskedja.” (Wikipedia, 2017). I detta sammanhang handlar logistik om att utforma kostnadseffektiva system för hantering av biomassan från slätter/avverkning till förädlare/användare med högsta möjliga bibehållen kvantitet och kvalitet, d.v.s med minimala förluster i hanteringskedjan. Studierna av Durling & Jacobsson (2000), Delafield (2006), Meyer m.fl. (2014), Van Meerbeek m.fl (2015) och Voinov m.fl. (2015) indikerar att valet av logistiksystem är starkt beroende av den valda tekniken (skördeteknik, transportteknik, lagringsteknik), biologiska faktorer (mängd biomassa per km, skördeintervall) och av geografiska faktorer (t.ex. transportavstånd och lokalisering av mellanlager och slutanvändare/förädlare). Det mest kostnadseffektiva systemet är därför starkt platsspecifikt.

Generellt är s.k. ”kalla” logistiksystem ofta att föredra framför ”heta” system. Med ”heta” system avses sådana där de olika leden i maskinkedjan är beroende av varandra tidsmässigt och där fördröjande väntetider därför kan uppstå. Ett exempel på ett ”hett” system är containersystem. Vid ett starkt begränsat antal containrar, vid långa transportavstånd och vid stor variation i mängden avverkad biomassa per km, är risken stor att skördekipaget tvingas vänta på ankomsten av tömda containrar. Containersystem kräver också plana och tillräckligt stora ställ- och omlastningsytor med lämpliga avstånd sinsemellan (Durling & Jacobsson, 2000). Jämfört med system baserade på tippning av materialet, t.ex. tippning av ensilagevagnar, kan däremot vistelsetiden för materialet vid ställ-/omlastningsytan blir kortare för containersystem. Detta kan vara en fördel om särskilda upplåtelsestillstånd behövs av markägarna.

En annan viktig faktor som lätt kan glömmas bort är lokaliseringen av olika depåer (Delafield, 2006). Lämpliga parkeringsdepåer för maskinerna, dit de återvänder efter dagens slut eller vid helger, är en viktig kostnadsaspekt eftersom det kan ta mycket tid för transport av personal vid dagens början och slut, och av maskiner från skördeplats till depå.

3.2. Skörd längs järnvägar

För järnvägar finns det olika skötselzoner, beroende på avståndet från rälsen. På själva banvallen måste vegetationen hållas borta helt av säkerhetsskäl: signaler kan döljas,

bromssträckan förlängas och banvallens dräneringsförmåga bli sämre (Jamaldar & Olausson, 2013). Vidare ökar halkrisken för växlings- och underhållspersonalen, besiktning av spåren försvåras och brandrisken ökar vid torr väderlek. Idag används oftast kemiska metoder för denna vegetationsbekämpning, framförallt Roundup Bio. Skälet är att denna metod ger lägre kostnader och längre verkan än alternativa metoder. Nackdelar med kemiska metoder är bl.a. risken för att vattentäkter kan kontamineras. Bekämpningen utförs vanligen med spårbundna fordon. Utredningar av alternativa bekämpningsmetoder har gjorts av bl.a. SLU i Alnarp (Huisman, 2001; Eriksson m.fl. 2004).

På ett avstånd av 20 m från spårens mitt har Trafikverket fram till juni 2016 trädssäkrat ca 400 mil järnväg i landet (Trafikverket, 2017a). Denna skötselzon, som alltså sträcker sig från banvallen till 20 m från spårets mitt, kallas skötselgata. Därefter följer en kantzon, där Trafikverket genom servitut också har rätt att ta bort sådana träd som anses utgöra en risk för tågtrafiken. I skötselgatan får ingen vedartad vegetation finnas närmast spåret (endast örter, gräs, m.m). Längre ut från spåret kan lågvuxna buskar finnas, medan högre buskage och mindre träd kan sparas närmast kantzonen. Syftet är att få en mjuk övergång från spåren till kantzonen, vilket i sin tur gynnar den biologiska mångfalden. Vid järnvägar utan skötselgator på 20 m, tas alltid s.k. riskträd ned (Trafikverket, 2017a).

Röjningen upphandlas och utförs av entreprenörer. Idag används ofta spårbundna fordon för röjningen närmast spåren, men Trafikverket tror att andra metoder kommer att bli vanligare framöver, t.ex. motormanuell röjning (Trafikverket, 2017b). Infranord använder spårbundna grävmaskiner med buskröjningsaggregat som har en räckvidd på 7 m (Infranord, 2017). För uppsamling av biomassa finns olika typer av spårbundna maskiner. De som hittats i litteraturen eller på internet handlar dock enbart om insamling av vedartad biomassa (se t.ex. QTS Group, 2017). Uppsamling av icke-vedartad biomassa med spårbundna maskiner tycks inte förekomma längs järnvägar, men i princip bör samma utrustning kunna användas som används längs vägar. Icke-spårbunden röjning av vedartad biomassa behandlas i nästa kapitel.

3.3. Skörd av vedartad biomassa

Begreppet vedartad biomassa kan innefatta allt från nyuppkommet sly till grova träd. Här presenteras teknik för vedartad biomassa som normalt inte är möjlig att slå av med traditionella slagslättermaskiner. Oftast arbetar dessa maskiner vid sidan av själva vägen/järnvägen. Vid mindre vägar kan dock vägutrymmet behöva tas i anspråk, vilket kan ge trafikstörningar.

3.3.1. Avverkning med skogsbaserad teknik

För tillvaratagande av sly av grövre dimensioner (minst 3-5 cm diameter i brösthöjd) kan man använda samma teknik som används inom skogsbruket för avverkning av klena träd (Iwarsson Wide, 2009; Emanuelsson *et al.*, 2014; Andersson *et al.*, 2016). Flerträdshanterande aggregat är f.n. den mest effektiva metoden för detta ändamål (Figur 3.3), särskilt vid röjning och tillvaratagande av biomassa längs vägar, järnvägar, åkerkanter, kraftledningsgator, m.m. Aggregaten kan monteras på skotare, som också samlar ihop materialet, eller på skördare för senare skotning. Aggregaten kapar/klipper stammarna en och en och ackumulerar dem stående till en bunt, som sedan läggs i skotaren/vältan. Själva fällningen kan göras med hjälp av en klipp, sågklinga eller sågsvärd. Sågning går snabbare men passar sämre i stenig terräng jämfört med klippning.



Figur 3.3. Exempel på flerträdshanterande ackumulerande fällningsaggregat (fällhuvud med klipp (t.v.), fällhuvud med sågklinga (mitten) samt skördaraggregat med sågsvärd och matarvalsar (t.h.) (Källa: Andersson *et al.* (2016), publicerat med tillstånd från fotografen Maria Iwarsson Wide).

Kostnaden för avverkningen är starkt beroende av tidsåtgången för fällning och sammanföring av slyet (Emanuelsson *et al.*, 2014). Tidsåtgången per avverkad mängd är i sin tur starkt beroende av framförallt två faktorer: stammarnas medeldimension och beståndstätheten. Stammarnas medeldimension (den s.k. medelstammen) beskriver antalet m³ fast volym per stam (under bark) eller antalet kg TS per stam, medan beståndstätheten beskriver antalet stammar per ha (eller antalet m³ fast volym under bark per ha eller antalet ton TS per ha). Kostnaderna stiger praktiskt taget exponentiellt ju mindre medelstammen blir. För att veta om det överhuvudtaget är lönsamt att använda teknik från skogsbruket, behöver det därför finnas en enkel och kostnadseffektiv metod för att uppskatta uttagsvolymerna. Emanuelsson *et al.* (2014) pekar på att laserskanning skulle kunna vara en sådan teknik, med vars hjälp man kan uppskatta trädens höjd och täthet.

Avverkningen utgör den viktigaste kostnadsposten vid slytäkt. För att det ska vara lönsamt att avverka längs vägar med skogsbaserad teknik bör uttaget vara minst 40 ton TS sly per km vägsträcka (Emanuelsson *et al.*, 2014). Generellt är avverkning ofta lönsamt om slyets diametrar är från 5-6 cm i brösthöjd. Om diametrarna till största del är under 3 cm i brösthöjd, bör släntklippning övervägas (Emanuelsson *et al.*, 2014). Släntklippning av sly längs vägar kostar ca 2 500 kr/km (båda vägsidorna röjs). Kostnaden är dock starkt beroende av stammarnas diameter och därmed av maskinens körhastighet. Om diametern är mindre än 4 cm i rotskåret, blir körhastigheten ca 3 km/h och kostnaden ca 1 000 kr/km, medan kostnaden blir ca 3 500 kr/km om diametern vid rotskåret är ca 10 cm (och hastigheten ca 1,0 km/h) (Emanuelsson *et al.*, 2014). Vid traditionell släntklippning samlas dock inte materialet upp, utan det får ligga kvar vid vägkanten.

För vägkanter med vedartad vegetation behöver vidare studier göras för att utreda vid vilka uttagsvolymerna som teknik baserad på skotare/skördare utrustade med fällningsaggregat blir mer kostnadseffektiv än släntklippning med uppsamling. Iwarsson Wide (2009) visade att röjning av buskar och småträd i yngre bestånd längs skogsvägar med ett ackumulerande Bracke-aggregat gav en nettovinst på 500 kr per km. Materialet buntades för senare flisning. Om man hade tagit ut bränslet med hjälp av släntklippare, med efterföljande skotning och

flisning vid väggkant, hade vinsten kunnat vara upp till 20 gånger högre per km (Iwarsson Wide, 2009; Jägerbrand & Hellman, 2014). Slyets ålder och täthet har alltså stor betydelse för vilken teknik som blir mest kostnadseffektiv. Släntklippare med en anordning för uppsamling av flisat material har utvecklats och testats av en entreprenör utanför Gävle (Bioenergiportalen, 2014). Metoden har fungerat, men en del utvecklingsarbete återstår.

3.3.2. Vidare hantering

För att transportera det avverkade slyet från vältorna till avläggsplatsen kan konventionella skotare användas. Eftersom kostnaden för skotning utgör en relativt stor andel (15-20 %) av den totala drivningskostnaden, är det viktigt att produktiviteten är hög (Emanuelsson *et al.* 2014). Produktiviteten påverkas främst av hur stor volym som finns vid varje hög, hur stor gripvolymen är, lastfyllnadsgraden samt transportavståndet. Stora högar, d.v.s. hög uttagsvolym per km väggkant, är alltså en stor fördel ur kostnadssynpunkt. Grövre stammar ger också en högre fyllnadsgrad i lasten jämfört med klent och grenigt sly. En stor fördel vid väggkantsröjning är att framkomligheten för skotaren blir god då den vid lastning och transport kan befinna sig på vägen.

Det skotade materialet lastas av för lagring vid en avläggsplats. Avläggsplatsen bör vara tillräckligt stor och ha tillräcklig bärighet för att man ska kunna köra dit och flisa materialet. Mobil flisning vid avlägg är ofta billigare än att transportera slyet till en central stationär flisningsanläggning. I syfte att underlätta torkningen, bör slyet lastas i så höga vältor som möjligt och placeras så skuggfritt som möjligt (Emanuelsson *et al.*, 2014). Genom torkningen får slyet ett högre effektivt värmevärde och dessutom blir transportkostnaderna lägre. Sly innehåller normalt en högre andel av löv/barr, bark och kvistar, vilket kan ge en högre initial fukthalt jämfört med stamved. Den mikrobiella nedbrytningen av lövträdsly kan också eventuellt gå lite snabbare eftersom dessa trädslag innehåller högre halter av lättåtkomligt kväve (Lehtikangas, 1999).

Som nämnts ovan, blir flisning vid väggkant totalt sett ofta billigare, även om produktiviteten blir lägre jämfört med stationär flisning (Emanuelsson *et al.*, 2014). Ett skäl är att transportkostnaderna för det oflisade materialet kan bli höga då bulkdensiteten för sly oftast är låg. Jämfört med transport av massaved, är transport av okvistade träddelar nästan dubbelt så dyrt. Vid flisning kan materialet läggas på duk eller direkt på marken för senare transport med skopbil eller flisbil. Flisning direkt i containrar eller med hjälp av huggbil, som är en lastbil med både hugg och lastutrymme, är andra alternativ. Flisning är en stor kostnadspost som normalt utgör ungefär en tredjedel av den totala kostnaden för bränslet (gäller för flisning vid avlägget). Enligt Emanuelsson *et al.* (2014), är flisning med hjälp av huggbil konkurrenskraftigt vid avstånd upp till 5-6 mil, medan flis- eller containerbilar blir mer konkurrenskraftiga vid längre avstånd.

När det gäller energikvoten, d.v.s. slyets effektiva värmevärde strax före eldning i förhållande till den energi i form av diesel som har använts från växtplats till panna, så är den drygt 25 (Emanuelsson *et al.*, 2014). Energiutbytet för slyskörd är alltså högt. Denna energikvot gäller vid en avverkningskapacitet på 3,8 ton TS per timme. Flisningsmomentet kräver mest energi (31 %), följt av avverkning (22 %) och skotning (15 %).

3.3.3. Skörd med teknik baserad på rundbalar

Ett sätt att skörda vedartad biomassa av klenare dimensioner är att hugga och pressa materialet direkt till balar. För ca femton år sedan började man bygga olika prototyper av balpressar för skörd av energiskog (Lavoie m.fl., 2008; Baky m.fl., 2009; Bioenergiportalen, u.å.). En maskin som nått kommersialisering är den s.k. Biobaler-maskinen, som är en rundbalspress utvecklad av det kanadensiska företaget Anderson Group. Maskinen testades under praktiska förhållanden i Skåne under år 2010 (Henriksson Salix AB, 2010). Traktorn grenslar raderna och böjer ned stammarna, som sedan huggs av och bearbetas av en ”mulcher” innan de förs in i presskammaren, som är av fixkammartyp. Maskinen fungerar inte vid alltför grova stammar, utan den mest lämpliga stamdiametern är 40-50 mm diameter (mätt vid 30 cm höjd). Om stammarna är för grova böjer de sig inte under traktorn, utan de kan istället välta och dra med sig hela plantan ur marken.

Vid försök i energiskog under år 2010 noterades att maskinen var relativt tung (6 ton), att kapaciteten var ca 0,5 ha/tim i ett bestånd med 40-50 mm stammar, att stammarna blir ganska söndertrasade av ”mulchern” (vilket ev. kan påverka återväxten), att balarna höll ihop bra, att det gick bra att hantera dem med hjälp av t.ex. balspjut, att fukthalten sjönk till ca 30 % under lagringen, och att det går bra att sönderdela materialet ytterligare med knivhugg eller kross (Henriksson Salix AB, 2010). Den bildade flisen blev dock inte helt homogen, eftersom den innehöll en hel del längre pinnar. Kostnaderna för sönderdelningen var hög, men dessa kan troligen sänkas genom användning av eldrivna stationära flisningsaggregat vid värmeverken.

De totala kostnaderna för systemet med balning blev betydligt högre än kostnaderna för direktskörd av energiskogsflis. Skälen var bl.a. högre hanterings- och transportkostnader, samt kostnader för sönderdelning av det balade materialet. I storskaliga system kunde inte mervärdet för ett torrare bränsle kompensera för dessa kostnadsökningar. Däremot ansågs metoden vara konkurrenskraftig för produktion av lagringsbara och torra bränslen i mer småskaliga system, t.ex. vid helbalseldning, där transportavstånden maximalt är några kilometer (Henriksson Salix AB, 2010).

I Sverige finns en rundbalsmaskin av typen Biobaler, vilken används av en entreprenör (Rosenhälls gård Energi AB i Billeberga) för att skörda salixodlingar (Segerslätt, 2013). Pressen drivs av en traktor på 200 hk, och tidsåtgången för att pressa en bal är ca 35 sekunder och för att linda den ca 35 sekunder. Kapaciteten i praktisk drift är 15-20 balar i timmen. Varje bal, som har måtten 1,22 m i diameter och 1,22 m i bredd, väger nyskördad 400-450 kg. Under åren 2011-2014 har försök pågått i odlingar med Salix. Några resultat redovisas nedan (Paulrud *et al.*, 2014):

- Maskinmodifieringar/förbättringar krävs för att minska drift- och underhållskostnaderna.
- Maskinen är ej utformad för att klara förhållanden med mycket snö eller låg bärighet.
- Maskinen ger upphov till en del spill vid skörd (vid bra skördeförhållanden under 5 %).
- Vid vårskörd minskar fukthalten från 50 % till 20 % på ett par månader vid lagring i stack.
- Att anlita en stor skotare är det billigaste alternativet vid uppsamling av balarna på fältet.
- Balarna kan med fördel användas som bränsle i helbalspannor för halm.
- Flisade rundbalar skulle också kunna fungera bra som bränsle i mindre gårdspannor.
- Entreprenörpriset var 95 kr per bal för skörd.

Även i Canada testades Biobaler-maskinen under åren 2009-2010 (Savoie m.fl., 2013). Totalt pressades 546 balar med Salix och poppel, med en genomsnittlig balvikt på 427 kg (49 %

vattenhalt). Den genomsnittliga baldensiteten var 266 kg/m³ och kapaciteten 35 balar per timme, med en variation på 23 till 48 balar per timme. Fältförlusterna var totalt 19 %, varav 8 % uppstod i samband med att balen släpptes ut. Maskinen drogs av en traktor 149 kW, och de totala kostnaderna beräknades till CAN \$175 per timme, eller CAN \$5 per bal. Maskinen fungerade bra, och den bedömdes vara lämplig för skörd av odlad energiskog, sly och annan vedartad vegetation med en stamdiameter på högst 50 mm. I amerikanska försök med skörd av sly uppnådde man en produktivitet på 0,30 ha per timme, med en baldensitet på 320 kg/m³ och en kostnad på \$320 per ha (Lorensi do Canto m.fl., 2011). Maskinens användning förutsätter dock att terrängen är framkomlig och att markytan är någorlunda jämn och har tillräcklig bärighet.

3.3.4. Direktskörd av sly

För sly har också teknik utvecklats som påminner om den som används vid direktskörd av *Salix* (det kan noteras att man har undersökt odling av *Salix* längs vägar i Nederländerna med syfte att producera biobränsle (Ling Qin, 2011)). Två exempel på maskiner är FAE Biomass Harvester (FAE, 2016) och Prinoth AHWI BMH 480 (Prinoth, 2016) (se också youtube-länkar i kapitel 3.4 nedan). Även dessa maskiner kräver en viss framkomlighet och bärighet. Några erfarenheter och undersökningar om maskinernas produktivitet m.m. har inte hittats i litteraturen.

Vid direktflisning är vattenhalten hög (ofta över 50 % (uttryckt i våt bas)). Mikroorganismernas nedbrytningshastighet, liksom risken för självantändning, är därför hög och materialet bör sålunda inte lagras någon längre tid. Ett sätt att förbättra lagringsbarheten är att materialet inte finfördelas till flis direkt, utan att det istället kapas i mindre bitar, s.k. ”billets” (Henriksson & Rosenqvist, 2011). Det torde dock vara svårt att använda denna teknik för röjning längs vägar och järnvägar, bl.a. beroende på att stamdiameteren kan variera avsevärt.

3.4. Maskiner i arbete - länkar till Youtube m.fl.

3.4.1. Slätter och uppsamling

MULAG:

<http://www.mulag.de/en/roadside/products/unimog-equipment/rear-mower/sb-600/>

Trilo:

<https://www.trilo.com/en/markets/verge-maintenance?group=blowers>

Dücker:

<https://www.youtube.com/watch?v=lf7hjloEw94>

Herder:

https://www.youtube.com/watch?v=i6FGgH_Ehml

Claas Xerion 3300 VC Octopus (slätter utan uppsamling):

<https://www.youtube.com/watch?v=c7CFzDepXfM>

3.4.2. Skörd av sly

Bracke C16.b – Flerträdshanterande aggregat:

<https://www.youtube.com/watch?v=G0UedaRIX34>

Biobaler WB-55 Anderson:

<https://www.youtube.com/watch?v=ZqLNN47U9Jk>

FAE Biomass Harvester:

<https://www.youtube.com/watch?v=SDRE9bw-5H8>

AHWI BMH480:

<https://www.youtube.com/watch?v=z-pzZ9K-9nQ>

3.5. Sammanfattning

Under det senaste decenniet har ny teknik utvecklats i bl.a. Tyskland, Nederländerna och Nordamerika för uppsamling, transport och hantering av biomassa från väg- och järnvägs-kanter. Det tycks dock vara sparsamt i litteraturen när det gäller genomförda studier av systemens prestanda, kostnader, m.m. För att fånga upp den nya tekniken behöver studiebesök göras och maskiner testas under verkliga förhållanden i vårt land. För uppsamling av icke-vedartad vegetation bör de maskintyper som har tagits fram i bl.a. Tyskland vara intressanta att testa här, och för vedartad vegetation bör de nya balnings- och direktflisningsmaskinerna vara intressanta.

Platsspecifika skötselkriterier behöver först utformas som tekniken och logistiksystemet sedan kan anpassas efter. Det kan handla om lämpliga val av skördeintervall, tidpunkt för slåtter, avslagningsmetod (slagor, skärande, klippande), stubbhöjd, m.m., i syfte att gynna specifik flora och fauna, styrning av mikroklimat, etc. Alla biologiska krav kan dock inte tillgodoses samtidigt, utan det blir alltid en kompromiss mellan vad tekniken kan klara av och vad kostnadsbudgeten tillåter.

Valet av teknik och logistiksystem måste alltid ses i ett helhetsperspektiv. Var finns produktionsytorna? Var kan lagrings- och uppgraderingsanläggningarna lokaliseras? Vilka kvalitetskrav ställer förädlarna på råvaran? Var finns slutanvändarna och vilka krav ställer de på den levererade varan? Målet med en sådan helhetslösning måste vara att den ska vara så kostnadseffektiv som möjligt, med så högt energiutbyte och så låga klimatutsläpp (i ett livscykelperspektiv) som möjligt. Effektiva verktyg för att finna sådana lösningar är olika datorbaserade simulerings- och optimeringsmetoder. Med hjälp av exempelvis GIS-baserade dynamiska händelsestyrda datormodeller kan man studera olika uppsamlings- och logistiksystem och på så sätt få fram de system som har potential att bli mest kostnadseffektiva.

Av bl.a. trafiksäkerhetsskäl ska områdena längs vägar och järnvägar röjas, vilket innebär en kostnad oberoende av om biomassan tas tillvara eller inte. Om biomassan tillvaratas och säljs som energiråvara erhålls en intäkt. Betalningsviljan för denna energiråvara kan dock variera avsevärt beroende på produkt och köpare. Generellt går det därför inte att säga om denna intäkt uppväger de ökade kostnader som uppsamlingen innebär. Det är högst troligt att röjning och flisning av vedartad biomassa av grövre dimensioner generellt innebär en nettosänkning av de totala röjningskostnaderna, medan nettot vid t.ex. uppsamling av gräs längs vägar är starkt teknik- och platsberoende. Fallstudier behöver därför göras för ett större geografiskt område, t.ex. för ett län, med syftet att ta reda på hur det ekonomiska utfallet blir för olika teknik- och logistikscenarier.

Valet av teknik och hanteringssystem beror bl.a. på utbytet av biomassa. Detta gäller särskilt för vedartad vegetation, där exempelvis ackumulerande flerträdsaggregat blir för dyrt om utbytet är för lågt. Lämpliga metoder för uppskattning av uttagsvolymerna *in situ* behöver därför utredas.

3.6. Referenser

- Andersson, R., Emanuelsson, U., Ebenhard, T., Eriksson, L., Hansson, P-A., Hultåker, O., Lind, T., Nilsson D., Ståhl, G., Forsberg, M. & Iwarsson Wide, M. 2016. Sly – en outnyttjad energiresurs. Kortversion av en rapport. CBM:s skriftserie nr 100. Centrum för biologisk mångfald (CBM), Uppsala.
- Baky, A., Forsberg, M., Rosenqvist, H., Jonsson, N. & Sundberg, M. 2009. Skördeteknik och logistik för bättre lönsamhet från små odlingar av Salix. Värmeforsk rapport 1143. Värmeforsk, Stockolm.
- Bioenergiportalen. U.å. Salix i rundbal – från skörd till användning av torrt bränsle. Broschyr. Tillgänglig på: <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/565.pdf> (2016-12-12).
- Bioenergiportalen. 2014. Uttag av biobränsle från vägkanter och överskottsmarker – utveckling av ny uppsamlingsmetod. Tillgänglig på: <http://www.bioenergiportalen.se/?p=6729&m=1729> (2017-01-17).
- 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).
- Bracke Forest. 2016. Bracke C16.c - Skogsvårds- och bioenergiaggregat. <http://www.brackeforest.com/parser.php?did=344:3414> (2016-12-14).
- Bäckström, A. 2013. Rövning och slåtter med flerarmad slåttermaskin. SBUF Projekt 12825. Tillgänglig på : <http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/ProjectDocuments/d24b7f0e-9542-43ce-b33a-bc47d0245ade/FinalReport/SBUF%2012825%20Slutrapport%20Rövning%20och%20slåtter%20med%20flerarmad%20slåttermaskin.pdf> (2017-01-09).
- Bäckström, A. 2014. Test av ny flerarmad slåttermaskin. SBUF informerar nr 14:19. Tillgänglig på: <http://vpp.sbuf.se/Public/Documents/InfoSheets/PublishedInfoSheet/72d01d9b-a3ad-4717-9bec-ac2ec1d4bd9b/14-19%20Test%20av%20ny%20flerarmad%20slåttermaskin.pdf> (2017-01-11).
- 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.
- 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.
- Dücker. 2016. Maschinenfabrik Dücker. Tillgänglig på: <http://www.duecker.de/> (2016-12-13).
- Ebenhard, T., Forsberg, M., Lind, T., Nilsson, D., Andersson, R., Emanuelsson, U., Eriksson, L., Hultåker, O., Iwarsson Wide, M. & Ståhl, G. 2016. Environmental effects of brushwood harvesting for bioenergy. *Forest Ecology and Management*, 383, 85–98.
- Emanuelsson, U., Ebenhard, T., Eriksson, L., Forsberg, M., Hansson, P-A., Hultåker, O., Iwarsson Wide, M., Lind, T., Nilsson, D., Ståhl, G. & Andersson, R. 2014. Landsomfattande slytäkt – potential, hinder och möjligheter. Tillgänglig på: <http://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/ovrig-forskning/huvudrapport-sly-stem.pdf> (2016-11-17).
- Eriksson, A-M., Hansson, D., Huisman, M. & Lundh, J-E. 2004. Metoder för vegetationsbekämpning på banvallar - en summering av resultat från UICs Vegetation Control Project och erfarenheter från Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik.

- Rapport 2004:5. Institutionen för landskaps- och trädgårdsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- FAE. 2016. FAE GROUP – An innovative approach for harvesting and recycling biomass. Tillgänglig på: http://www.fae-group.com/images/pdf/au/press/Forest__Timber_News_June_2009.pdf (2016-12-14).
- 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.
- Henriksson Salix. 2010. Pilotstudie av buntskördaren Biobaler 2010. Slutrapport. Henriksson Salix AB.
- Henriksson, A. & Rosenqvist, H. 2011. Storskalig skörd och lagring av ”billets” för självtorkning och vidareförädling. Slutrapport. http://www.salixenergi.se/uploads/Storskalig_skord_och_lagring_av_billets_Slutrapport.pdf (2013-05-08).
- Herder. 2016. You will achieve more with Herder. Tillgänglig på: <http://www.herder.nl/en/> (2016-12-13).
- Huisman, M. 2001. Reglering av vedartad vegetation utmed järnvägar och vägar - en litteraturstudie över kunskapsläget. Rapport 247. Institutionen för lantbruksteknik, Avdelningen för park- och trädgårdsteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Alnarp.
- Infranord. 2017. Mekanisk vegetationsreglering. Tillgänglig på: http://www.infranord.se/Documents/projektblad/Mekanisk_Vegetationsreglering_INFRANORD_120411.pdf (2017-01-16).
- Iwarsson Wide, M. 2009. Skogsbränsleuttag i vägkanter. Prestationsstudie - uttag av skogsbränsle i vägkant med Bracke C16. Arbetsrapport från Skogforsk Nr 695. Skogforsk, Uppsala.
- Jamaldar, M. & Olausson, M. 2013. Metoder för vegetationsbekämpning på den svenska järnvägen. B-788. Department of Earth Sciences, University of Gothenburg. Tillgänglig på: http://gvc.gu.se/digitalAssets/1501/1501318_b788.pdf (2017-01-12).
- Jägerbrand, A.K. & Hellman, F. 2014. Energiutvinning ur vägar och vägmiljöer. En kunskapsöversikt. VTI rapport 821. Statens väg- och transportforskningsinstitut VTI, Linköping.
- Keizer, P-J. 2000. Studie av vägkantsskötsel i Nederländerna. Bilaga 1 i: Durling, M. & Jacobsson, K. 2000. Slätter av vägkanter med upptagande slagslätteraggregat – energianvändning och kostnader vid upptagning, transport och behandling. Institutionsmeddelande 2000:05. Inst. för lantbruksteknik, Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Lavoie, F., Savoie, P., D'Amours, L. & Joannis, H. 2008. Development and field performance of a willow cutter-shredder-baler. *Applied Engineering in Agriculture*, 24, 165-172.
- Lehtikangas, P. 1999. Lagringshandbok för biobränslen. Institutionen för virkeslära, SLU, Uppsala. ISBN 91-576-5564-2.
- Ling Qin. 2011. Can we get more out of our roads? Tillgänglig på: <http://www.likbez.com/BE/Ling-Qin.pdf> (2017-03-16).
- Lorensi do Canto, J., Klepac, J., Rummer, B., Savoie, P. & Seixas, F. 2011. Evaluation of two round baling systems for harvesting understory biomass. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2163–2170.

- 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.
- MULAG. 2016. Mowing and collection. Tillgänglig på: <http://www.mulag.de/en/roadside/applications/mowing-and-collecting/> (2016-12-13).
- Paulrud, S., Segerslätt, S. & Rosenqvist, H. 2014. Salix i rundbal - från skörd till användning av torrt bränsle. SP Rapport :2014:47. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Borås.
- 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).
- Piepensneider, 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.
- Prinoth. 2016. Vegetation management. Tillgänglig på: <https://www.prinoth.com/en/vegetation-management/> (2016-12-14).
- QTS Group. 2017. Vegetation Fleet. Tillgänglig på: <http://www.qtsgroup.com/plant-fleet/vegetation-fleet> (2017-01-16).
- Savoie, P., Hébert, P-L., Robert, F-S. & Sidders, D. 2013. Harvest of short-rotation woody crops in plantations with a biobaler. *Energy and Power Engineering*, 5, 39-47.
- Segerslätt, S. 2013. Erfarenheter från skördeentreprenörer. Föredrag vid Salixodlarutbildning i Grästorps 21 januari 2013. Film på sjv:s hemsida.
- Trafikverket. 2017a. Trädsäkra järnvägar. Tillgänglig på: <http://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-jarnvagar/Tradsakra-jarnvagar/> (2017-01-16).
- Trafikverket. 2017b. Frågor och svar om trädsäkra järnvägar. Tillgänglig på: <http://www.trafikverket.se/resa-och-trafik/underhall-av-vag-och-jarnvag/Sa-skoter-vi-jarnvagar/Tradsakra-jarnvagar/fragor-och-svar-om-tradsakra-jarnvagar1/> (2017-01-16)
- Trilo. 2016. Tillgänglig på: <https://www.trilo.com/en> (2016-12-13).
- Van Meerbeek, K., Ottoy, S., De Meyer, A., Van Schaeybroeck, T., Van Orshoven, J., Muys, B. & Hermy, M. 2015. The bioenergy potential of conservation areas and roadsides for biogas in an urbanized region. *Applied Energy*, 154, 742-751.
- Voinov, A., Arodudu, O., van Duren, I., Morales, J. & Qin, L. 2015. Estimating the potential of roadside vegetation for bioenergy production. *Journal of Cleaner Production* (2015), <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.034>
- Vägverket. U.å. Slätter och uppsamling av vegetation på vägkanter. Broschyr. Vägverket, Borlänge. 6 sid.
- Wikipedia. 2017. Logistik. Tillgänglig på: <https://sv.wikipedia.org/wiki/Logistik> (2017-01-11).

4. ANVÄNDNING, OMVANDLING OCH UPPARBETNING

4.1. Inledning

Denna del kommer att diskutera processvägar bestående av olika förbehandlings- och omvandlingsprocesser för energiutvinning från vägkantsbiomassa. Detta kommer att leda till en initial bedömning om processernas potential och lämplighet för användning för olika sorters växtmaterial som finns längs väg och järnväg. Förslag på processer som är intressant att ta med i ett framtida pilotprojekt komma att tas fram. Processvalet beror på olika faktorer som växtmaterialets kemiska och fysiska egenskaper, lokala förutsättningar som befintlig infrastruktur, energipriser med mera.

Följande beskrivs processvägar för fyra olika sorter biomassa som finns längs väg och järnväg. De olika sorter biomassa är:

- Färsk, gräsartad biomassa
- Torrt, höaktig biomassa
- Sly och vedartad biomassa

I denna studie ligger fokus på biogas, etanol samt fastbränsle som huvudprodukter från de olika värdekedjorna.

Till sist presenteras några praktiska exempel, fallstudier och tekniker där biomassa från väg- och järnvägsskötsel omvandlas och används som energibärare.

4.2. Produkter och tjänster från biomassan

Följande produkter kan tänkas produceras från biomassan vid vägkanter och järnvägar:

Fastbränsle kan produceras genom t.ex. torkning och pelletering av förbehandlad biomassa. Fastbränslet används med fördel i kraftvärmelanläggningar för att tillverka både el och värme eller i mindre värmepannor.

Flytande bränslen som t.ex. etanol kan tillverkas genom att biokemiskt omvandla cellulosa och hemicellulosa i biomassan till etanol via hydrolys och fermentering. Etanolen kan sedan användas i transportsektorn för att ersätta fossila transportbränslen eller som råvara till kemiindustrin. Ett annat produktionsspår som leder till flytande bränslen från biomassan är via termokemisk förgasning där biomassan hettas upp i en syrefri miljö vilket leder till att den bryts ner och omvandlas till så kallad syntesgas. Syntesgasen kan sedan omvandlas till olika sorters biobränslen, bland annat etanol eller syntetisk diesel.

Gasformiga bränslen kan produceras via anaerob rötning av biomassan där slutprodukten blir biogas som kan användas för kraftvärmeproduktion, uppgraderas till transportbränslekvälvité eller konverteras till dimetyleter (DME). Biomassaförgasning är ytterligare en möjlighet att tillverka gasformiga bränslen som t.ex. syntetisk naturgas (SNG).

Gödningsmedel fås genom att direkt använda rötresten från biogas tillverkningen. Rötresten är rik på makronäringsämnen, kväve, fosfor och kalium och kan användas i ekologiskt och konventionellt jordbruk.

4.3. Omvandlingsprocesser för biomassa

4.3.1. Mekaniska processer

Mekanisk partikelstorleksminskning av den inkommande biomassan är ofta en av de första stegen i omvandlingsprocesser för biomassa. Detta görs ofta genom klippning eller flisning som resulterar i en signifikant minskning i partikelstorlek, form och bulk densitet. Andra mekaniska omvandlingsprocesser avser minskning i biomassans fukthalt som t.ex. pressning och avvattning eller en separation av biomassan i olika fraktioner (Huang *et al.*, 2008).

4.3.2. Termokemiska processer

Denna gruppen processer kan delas in beroende på processförhållanden, t.ex. aerob/anaerob, tryck, temperatur, uppehållstid i reaktorn. De huvudsakliga processer är förgasning, pyrolys och förbränning. Förgasning och pyrolys resulterar i energi- och kemikalieprodukter, medan i förbränningsprocessen oxideras biomassan enbart i energiändamål (el och/eller värme). Biomassa förgasning händer vid hög temperatur $>700^{\circ}\text{C}$ och i ett syrefattig miljö. Biomassan omvandlas till en så kallad syntesgas, vilket huvudsakligen består av H_2 , CO , CO_2 och CH_4 . Syntesgasen kan sedan konverteras vidare till gasformiga och flytande bränslen och kemikalier eller oxideras för att tillverka el och värme. Genom pyrolys omvandlas biomassan till så kallad pyrolysolja, kol och en gasformig fraktion som liknar syntesgas. Processen sker vid lägre temperatur än förgasningsprocessen ($300\text{-}600^{\circ}\text{C}$) men också i syrefattig miljö. I dagsläget kan pyrolysolja och kolet användas som bränsle i stationära förbränningsanläggning men processer för att uppgradera pyrolysoljan till bl.a. transportbränslen är under utveckling (Cherubini, 2010).

4.3.3. Biokemiska processer

De huvudsakliga biokemiska processer är fermentering och anaerob rötning. Fermentering resulterar i huvudsakligen alkoholer och organiska syror. Mikroorganismer och enzymer omvandlar fermenterbara komponenter i biomassan, som t.ex. sockrar, cellulosa och hemicellulosa till dessa produkter. Huvudprodukten av anaerob rötning är biogas, vilket består till 50-65 % av CH_4 och 35-50% av CO_2 och andra ämnen beroende på substrat och röttningsförhållanden. Rågasen kan sedan uppgraderas genom att ta bort CO_2 och föroreningar för att använda gasen i fordon eller injicera denna i naturgasnätet (Bruijstens *et al.*, 2008). Typiska råvaror till denna process är avloppslam, organiska avfall och restprodukter från jordbruket.

Beroende på råvara och process behövs det olika förbehandlingssteg i dessa processer för att göra biomassan tillgänglig för mikroorganismerna (Kaparaju *et al.*, 2009).

4.3.4. Kemiska processer

Denna gruppen innehåller en rad kemiska reaktioner som ändrar biomassans kemiska sammansättning. Hydrolys, hydrering och transesterifiering är vanliga exempel på reaktioner som sker i såna omvandlingsprocesser, för att t.ex. depolimerisera polysaccarider och proteiner eller uppgradera vegetabiliska oljor till biodiesel eller HVO. Andra exempel är kemiska processer för omvandling av syntesgas till metan (Gassner and Maréchal, 2009), metanol eller Fischer-Tropsch vätskor (Gassner and Maréchal, 2009; Naik, 2010).

4.4. Översikt över möjliga användningsområden av olika sorters biomassa

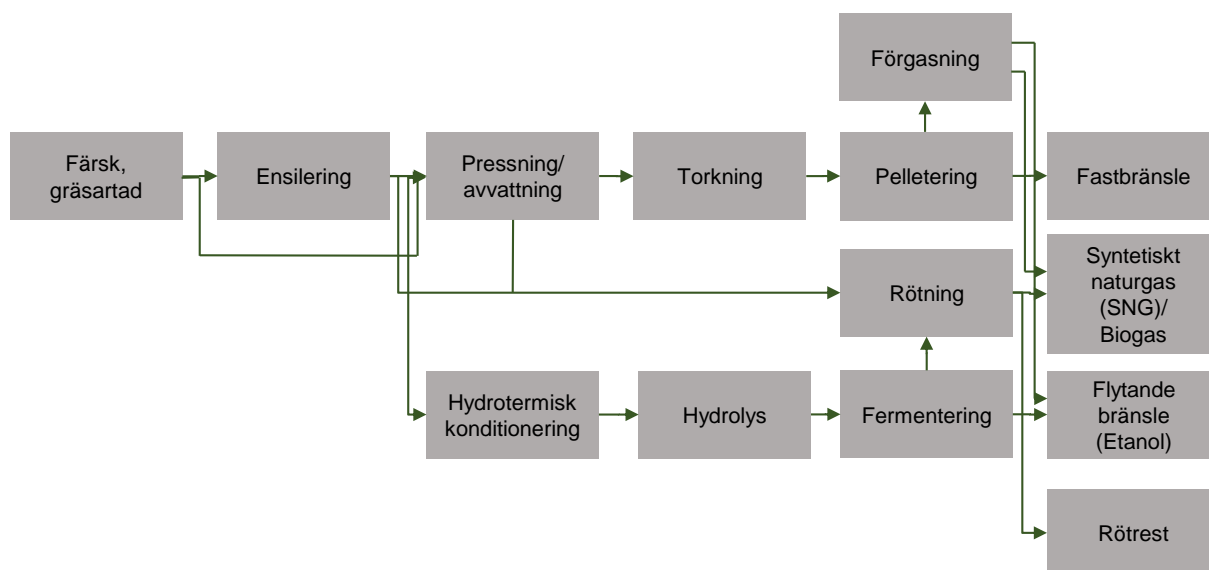
4.4.1. Färsk, gräsartad biomassa

Användning av färsk, gräsartad biomassa till olika säljbara produkter illustreras i Figur 4.1. Om biomassan inte används på direkten så kan den ensileras som ett första steg (Dunkelberg *et al.*, 2011). Detta gör även möjligheten att försörja energiomvandlingsanläggningar med substrat kontinuerligt året runt. Beroende på materialets fysiska egenskaper och skördeteknik kan partikelstorleksminskning behövas innan den kan användas i biogas eller andra anläggningar.

I biogasanläggningar kan antingen hela biomassan eller bara den flytande fasen efter avvattning/pressning rötas till biogas och biogödsel. Gräsartad biomassa rekommenderas dock inte att användas enbart i biogasanläggningar, eftersom det höga kväveinnehållet kan påverka biogasproduktionen negativt. Däremot är biomassan mycket lämpligt till samrötning med andra substrat som t.ex. matavfall.

Biomassan kan efter upparbetning även användas som fastbränsle, vilket kan sedan användas för att generera el och värme i kraftvärmeanläggningar. I framtiden kan även användning som råvara till biomassaförgasningsanläggningar där avancerade biodrivmedel och -kemikalier tillverkas vara intressant. Höga askhalter i gräsartad biomassa gör denna dock till en svårhanterad råvara till termokemiska omvandlingsprocesser som förgasning eller förbränning. Fouling och korrosion i förbrännings- och förgasningsanläggningar är problem som kan uppstå vid användning av denna sortens biomassa. Sameldning med andra bränslen eller förbränningstillätsmedel kan dock användas för att förbättra användbarheten av dessa fastbränslen (Asadullah, 2014; Shao *et al.*, 2012).

Ytterligare ett spår för användning av biomassan är till etanolproduktion via fermentering. I detta fall kan cellulosan (SEKAB, 2016a) och hemicellulosan (Khan, 2010) i den gräsartade biomassan hydrolyseras kemiskt eller enzymatiskt vilket gör att dessa bryts ner till sockrar som sedan fermenteras av specifikt framtagna jästkulturer till etanol. Restprodukter i processen som inte omvandlas till etanol kan skickas att rötas till biogas och biogödsel.



Figur 4.1 Uppgraderingssteg och slutprodukter för färsk, gräsartad biomassa.

Tabell 4.1 Omvandlingseffektivitet för färsk, gräsartad biomassa till energiprodukter

Omvandlingsprocess	Omvandlingseffektivitet	Kommentarer	Referens
Gräs till biogas	Ca 5,3 – 13 GJ/t-TS	Värmeanvändning i processen: 6-17 % av den producerade biogasen Elanvändning i processen: 8-24 % av den producerade biogasen	(Berglund and Börjesson, 2006)
Gräs till fastbränsle	Ca 16 GJ/t-TS (LHV)	Motsvarar värmevärde	(Rosenqvist <i>et al.</i> , 2014)
Gräs till SNG	Ca 10.7 GJ/t-TS (LHV)	Antar SNG utbyte på 67 % baserad på LHV antas	(Heyne, 2013)
Gräs till etanol	Ca 8,7 GJ/t-TS (LHV) ¹		(Mitchell <i>et al.</i> , 2012)

¹ LHV etanol: 28.9 MJ/kg, densitet etanol: 789 kg/m³

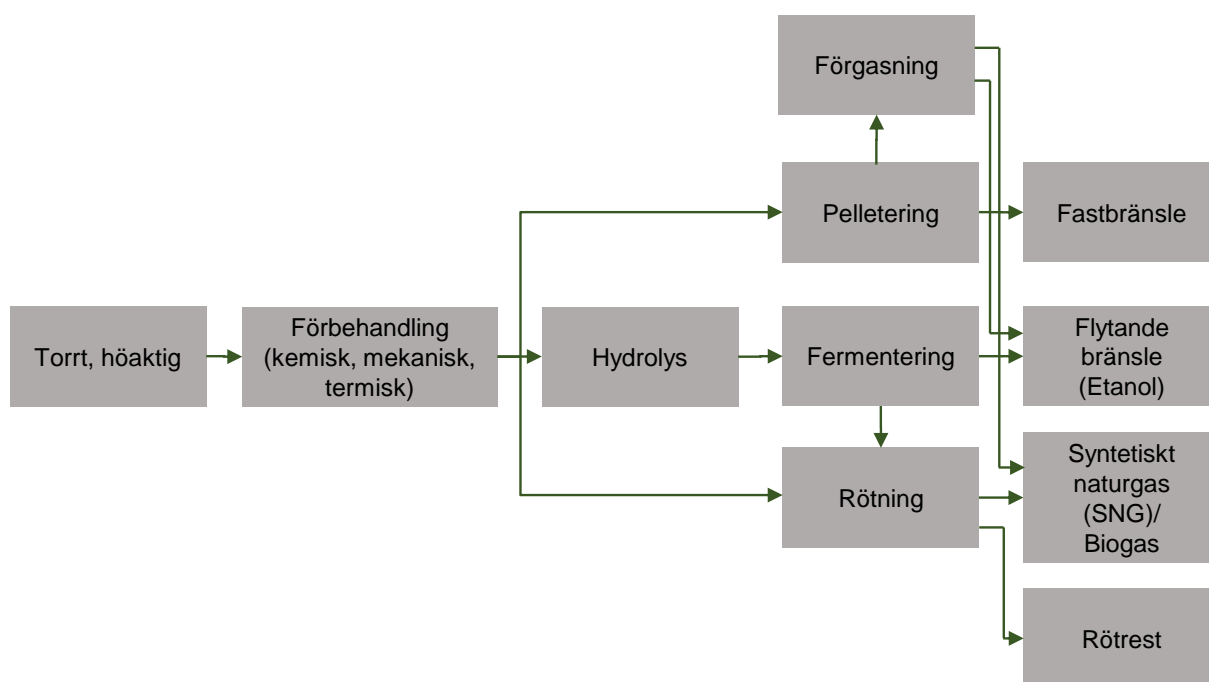
4.4.2. Torrt, höaktig biomassa

Denna sort biomassa kan i princip användas för att framställa liknande produkter som färsk, gräsartad biomassa. Förbehandlingen och de olika tänkbara produktionsvägarna skiljer sig dock.

I tillverkningen av ett fastbränsle i form av pellets är första steget en mekaniskt sönderdelning av materialet innan den pressas till pellets. Pellets kan sedan användas som råvara i t.ex. en biomassaförgasningsprocess eller som biobränsle.

För att göra materialet tillgängligt i rötningsprocessen, öka effektiviteten och undervika tekniska problem i processen (t.ex. att biomassan flytta upp på ytan i röt-kammaren) behöver substratet förbehandlas. Detta kan t.ex. göras via mekaniskt sönderdelning, termiskt behandling via ångexplosion, enzymatiskt behandling eller en kombination av dessa.

Även fermenteringsspåret för etanolproduktion kräver en viss förbehandling för att göra hemicellulosa och cellulosa tillgänglig för hydrolysteget. Genom så kallad ångexplosion sönderdelas biomassan. I hydrolysteget omvandlas hemicellulosa och cellulosa till sockrar som sedan kan omvandlas av olika jäststammar till etanol.



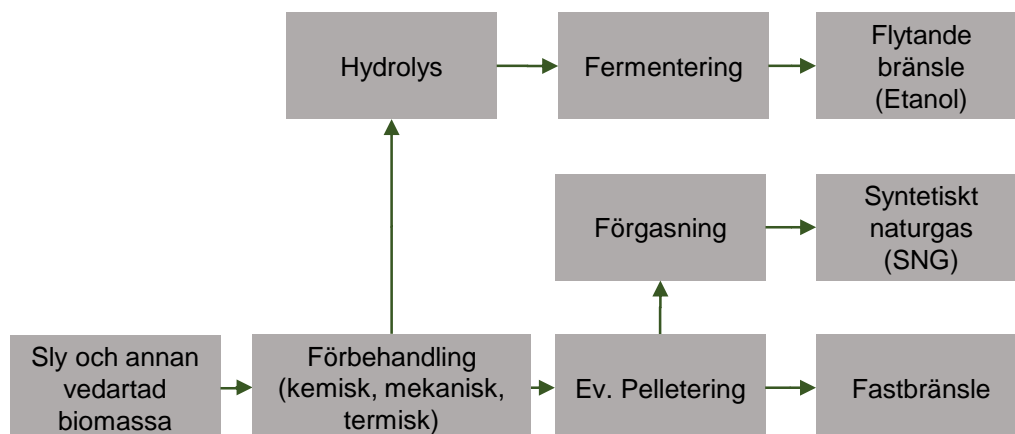
Figur 4.2 Uppgraderingssteg och slutprodukter för torrt, höaktig biomassa.

Tabell 4.2 Omvandlingseffektivitet för torrt, höaktig biomassa till energiprodukter

Omvandlingsprocess	Omvandlingseffektivitet	Kommentarer	Referens
Hö till biogas	5,6 – 8,5 GJ/t-TS		(Berglund & Börjesson, 2006)
Hö till fastbränsle	Ca 16 GJ/t-TS (LHV)	Motsvarar värmevärdet	(Agripellets ltd, 2017)
Hö till SNG	Ca 10,7 GJ/t-TS (LHV)	Antar SNG utbyte på 67 % baserad på LHV antas	(Heyne, 2013), energiutbyte 67 %
Hö till etanol	Ca 8,4 GJ/t-TS (LHV); teoretiskt etanolutbyte: ca 9,8 GJ/t-TS (LHV)		(Saha <i>et al.</i> , 2015)

4.4.3. Sly och annan vedartad biomassa

Sly, klenta träd och buskar (Emanuelsson *et al.*, 2014) består till största delen av vedartad lignocellulosa. Emanuelsson *et al.* (2014) föreslår i sin studie om potentialen, hinder och möjligheter för ökad användning av sly att slyet skulle kunna användas som fastbränsle för att generera el och värme i kraftvärmeanläggningar eller som råvara till biodrivmedelstillverkning men även kemikalietillverkning är ett alternativ.



Figur 4.3 Uppgraderingssteg och slutprodukter för sly

Vid användning som fastbränsle kan sly jämföras med GROT gällande bränsleegenskaper¹. Innan sly kan användas som råvara till drivmedelstillverkning eller som fastbränsle måste den förbehandlas. Flisning och torkning är vanliga förbehandlingssteg innan sly används i kraftvärme-, etanol- eller förgasningsanläggningar. Emanuelsson *et al.* (2014) uppskattar flisning som den mest energikrävande del av hela förbehandlingen när fastbränsle tillverkas av slyet. I samma studie uppskattar man att värmevärdet för fastbränslet innan panna är ca 28 gånger mer än den energi som behövs för att avverka slyet och upgradera det till fastbränsle.

Vedartad biomassa som skördas vid vägkanter och järnvägen kan tänkas användas på ungefär liknande sätt som sly. Bränslekvaliteten uppskattas något högre i detta fall eftersom andelen stamved är högre.

Tabell 4.3 Omvandlingseffektivitet för vedartad biomassa till energiprodukter

Omvandlingsprocess	Omvandlingseffektivitet	Kommentarer	Referens
Ved till SNG	12,9 GJ/t-TS (LHV)	Antar SNG utbyte på 67 % baserad på LHV antas	(Heyne, 2013); energiutbyte 67 %
Ved till etanol	Ca 8 GJ/t-TS (LHV)		(Hackl and Harvey, 2016)
Ved till fastbränsle	19,2 GJ/t-TS (LHV)	Motsvarar värmevärde	(Jernkontoret, 2017)

4.5. Praktiska exempel, fallstudier och tekniker

4.5.1. IFBB – integrerad fastbränsle- och biogasframställning från biomassa

Den så kallade IFBB har utvecklats för produktion av biogas och ett fastbränsle från gräs och ensilerad biomassa. Utvecklarna anger att den sortens biomassa ha låg värde som foder och biogas substrat och är svår att elda direkt för energiproduktioner och att det därför behövs en process som kan förbättra dess egenskaper. IFBB processen illustreras i Figur 4.4.

¹ T.ex. fukthalter, värmevärde och askhalt samt risk för korrosion i pannan m.m.

The Process

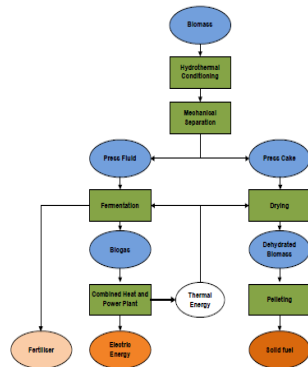
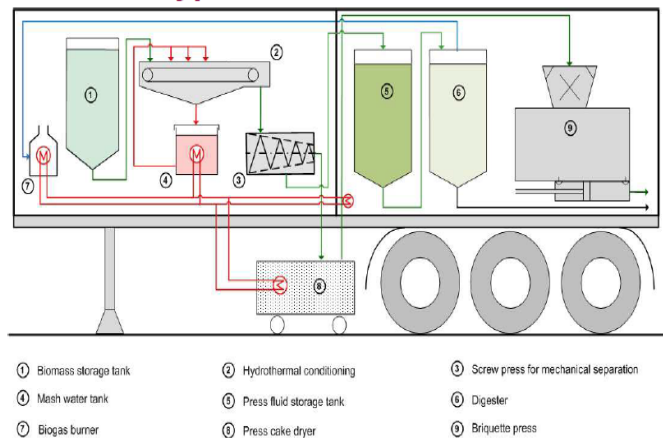


Fig. 1. Scheme of the IFBB process

The Prototype



Figur 4.4 Processchema för IFBB processen (Hensgen et al., n.d.).

Hela IFBB konceptet är utformat modulärt så att den kan flyttas nära källan till biomassa. Biomassan blandas först med varmt vatten. Detta leder till mäsning och förbättra biomassans processbarhet. Efter detta pressas biomassas där den vätskefasen leds till biogastillverkning. Den fasta fasen torkas innan den pressas till briketter. Biogasen som tillverkas av vätskefasen används för att tillverka el och värme till processen. El som inte används i processen kan exporteras till nätet. Utöver fastbränslebriketter och el kan även biogödsel exporteras från processen (Hensgen, n.d.).

4.5.2. Florafuel

Ett liknande koncept är den så kallad Florafuel-processen (florafuel, 2016a). Huvudprodukt i florafuelprocessen är ett fastbränsle tillverkad på gräs, löv eller annan gräsartad biomassa. Konceptet marknadsförs av företaget florafuel AG i Tyskland som påstår att energiutbytet med denna process är 15 % högre jämfört med rötning av samma substrat (florafuel, 2016b).

4.5.3. Kalundborg bioetanolanläggning

I Kalundborg i Danmark invigdes 2009 en bioetanolanläggning som använda sig av strå som råvara för produktion av bioetanol och ligninbränslepellets (chemicals technology, 2016). Ångexplosion och enzymatisk hydrolys används som förbehandling innan råvaran matas in i fermenteringstankarna för att jäsa C6 sockarna till etanol. I ångexplosionssteget används ånga från ett närliggande kolkraftverk för att göra cellulosan tillgängligt för enzymerna. I hydrolysteget omvandlas cellulosan med hjälp av enzymer till socker, vilket är råvaran till etanolproduktionen.

Utöver etanol produceras två biprodukter, ligninpellets vilka kan användas som bränsle i befintliga förbränningsanläggningar för att t.ex. ersätta kol och melass som antingen rötas till biogas eller används som djurfoder.

4.6. Tids- och geografiska aspekter

Omvandlingstekniker och biomassvärdeskedjor som beskrivs i detta kapitlet och som är tillgängligt i fullskala är:

- Användning av gräsartad biomassa som substrat i biogasanläggningar.
- Användning av vedartad biomassa för produktion av el och värme.

Andra omvandlingstekniker är fortfarande under utveckling. Förgasningsprocesser baserade på biomassa för tillverkning av t.ex. SNG eller DME ha kommit till pilot-/demostadie. Demoanläggningar finns t.ex. Göteborg (GoBiGas) där man använder fastbiomassa för att tillverka SNG som injiceras i naturgasnätet (Göteborg Energi, 2015) eller Piteå där svartlut används för produktion av bland annat DME och metanol (CHEMREC, 2008). Samma gäller för lignocellulosa-baserade fermenteringsprocesser för produktion av andra generationens etanol. I Sverige drivs en sådan anläggning av SEKAB i Örnsköldsvik (SEKAB, 2016b).

En översikt över lokaliseringen av befintliga biogasanläggningar finns under <http://biogasportalen.se/BiogasISverigeOchVarlden/Anlaggningskarta#lan=undefined>. Generellt är antalet samrötnings- och gårdsanläggningar högre i den sydligare delen av landet. Norr om Stockholm dominerar anläggningar vid avloppsreningsverk och industrianläggningar, förutom i Östersundsområdet där det finns en hög koncentration av gårdsanläggningar. En översikt över lokaliseringen av befintliga kraftvärmeverk som använder biomassa som bränsle finns under <https://www.svebio.se/press/dokument/biokraftkartan-2016>. Kartan visar även biogasanläggningar som producerar el. År 2016 var 209 biokraftvärmeverk i drift och ca. 20 anläggningar planerades. Kraftvärmearnläggningar finns oftast nära större städer där värmeunderlag är tillräckligt stor.

4.7. Ekonomiska aspekter

En grov uppskattning av kostnader för växthusgasminskning när biomassa från väg- och järnväg omvandlas till drivmedel som sedan används istället för fossila alternativ ges i följande Tabell 4.4.

Tabell 4.4 Kostnader för minskning av växthusgasutsläpp genom användning av olika biodrivmedel

Omvandlingsprocess	Kostnad CO ₂ besparing	Referens
Biomassa till etanol	3,6 – 4,0 SEK/kg CO ₂ ekv.	Börjesson <i>et al.</i> , 2013
Biomassa till biogas	1,3 – 5,2 SEK/kg CO ₂ ekv.	Biogas Väst, 2015
Biomassa till SNG	2,3 – 2,6 SEK/kg CO ₂ ekv.	Börjesson <i>et al.</i> , 2013

4.8. Referenser

Agripellets ltd, 2017. Agripellets ltd - sustainable energy from agriculture [WWW Document]. URL <http://www.agripellets.com/fuel/straw.htm> (accessed 2.3.17).

- Asadullah, M., 2014. Barriers of commercial power generation using biomass gasification gas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, 201–215. doi:10.1016/j.rser.2013.08.074
- Berglund, M., Börjesson, P., 2006. Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. *Biomass and Bioenergy* 30, 254–266. doi:10.1016/j.biombioe.2005.11.011
- Biogas Väst., 2015. Fakta om biogas - Aktuella forskningsresultat och fakta om biogas som fordonsbränsle, gasfordon, kostnader, miljö- och samhällsnyttor mm.” Västra Götalandsregionen, http://www.biogasvast.se/upload/Biogas%20V%C3%A4st/Fakta%20om%20biogas_150903_web.pdf.
- Börjesson, P., Lundgren, J., Ahlgren, S., Nyström I., 2013. Dagens Och Framtidens Hållbara Biodrivmedel-Underlagsrapport Från f3 till Utredningen Om FossilFri Fordonstrafik.” f3 Report, <http://lup.lub.lu.se/record/5426559/file/5426582.pdf>.
- Bruijstens, A.J., Beuman, W.P.H., Molen, M. v. d., Rijke, J. d., Cloudt, R.P.M., Kadijk, G., Camp, O. o. d., Bleuanus, S., 2008. Biogas Composition and Engine Performance, Including Database and Biogas Property Model. BIOGASMAX.
- chemicals technology, 2016. Kalundborg Bioethanol Demonstration Plant [WWW Document]. Chemicals Technology. URL http://www.chemicals-technology.com/projects/kalundborg_bioethano/ (accessed 11.25.16).
- CHEMREC, 2008. Chemrec - a gasification technology inherently more efficient [WWW Document]. URL www.chemrec.se/ (accessed 12.8.16).
- Cherubini, F., 2010. The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management* 51, 1412–1421. doi:10.1016/j.enconman.2010.01.015
- Dunkelberg, E., Aretz, A., Böther, T., Dieterich, M., Heintschel, S., Ruppert-Winkel, C., 2011. Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen (No. Working Paper 05-2011). University of Freiburg, Centre for Renewable Energy, Freiburg, Germany.
- Emanuelsson, U., Ebenhard, T., Eriksson, L., Forsberg, M., Hansson, P.-A., Hultåker, O., Wide, M.I., Lind, T., Nilsson, D., Ståhl, G., Andersson, R., 2014. Landsomfattande slytäkt - potential, hinder och möjligheter. Centrum för biologisk mångfald, Uppsala.
- florafuel, 2016a. Florafuel-processen: Bioenergi från biomassa (Das florafuel-Verfahren: Bioenergie aus Biomasse) [WWW Document]. URL www.florafuel.de/de/florafuel-verfahren/das-florafuel-verfahren/ (accessed 10.6.16).
- florafuel, 2016b. Florafuel-anläggningen (florafuel-Anlage) [WWW Document]. URL www.florafuel.de/de/produkte/florafuel-anlage/ (accessed 11.2.16).
- Gassner, M., Maréchal, F., 2009. Thermo-economic process model for thermochemical production of Synthetic Natural Gas (SNG) from lignocellulosic biomass. *Biomass Bioenergy* 33, 1587–1604. doi:10.1016/j.biombioe.2009.08.004
- Göteborg Energi, 2015. GoBiGas - anläggningen byggs i två etapper [WWW Document]. GoBiGas. URL gobigas.goteborgenergi.se/English_version/The_plant (accessed 12.8.16).
- Hackl, R., Harvey, S., 2016. Design strategies for integration of biorefinery concepts at existing industrial process sites: Case study of a biorefinery producing ethylene from lignocellulosic feedstock as an intermediate platform for a chemical cluster, in: Ng, D.K.S., Tan, R.R., Foo, D.C.Y., El-Halwagi, M.M. (Eds.), *Process Design Strategies for Biomass Conversion Systems*. John Wiley & Sons, Inc., pp. 77–100.
- Hensgen, F., n.d. Concept of the IFBB-process – Integrated generation of solid fuel and biogas from biomass.

- Hensgen, F., Bühle, L., Wachendorf, M., n.d. IFBB- Integrated Generation of Solid Fuel and Biogas from Biomass.
- Heyne, S., 2013. Bio-SNG from Thermal Gasification - Process Synthesis, Integration and Performance (Doctoral thesis). Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden.
- Huang, H.-J., Ramaswamy, S., Tschirner, U.W., Ramarao, B.V., 2008. A review of separation technologies in current and future biorefineries. *Separation and Purification Technology* 62, 1–21. doi:10.1016/j.seppur.2007.12.011
- Jernkontoret, 2017. Bränslen [WWW Document]. Jernkontorets energihandbok. URL <http://www.energihandbok.se/branslen/> (accessed 2.16.17).
- Kaparaju, P., Serrano, M., Thomsen, A.B., Kongjan, P., Angelidaki, I., 2009. Bioethanol, biohydrogen and biogas production from wheat straw in a biorefinery concept. *Bioresource Technology* 100, 2562–2568.
- Khan, M.A., 2010. Hydrolysis of hemicellulose by commercial enzyme mixtures (Master's Thesis). Luleå University of Technology, Luleå, Sweden.
- Mitchell, R., Vogel, K.P., Uden, D.R., 2012. The feasibility of switchgrass for biofuel production. *Biofuels* 3, 47–59. doi:10.4155/bfs.11.153
- Naik, S.N., 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *RENEWABLE SUSTAINABLE ENERGY REV* 14, 578–597.
- Rosenqvist, H. akan, Nilsson, D., Bernesson, S., 2014. Kostnader och lönsamhet för odling av energigräs på en marginell jordbruksmark.
- Saha, B.C., Nichols, N.N., Qureshi, N., Kennedy, G.J., Iten, L.B., Cotta, M.A., 2015. Pilot scale conversion of wheat straw to ethanol via simultaneous saccharification and fermentation. *Bioresource Technology* 175, 17–22. doi:10.1016/j.biortech.2014.10.060
- SEKAB, 2016a. Så gör vi socker och etanol av cellulosa.
- SEKAB, 2016b. Demo Plant. SEKAB.
- Shao, Y., Wang, J., Preto, F., Zhu, J., Xu, C., 2012. Ash Deposition in Biomass Combustion or Co-Firing for Power/Heat Generation. *Energies* 5, 5171–5189. doi:10.3390/en5125171

5. TOTAL BIOMASSAPOTENTIAL FÖR ENERGIOMVANDLING OCH DESS KLIMATPÅVERKAN

I ett framtida forskningsprojekt om vägkantsvegetation och vegetation från järnvägskorridorer kommer ett av målen vara att uppskatta biomassapotentialet. Då är det viktigt att skilja mellan potentiell biomassatillväxt i relevanta vägarealer och en biomassapotentialet som är tekniskt tillgänglig för skörd. Energpotentialet kan därifrån uppskattas enligt biomassans energiinnehåll samt förväntad vattenhalt. För att beräkna en biomassa- och energipotentialet för hela Sverige föreslås en beprövad metodik som är baserad på GIS-data och som kompletteras med data som kan uppskattas utifrån stickprov. Utifrån denna energipotentialet kommer man i andra steget kunna undersöka potentialet för reducering av klimateffekter i tekno-ekonomiska studier. Eftersom lokala förutsättningar vanligtvis påverkar resultaten starkt, kommer denna del att utföras som fallstudier, som kan anpassas för produktion av olika slags energibärare. En rad viktiga variabler diskuteras här för att belysa möjliga tillvägagångssätt.

5.1. Grov uppskattning av biomassa- och energipotentialet för gräsartad vegetation

En grov uppskattning av biomassa- och energipotentialet för gräs från vägkanter och järnvägskorridorer har gjorts för hela Sveriges väg- och järnvägsnät. En uppskattning av biomassaavkastningen har tagits fram i en dansk studie om vägkantsgräs (Meyer *et al.*, 2014). Avkastningen var beräknad som en summa på två skördar, en i maj och en i oktober, som sammanlagd var på 2,0 ton ts/ha. Andra studier presenterade avkastningsnivåer på 3,3 respektive 5,0 ton ts/ha för liknande uppskattningar i Wales and Tyskland (Delafield, 2006; Kern *et al.*, 2009). Dessa värden bedöms dock som för höga för svenska förhållanden.

Det antogs att genomsnittsavkastningen på vägkanter av motorvägar, huvudvägar och mindre vägar samt järnvägskorridorer var 1,2 ton ts/ha när det skördas bara en gång per år och 2,0 ton ts/ha när vägkanterna skördas två gånger om året. För att förenkla beräkningen har värden antagits gälla för hela Sverige.

Bredden av skördeuttaget varierades mellan 1,3 och 5,0 m för vägar, medan det antogs att järnvägskorridoren var 50 m bred. Meyer *et al.* (2014) presenterade också data för andelen inorganiska ämnen (Tabell 5.1) och en praktisk testad metanpotentialet som varierade mellan 0,22 och 0,39 m³ metan per kg VS. Den tillgängliga arealen uppskattades till 95 % för motor- och huvudvägar och 70 % för mindre vägar och järnvägar.

Tabell 5.1. Dataunderlag för en grov uppskattning av vägkanternas biomassa- och energipotentialet.

Vägartyp	Biomassaavkastning [ton ts/ha]			Organisk andel [% av ts]			Vägnät ^b [km]	Uttagsremsa		Tillgänglighet för skörd ^c [%]
	Maj	Okt	Total	Maj	Okt	Snitt, viktad		låg [m]	hög [m]	
Motorväg	1,17	1,71	2,88	93,9	89,7	91,5	2050	2x1,3	2x 5,0	95
Huvudväg	0,33	0,96	1,29	88,5	76,6	80,0	610	2x1,3	2x 5,0	95
Mindre väg	0,87	1,07	1,94	91,7	85,3	88,3	95500	2x1,3	2x 5,0	70
Järnväg	0,79	1,25	2,04	91,4	83,9	86,6	14100	2x25		70

^a Meyer *et al.*, 2014

^b Trafikverket, 2015

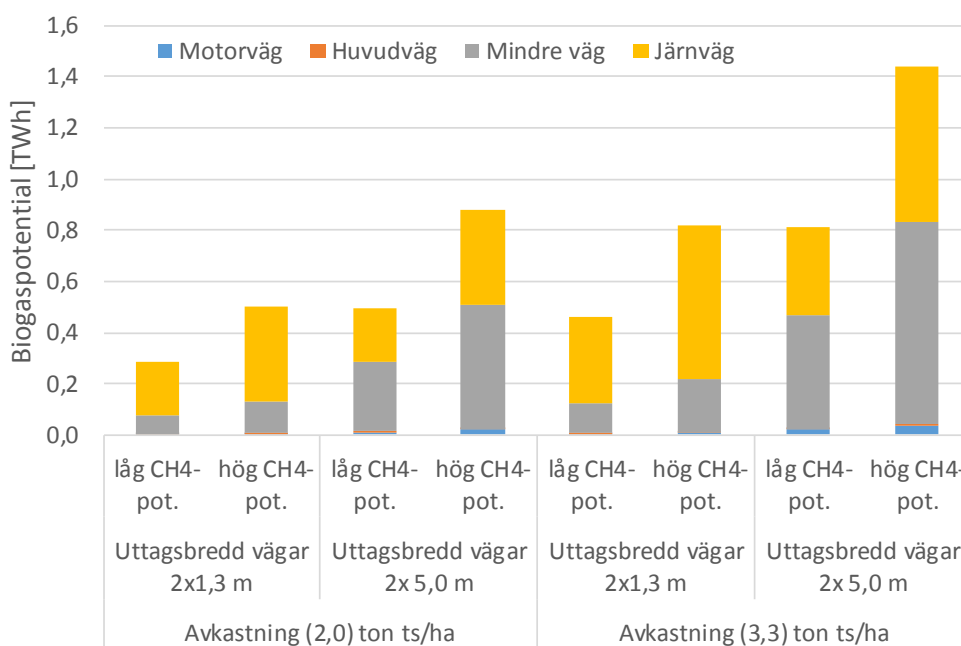
^c En högre tillgänglighet ansågs rimligt för motor- och huvudvägar, där vägkanter anläggs vid bygget.

Utifrån dataunderlaget i Tabell 5.1 beräknades biomassa- och energipotentien (Tabell 5.2). Energipotentien baserades på ett högre värmevärde för gräs på 4,9 MWh/ton (Börjesson, 2007).

Tabell 5.2. Resultat för biomassa- och energipotentien för gräs från vägkanter och järnvägs-korridorer.

Vägtyp	Uttagsyta [ha]	Biomassapotentien [t TS]	Energipotentien [TWh]
Motorväg	2050	866 - 5609	0,004 - 0,027
Huvudväg	610	145 - 748	0,001 - 0,004
Mindre väg	95500	18598 - 129689	0,091 - 0,635
Järnväg	70500	61523 - 100510	0,301 - 0,492
Summa	168660	81131 - 236555	0,398 - 1,159

Baserat på uppgifter om organisk halt (Tabell 5.1), en metanpotential på 0,22 till 0,39 m³ metan per kg organisk material och ett högre värmevärde för metan på 10,9 kWh per normaliserad kubikmeter (Meyer *et al.*, 2014), har en biogaspotential beräknats (Figur 5.1).



Figur 5.1. Översiktlig biogaspotential för gräs från vägkanter och järnvägs-korridorer i hela Sverige.

Energipotentien varierade mellan 0,40 och 1,16 TWh, medan biogaspotentialen varierade mellan 0,16 och 0,88 TWh. Det är mindre vägar och järnvägs-korridorer som utgör potentialen, motor- och huvudvägar bidrar bara marginellt.

5.2. Slytillgångar längs vägar och järnvägar

Landets tillgångar av biomassa i form av sly har uppskattats i en studie av Emanuelsson *et al.* (2014) (se också Andersson *et al.*, 2016; Ebenhard *et al.*, 2017). Med termen sly avsågs här vedartad vegetation i form av unga buskar och träd som spontant växer inom s.k. områdeskategorier: längs vägar och järnvägar, i kraftledningsgator, vid åkerkanter och på småbiotoper, på igenväxande åkermark, i ängs- och betesmarker samt i grönområden i och runt tätorter. Sly och klenträäd på produktiv skogsmark ingick inte i studien.

Potentialberäkningarna baserades på data från Riksskogstaxeringen, som regelbundet samlar in information om bl.a. tillståndet i träd- och buskskiktet från en stor mängd provytor i hela landet.

Slytillgångarna längs vägar och järnvägar redovisas nedan. Följande definitioner av områdeskategorierna Väg och Järnväg gjordes i studien (Emanuelsson *et al.*, 2014):

”Med väg avses här vägar för permanent bruk med en bredd av minst 5 m. Till vägen räknas vägbana, banketter, diken, parkeringsplatser etc. och mark där skogen regelmässigt siktröjs. Även motionsspår med en bredd av minst 5 m förs till väg. Avgörande är alltså väggatans bredd. För samtliga vägar medräknas de vägområden som normalt helt och hållet siktröjs”.

”Med järnväg avses område för spårbunden trafik. I järnvägen ingår ett större område än själva banvallen, nämligen hela den areal där skogsbruk inte kan bedrivas p.g.a. järnvägens existens. Sådant område är ofta inhägnat, vilket underlättar gränsdragningen. Vägar och järnvägar inom eller vid kanten av åker, fjäll, militärt impediment, bebyggd mark eller annan mark förs till respektive angränsande ägoslag”.

För vägar fanns ytterligare en områdeskategori (Väggkant 5+5 m), där inte bara vägbank och diken siktröjdes 5 m ut från vägbanan, utan där man också gjorde en gallring av stående träd ytterligare 5 m längre in i omgivande mark (Emanuelsson *et al.*, 2014). Samma maskin kan användas som för kategorin Väg, förutsatt att den har tillräcklig räckvidd. Gallringen av dessa sista 5 m in i t.ex. angränsande skogsmark innehåller ofta stora mängder biomassa, samtidigt som skogsproduktionen gynnas av gallringen. Den praktiska biomassapotentien för denna områdeskategori kan dock bli betydligt lägre, eftersom särskilda avtal måste upprättas med varje enskild markägare.

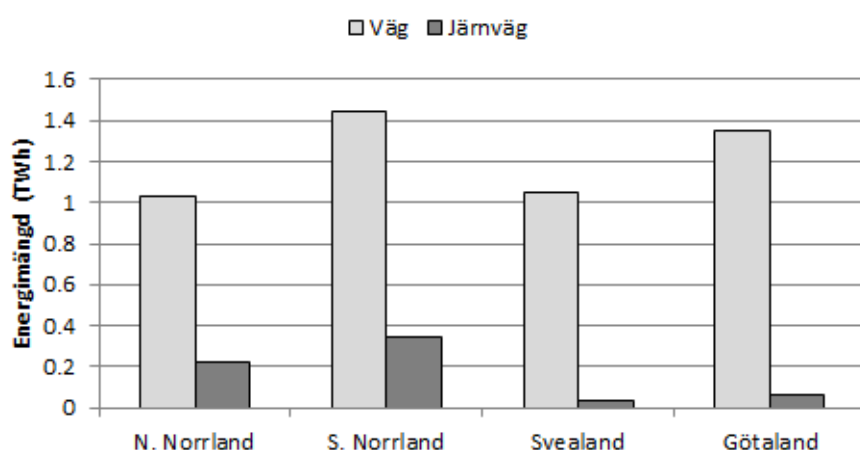
I Riksskogstaxeringens databas görs ingen åtskillnad mellan väg och järnväg. I studien av Emanuelsson *et al.* (2014) användes därför GIS-baserade vägdata från Lantmäteriet, och dessutom gjordes vissa antaganden avseende avstånden från provytornas centrum och vägen/järnvägen i syfte att kunna särskilja dessa (se Emanuelsson *et al.*, 2014).

Potentialberäkningarna redovisas dels som bruttopotential och dels som potential med hänsyn tagen till tekniska och ekonomiska restriktioner. Bruttopotentialen är den stående biomassan (så som den såg ut kring år 2010). Den teknisk/ekonomiska potentialen beskriver den mängd biomassa i form av flis som kan levereras till en användare till en kostnad av maximalt 1 000 kr/ton TS (ca 210 kr/MWh) (de använda kostnadsfunktionerna redovisas i Emanuelsson *et al.* (2014)). Dessutom antogs att alla träd med en diameter större än 20 cm lämnades kvar av biologiska/ekologiska/estetiska hänsyn. Slutligen redovisar Emanuelsson *et al.* (2014) en uppskattning av årliga uttag.

Resultaten visade att bruttotillgångarna av sly längs vägar och järnvägar var 4,9 TWh för Väg, 0,7 TWh för Järnväg och 108 TWh för Vägkant 5+5 (Tabell 5.3). De största mängderna finns i södra Norrland (Figur 5.2).

Tabell 5.3. Bruttotillgångar av sly längs landets vägar och järnvägar. Bruttotillgångarna för kategorin Vägkant 5+5 m visas också. Källa: Emanuelsson *et al.* (2014)

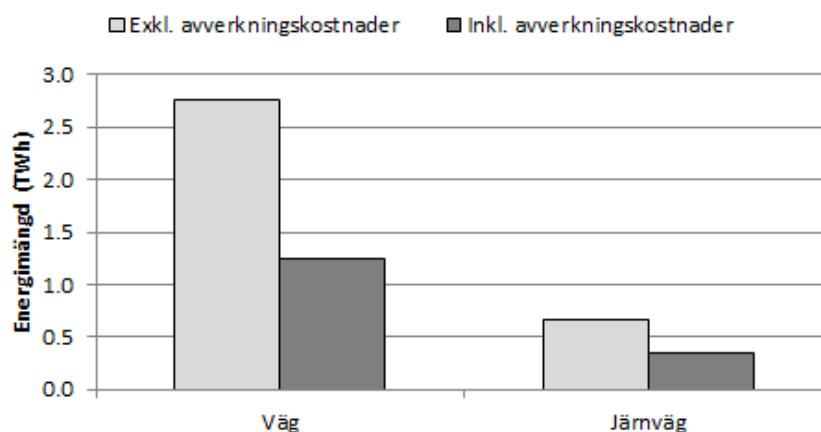
	Areal (1000 ha)	Mängd (1000 ton TS)	Mängd (ton TS/ha)	Energi (TWh)
Väg	467	1 037	2,2	4,9
Järnväg	33	139	4,3	0,7
Summa	500	1 176	6,5	5,6
Vägkant 5+5 m	288	23 057	80,1	108,4



Figur 5.2. Fördelning av bruttopotentialen för Väg och Järnväg. Källa: ritat efter Emanuelsson *et al.* (2014).

Den teknisk/ekonomiska potentialen redovisas av Emanuelsson *et al.* (2014) med och utan hänsyn tagen till avverkningskostnaderna (Figur 5.3). För ytor där man av olika skäl måste röja (t.ex. siktröjning), har man en avverkningskostnad oberoende av om materialet tas tillvara eller inte.

Det årliga uttaget för Väg och Järnväg beräknades till 0,8 resp. 0,2 TWh (Emanuelsson *et al.*, 2014; Ebenhard *et al.*, 2017). Beräkningarna baserade sig på den teknisk/ekonomiska potentialen, på uttagsintervall om 10 (Järnväg) och 20 år (Väg) samt att uttag endast görs av träd med diametern < 20 cm (Ebenhard *et al.*, 2017). Vidare antogs att det stående biomassa-förrådet är konstant över tid, d.v.s. att det årliga uttaget är lika stort som den årliga tillväxten. Enligt Emanuelsson *et al.* (2014) är skattningen av det årliga uttaget sannolikt i underkant. Författarna tror att man under de närmaste 10-20 åren i praktiken kan ta ut betydligt mer, bl.a. beroende på den förbuskning som skett i landskapet under de senaste åren.



Figur 5.3. Teknisk/ekonomisk potential för slytäkt för Väg och Järnväg utan resp. med hänsyn tagen till avverkningskostnaderna. Källa: ritat efter Emanuelsson *et al.* (2014).

Tabell 5.4. Möjligt årligt uttag av biomassa för kategorierna Väg och Järnväg (Emanuelsson *et al.*, 2014; Ebenhard *et al.*, 2017)

	Bruttomängd (TWh)	Ekonomiskt tillgängligt år 0 (TWh)	Årligt uttag, netto (TWh)
Väg	4.9	2.8	0.8
Järnväg	0.7	0.7	0.2
Summa	5.6	3.5	1.0

Emanuelsson *et al.* (2014) redovisar ingen uppdelning av olika vägtyper i sina potentialuppskattningar. Det står dock klart att den mycket stora potentialen för Vägkant 5+5 till största delen kan hänföras till skogsbilvägar och mindre privata vägar i skogsbygder. Denna potential kan alltså knappast tillgodoräknas de större allmänna vägar som Trafikverket ansvarar för. Även om slypotentialen för kategorin Väg också är avsevärd, så bör samma resonemang gälla här. De större vägar som Trafikverket ansvarar för röjs oftast regelbundet (minst en gång om året) och mängden sly torde därför vara relativt liten.

5.3. Förslag på fördjupade potentialstudier

5.3.1. Metodik

Biomassapotentialet från vägkanter i form av gräsartad biomassa kan uppskattas för hela Sverige med hjälp av geografiska indikatorer som utvecklas från t.ex. GIS- eller ortofotonbaserade modeller. Modellerna kan bl.a. ta hänsyn till geografiskt läge, markanvändning, näringsstatus i omgivningen, trafiksäkerhetsaspekter, samt potential för ekosystemtjänster. En liknade strategi har använts i flera tidigare studier, t.ex. Meyer *et al.* (2014) och Van Meerbeek *et al.* (2015). Begränsningar i areal t.ex. p.g.a. en vägkant tillhörande arealen som ska bevaras eller utvecklas som artrik vägkant eller skyddszon behöver identifieras och ytan uppskattas vid areaberäkningen. Dessa arealer ska undantas från produktionspotentialen.

Utifrån den totala biomassapotentialet behöver en teknisk tillgänglig potential uppskattas där det tas hänsyn till framförallt tillgänglighet och maskinsystemens begränsningar. Det är eftersträvansvärt att undersöka olika skötselregimer i en scenarioanalys, t.ex. med olika intervaller för uttag av biomassa. Vid val av skötselregimer behöver trafiksäkerhetsrelaterade regler beaktas (Voinov *et al.*, 2015). Skötselregimer ger också upphov till att bevara eller utveckla vissa områden för ökad biodiversitet eller för att avsätta områden för att passivt eller aktivt producera biomassa.

Utifrån ett antal utvalda scenarier för biomassaavkastning kan även en bedömning göras hur dessa påverkar biomassaavkastningen över en period med oförändrad skördestrategi, d.v.s. en uppskattning av hur stabil biomassaskörden är över flera år, när en viss skörde rutin och skördeintervall tillämpas.

För järnvägskorridorer, kommer biomassapotentialet att uppskattas för en period som ligger efter utvidgningen av korridorbredden, vilket förväntas ske t.ex. genom avverkning. Även här kan olika skötselregimer undersökas för att avgöra om det finns skillnader i energipotential och miljöeffekt. Energipotentialen från avverkningen ses i så fall som en engångseffekt, som ligger utanför systemgränsen för en möjlig studie eller som en egen studie. Vegetationen som uppstår efter en sådan avverkning kan vara gräs- eller vedartad eller en kombination av dessa, där sammansättningen beror till största del på den skötselregim som tillämpas. Tillväxt av vedartad biomassa, såsom slytäkt, har tidigare uppskattats med hjälp av beräkningsmodeller. Som exempel kan nämnas *Heureka*, där applikationen *RegVis* fungerade som modell för omfattande regionala analyser (Emanuelsson *et al.*, 2014). För gräsmarker kan potentiella uttagsnivåerna uppskattas på ett liknande sätt som för vägkanter.

För både vägkanter och järnvägskorridorer behöver maskinellt tillgängliga areal uppskattas. Även här kan en GIS-baserad beräkningsmodell användas. Viktiga faktorer här kommer bl.a. att vara markanvändningsklasser, lutning, och andra tekniska begränsningar för insamling av biomassa, såsom vägens sträckning i förhållande till trafik och eventuellt stängsel.

5.3.2. Uttagsarealen

Uttagsarealen för vägkanter kan uppskattas utifrån vägkantlängden och bredden på den skördade arealen. Längden av vägkanten bestäms då utifrån datorbaserade vägkartor. Detta kan ske baserat på digitala kartor (t.ex. OpenStreetMap) för ett antal vägkategorier som skiljer sig t.ex. genom storleken, trafikdensiteten och skötselregimer. Bredden för vägkanter som utgörs av gräsmark har tidigare uppskattats med hjälp av stickprovsverifiering (Stenmark, 2012). Då mäts bredden på vägkanten med hjälp av ortofoton på ett stort antal punkter. Genom en statistisk analys kan en medelbredd (för ett antal vägkategorier) beräknas. Denna approach kan tillämpas också i denna studie, men det föreslås en utökning av antal undersökta punkter per vägkategori.

Ett tillägg som kan förbättra beräkningen av uttagsarealen betydligt är baserat på högupplöst höjddata (LiDAR; Trafikverket, 2015), som används för att undersöka hur fältkantens topografi ser ut, t.ex. om det är ett dike i anslutningen eller en brant backe (Meyer *et al.*, 2014). Utifrån detta kan bredden av vägkanten beräknas som t.ex. är teknisk tillgänglig för skördemaskiner, bl.a. genom att justera bredden med en lutningskoefficient (Stenmark, 2012). Arealen av vägkanter kan sedan beräknas för olika väg- och användningskategorier. Arealen i järnvägskorridorer som kan bidra till produktion av biomassa eller andra ekosystemtjänster såsom biodiversitet kan uppskattas på ett liknande sätt, där längden bestäms

utifrån digitalt kartmaterial. Bredden bestäms dels av terrängen, dels av reglerna för järnvägstrafiksäkerhet. Terrängens begränsningar på bredden behöver uppskattas med t.ex. LiDAR-data.

5.3.3. Kalibrering

Eftersom en GIS-modell bara kan uppskatta biomassaavkastningen utifrån ett antal variabler, behöver GIS-modellen kalibreras/verifieras. Detta kan ske t.ex. med hjälp av fältprovtagningar, provskördar eller befintlig (men regional begränsat) data, där även skördetidpunkten är en viktig aspekt då den påverkar avkastningen, val av konverteringsmetod/process samt energipotentialen.

5.3.4. Energipotentialen

Den totala energipotentialen från väggkants- och järnvägskorridorvegetation kan sedan modelleras baserat på de modellerade biomassaavkastningar och tillhörande arealstorlekar. En viktig faktor kommer dock vara den omvandlingseffektivitet som beror på den använda omvandlingsprocessen. Det är av fördel om olika omvandlingsprocesser kan utredas, då den skördade biomassan kan ha olika sammansättningar av gräs och vedartad biomassa beroende på skötselregimen som tillämpas. Några processer presenteras i kapitel 4.4. Dessa processer kan leda till produktion av fasta (fastbränsle till el- och värmeproduktion eller biokol), flytande (t.ex. etanol) eller gasformiga (biogas) energibärare, eller en kombination av dessa. Omvandlingseffektiviteten kan uppskattas från litteraturdata, men kan kompletteras med labbstudier där lämpliga underlag saknas.

Förslag till val av lämpliga berednings- och omvandlingssystem kan göras baserade på översiktliga kostnadsanalyser samt värdering av miljöeffekter. Här är det viktigt att ta speciell hänsyn till restprodukter från omvandlingsprocesserna och deras lämplighet för näringsextraktion alternativ användning som biogödsel. Fokus bör speciellt ligga på halten av tungmetaller i relation till växtnäringsinnehållet i materialet, eftersom detta kan begränsa användningsmöjligheterna för restprodukterna.

Energiutbytet uppskattas för olika biomassasammansättningar och för utvalda förbehandlings- och omvandlingsprocesser. I mån av tillgänglighet kan litteraturdata för biogas-, etanol- och fastbränslepotentialer användas. Dessa kan kompletteras med labbanalyser på fraktioner som uppstår i de utvalda processerna. Med hjälp av labbanalyserna kan energiutbyten och i förlängning även ekonomisk hållbarhet av olika kombinationsprocesser uppskattas där flera produkter (t ex etanol och biogas eller biogas och fastbränsle) produceras samtidigt.

5.4. Klimatpåverkan

Den samlade klimatpåverkan av olika kombinationer av skötselregimer och omvandlingsprocesser kan uppskattas med hjälp av modellering av skörde- och insamlingsprocesser samt logistik och omvandlingsprocesser i ett antal utvalda fallstudier. Användning av energi (diesel, el, m.m.) och material (maskiner, byggnader, reaktorer, m.m.) beräknas (Durling *et al.*, 2000) och därmed kan dess växthusgaspotential uppskattas. Detta kan med fördel göras med hjälp av LCA-metodiken (ISO, 2006). Olika processer och slutprodukter kan studeras i form av uttags- och användningsscenarier för biomassa från väggkantsvegetation och ställs mot nuvarande situation för att kunna bedöma effekter av olika handlingsstrategier. Potentialen för

att undvika växthusgasutsläpp genom ersättning av fossila energibärare med hjälp av de producerade förnybara biobränslena kommer att uppskattas. För de producerade drivmedlen (t.ex. biogas, etanol, metanol etc.) kan en bedömning göras om hållbarhetskriterier enligt EU-RED standard uppfylls (EC, 2009; EC 2015).

5.5. Sammanfattning

En grov uppskattning visade att det är främst mindre vägar och järnvägskorridorer som bidra till biomassa- och energipotentialen. En förbättrad metodik behöver dock omfatta en verifiering av avkastningsnivåer, uttagsbredden samt förutsättningar för fler än en skörd per år, t.ex. genom stickprov och med tillämpning av regelverket för underhåll.

Systemstudien kan göras för hela Sveriges väg- och järnvägsnät, men bäst begränsas till lämpliga fallstudier där lokala (verifierade) förutsättningar, alternativa skötselregimen och olika användningsområden kan vägas in.

5.6. Referenser

- Andersson, R., Emanuelsson, U., Ebenhard, T., Eriksson, L., Hansson, P.-A., Hultåker, O., Lind, T., Nilsson D., Ståhl, G., Forsberg, M. & Iwarsson Wide, M. 2016. Sly – en outnyttjad energiresurs. Kortversion av en rapport. CBM:s skriftserie nr 100. Centrum för biologisk mångfald (CBM), Uppsala.
- Börjesson, P., 2007. Bioenergi från jordbruket – en växande resurs. Jordbruksdepartementet - Statens Offentliga Utredningar, Stockholm, Sweden, p. 496.
- Delafield, M., 2006. A practical trial to investigate the feasibility of wice-scale collection of cutting from roadside verges in Powys, for use in biogas and compost production. Montgomeryshire Wildlife Trust, Powys, UK.
- Durling, M., Jacobsson, K., 2000. Slätter av vägkanter med upptagande slagslätteraggregat : energianvändning och kostnader vid upptagning, transport och behandling. Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala.
- Ebenhard, T., Forsberg, M., Lind, T., Nilsson, D., Andersson, R., Emanuelsson, U., Eriksson, L., Hultåker, O., Iwarsson Wide, M. & Ståhl, G. 2016. Environmental effects of brushwood harvesting for bioenergy. *Forest Ecology and Management*, 383, 85–98.
- EC, 2009. Directive 2009/28/EC of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources.
- EC, 2015. Directive 2015/1513 amending Directives 98/70/EC and 2009/28/EC. In: Council, E.P.a. (Ed.), Brussels, Belgium.
- Emanuelsson, U., Ebenhard, T., Eriksson, L., Forsberg, M., Hansson, P.-A., Hultåker, O., Wide, M.I., Lind, T., Nilsson, D., Ståhl, G., Andersson, R., 2014. Landsomfattande slytäkt – potential, hinder och möjligheter. Centrum för Biologisk Mångfald, Uppsala, p. 171. Tillgänglig på: <http://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/ovrig-forskning/huvudrapport-sly-stem.pdf> (2016-11-17).
- ISO, 2006. Environmental management - Lifecycle assessment - requirements and guidelines. Int Standard Org, SS-EN ISO 14044.
- Kern, M., Funda, F., Hofmann, H., HJ, S., 2009. Biomassepotenzial von Bio- und Grünabfällen sowie Landschaftspflegematerialien. Biomasse-Forum 2009.

- 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.
- Stenmark, M., 2012. Infrastrukturens gräs- och buskmarker. Jordbruksverket, Jönköping, p. 48.
- Trafikverket, 2015. Kartering av allér med LiDAR i Sollentuna kommun - metodutveckling, databasuppbyggnad och landskapsanalys. Borlänge.
- Van Meerbeek, K., Ottoy, S., De Meyer, A., Van Schaeybroeck, T., Van Orshoven, J., Muys, B., Hermy, M., 2015. The bioenergy potential of conservation areas and roadsides for biogas in an urbanized region. *Appl. Energy* 154, 742-751.
- Voinov, A., Arodudu, O., van Duren, I., Morales, J., Qin, L., 2015. Estimating the potential of roadside vegetation for bioenergy production. *J. Cleaner Prod.* 102, 213-225.

6. AFFÄRSUTVECKLING OCH INCITAMENT FÖR SKÖRD AV VÄXTMATERIAL FRÅN TRAFIKYTOR

Trafikverket har som mål att generellt minska infrastrukturens klimatpåverkan. Ett effektivt uttag och användning av biomassa som finns längs vägar och järnvägar kan bidra till detta mål. I många fall är det idag inte ekonomiskt lönsamt att använda denna biomassa, varför den ofta lämnas liggande på marken, trots de vinster som skulle kunna finnas i minskad miljöpåverkan. I detta kapitel diskuteras övergripande ett antal exempel på åtgärder som skulle kunna främja sådan användning samt metoder för att kvantifiera miljöpåverkan, vilket är ett krav för att effektivt kunna styra mot minskad sådan.

6.1. Kvantifiering och värdering av miljönytta

En metod för kvantifiering av miljönytta är i många fall en förutsättning för att kunna ställa krav eller utforma incitament för att öka miljönyttan vid skötsel av vägkanter och järnvägsvallar.

I dagsläget tillhandahåller Trafikverket verktyget Klimatkalkyl för att göra beräkningar av klimatpåverkan för investerings- och underhållsprojekt med LCA-metodik. Verktyget har utvecklats för att underlätta beräkning av klimatbelastning och energianvändning baserat på s.k. typåtgärder eller projektspecifika uppgifter. Verktyget är främst avpassat för investeringsprojekt; de beräkningar av drift och underhåll bygger framför allt på uppgifter om vad som sker i dagsläget kopplat till de typåtgärder som ingår i projektet. Rövning av vägkanter och järnvägsvallar ingår inte.

Utveckling av nya metoder/verktyg för värdering av miljönytta vid olika åtgärder vid rövning kommer därför att behövas för att möjliggöra en styrning mot ökad miljönytta från Trafikverkets sida.

Det är här värt att notera att de två miljönyttorna klimatpåverkan och artrikedom ibland kan komma att motverka varandra, eftersom en hög produktion av biomassa har potential att ge stor klimatnytta om den används korrekt, emedan en sådan hög produktion oftast kommer att innebära en minskad artrikedom. Detta diskuteras utförligt i andra delar av denna rapport.

6.1.1. Klimatpåverkan från skörd och transporter

Vid värdering av den totala miljöpåverkan måste naturligtvis miljöpåverkan från själva skörden och transporter beaktas, även de delar som inte påverkas av om biomassan transporteras bort för användning eller inte. Dessa domineras troligen av utsläpp från de maskiner som används. För denna del av miljöpåverkan fungerar etablerade metoder för att mäta miljöpåverkan för drift av arbetsmaskiner bra.

6.1.2. Minskad klimatpåverkan från användning av skördad biomassa

Den effekt användning av biomassa som skördas från trafikytor har beror på ett antal faktorer där de viktigaste är vad biomassan används för att producera, vilken annan produkt denna produkt ersätter samt hur effektiv produktionsprocessen är. Ett livscykelperspektiv måste alltid användas.

För transportbränslen, t.ex. fordonsgas, finns hållbarhetskriterier och en standardiserad metod att beräkna klimatpåverkan i förnybarhetsdirektivet (2009/28/EG, artikel 19). Detta direktiv är under omarbetning för perioden 2020-2030, vilket bl.a. med stor sannolikhet kommer att innebära att kraven på utsläpp av växthusgaser kommer att skärpas så att biodrivmedel som produceras i nya anläggningar måste ha minst 70 % lägre växthusgasemissioner än fossila bränslen. Det kan noteras att fordonsgas eller etanol som produceras genom rötning eller jäsning av restprodukter/avfall (som t.ex. halm) ofta når höga reduktioner i växthusgasemissioner, varför detta inte torde utgöra ett problem utan snarare en möjlighet.

För biogasproduktion ur den typ av råvaror som är aktuellt här finns ingen schablon för råvarans egen klimatbelastning och troligen måste en metodik för skattning växthusgasutsläpp associerade med råvaran tas fram. För biogasproduktion ur avfall (kommunalt avfall, gödsel) anses schablonmässigt klimatpåverkan från råvaran vara noll och endast utsläpp under processen och distribution. För andra typer av biodrivmedelsprocesser beräknas ”virkesavfall” respektive ”odlad skog” ha klimatbördor om 1 respektive 5-6 g CO₂-eq/MJ. Det är högst osäkert huruvida eventuella alternativa utsläpp av CO₂ och metan som skulle uppstå om biomassan lämnades på marken kan inkluderas i en sådan beräkning.

Ytterligare positiv effekt på klimatpåverkan fås om näringsämnen från den skördade biomassan kan användas i jordbruk som ersättning för konstgödsel. Detta kan ses som att biomassan används för att producera två produkter som var för sig har en klimatnytta. Användning av näringsämnen kan uppnås genom återföring av rötrest till jordbruksmark men tungmetaller kan begränsa dessa möjligheter och detta är en mycket viktig fråga att utreda vidare, även av ekonomiska skäl. För rötrest från vattenreningsslam finns ett certifierings-system, REVAQ, som drivs av Svenskt Vatten, och som ska säkra kvalitén på slam som används i jordbruket. Inom EU finns ett slamdirektiv som reglerar användning av slam för återföring av näringsämnen. Sverige har infört nationell lagstiftning med betydligt högre krav för användning av slam i jordbruket. Biogasproduktion kan i många fall i praktiken omöjliggöras om rötresten inte kan utnyttjas som gödningsmedel. Det är värt att notera att förnybarhetsdirektivet inte tillåter att denna effekt (klimatnytta av att mindre konstgödsel används) tas med som en positiv faktor i beräkningen av biogasens klimatpåverkan, eftersom man gör allokering på energibas.

Vid produktion av fastbränsle (t.ex. pellets) för produktion av värme eller el måste vissa kriterier mötas för att användaren ska kunna klassa denna som bioenergi (t.ex. för elcertifikatssystemet). Men det är även viktigt att beakta att för att en riktig positiv klimateffekt ska fås av fastbränslen producerade ur biomassa från vägkanter måste dessa ersätta fossila bränslen, inte bara andra biobränslen. Detta är en komplicerande faktor vid utvärdering av klimateffekterna men generellt kan man ändå dra slutsatsen att ökad tillgänglighet av billiga fasta biobränslen på sikt kommer att öka bioenergiandelen, speciellt om de kan exporteras till andra länder där andelen bioenergi är mycket lägre än i Sverige.

Förbränningsaska från biopannor återförs till viss del till skogsmark idag men det pågår ett omfattande arbete för att öka återföringen, eftersom detta bedöms nödvändigt för att undvika utarmning av marken vid ett ökat framtida uttag av avverkningsrester från skogen. För biomassa från vägkanter är det primärt inte frågan om att återföra askan till samma mark, eftersom man ofta eftersträvar minskad näringstillförsel till denna, utan att kunna använda näringsämnena på annan mark. För vedartad biomassa från vägkanter m.m. (sly) borde detta arbetet med skogsbiomassa vara i stort tillämpligt så länge halterna av tungmetaller inte blir problematiska. För gräs/hö är asksammansättningen helt annorlunda.

6.1.3. Artrikedom

Eftersom ökad artrikedom är ett uttalat mål för vissa ytor måste en kvantifiering av denna aspekt tas med om den övergripande miljönyttan av användning av biomassa ska kunna uppskattas. Som noterats ovan kan klimatpåverkan och artrikedom ibland motverka varandra. En hög produktion av biomassa, som har potential att ge stor klimatnytta om den används korrekt, kan innebära en minskad artrikedom.

En möjlig förenkling är att använda en klassificering av ytor. Ytor där artrikedom anses vara det övergripandemålet omfattas då eventuellt inte av incitament som styr mot minskat klimatpåverkan genom ökat utnyttjande av biomassan. Istället är det incitament mot ökad artrikedom som styr mot bortforsling av biomassan i de specifika fall det gynnar artrikedomen.

6.2. Metoder för styrning mot ökad miljönytta

Från ett övergripande perspektiv kan man tänka sig ett antal olika sätt att styra röjning av trafikytor mot minskad miljöpåverkan. Nedan diskuteras väldigt översiktligt allmänna incitament för ökad användning av biomassa och bioenergi i samhället samt exempel på specifika incitament eller krav för nyttiggörande av skördad biomassa vid upphandling

6.2.1. Allmänna incitament för ökad användning av biomassa och bioenergi i samhället.

I dagsläget finns ett antal incitament som ökar användningen av biomassa för energiändamål i Sverige, t.ex. elcertifikatsystemet. I dagsläget är dock den långsiktiga trenden att värmebehoven i fjärrvärmenäten minskar samtidigt som mycket av de investeringar i förnybar el som gjorts skett inom vindkraft, varför inhemsk framtida efterfrågan på fasta bränslen troligen kommer att vara högre inom andra områden.

Inom biodrivmedelsområdet har det under ett antal år funnits en stor osäkerhet om vilka lagar och regler som ska gälla på lång sikt, vilket har inverkat mycket negativt på investeringar i inhemsk biodrivmedelsproduktion. I november 2017 har Energimyndigheten tillsammans med Boverket, Naturvårdsverket, Trafikanalys, Trafikverket och Transportstyrelsen lämnat ett gemensamt förslag till utformningen av ett långsiktigt styrmedel för att öka användningen av biodrivmedel till Regeringskansliet. Ett sådant nytt styrmedel, som troligen blir en så kallad reduktionsplikt för låginblandade biodrivmedel och skattebefrielse för rena biodrivmedel (dit fordonsgas räknas) kan träda i kraft 2018.

Allmänna incitament för ökad användning av biomassa för produktion av el/värme eller biodrivmedel har någon effekt på användning av biomassa från röjning runt vägar och järnvägar endast om kostnadsstrukturen för skörd och nyttiggörande inte är avsevärt sämre än för andra typer av biomassa som kan användas för samma tillämpning. Som exempel kan nämnas att vid röjning av vägkanter påverkas kostnaden neråt av hög tillgänglighet för transporter men ofta uppåt av låg biomassetäthet. De flesta typer av biomassa som skördas runt vägar och järnvägar kommer att ha låg energitäthet på volymbasis, vilket ökar kostnaderna. Dimensionen på småträd som skördas har stor betydelse för ekonomin (Emanuelsson m.fl. 2014).

Det är i denna begränsade studie inte möjligt att dra någon generell slutsats om hur befintliga eller nya allmänna incitament för ökad användning av biomassa och bioenergi i samhället påverkar lönsamheten för användning av biomassa från områden runt vägar och järnvägar. Enskilda värdekedjor måste analyseras specifikt; det finns exempel på kedjor som redan är lönsamma (Iwarsson Wide, 2009), se 6.3 nedan.

6.2.2. Specifika krav eller incitament för nyttiggörande av skördad biomassa vid upphandling

Upphandlande myndighet har stor möjlighet att ställa långtgående krav på vad som ska upphandlas även utöver EU-harmoniserad lagstiftning, enligt Upphandlingsmyndigheten. Vid användning av upphandlingsmekanismer för styrning mot ökad miljönytta kan man tänka sig hårda krav (skall-krav) eller mjukare krav (incitament).

Skall-krav är beroende av den typ av biomassa som skördas, vilken är lämplig för olika typer av användning. Därför måste dessa troligen sättas specifikt för vissa kategorier/delar av denna skördade biomassan. Ett alternativ är ett system där poäng ges till anbud som klimateffektivt använder den skördade biomassa.

Generellt gäller att, eftersom olika användning av biomassan ger olika klimatnytta, är det viktigt att koppla upphandlingsvillkor till de metoder för kvantifiering av miljönytta som diskuterats ovan, eller åtminstone till vissa godkända former av användning. Allmänna villkor som ”minst xx% av den skördade biomassan ska användas för energiändamål” kommer att vara svårt att koppla till en kvantifierad klimatnytta.

6.3. Exempel affärsmodeller och incitament från Sverige och andra länder

6.3.1. Trafikverkets arbete med utveckling av affärsmodeller för insamling av biomassa

Trafikverket introducerade 2016 klimatkrav på leverantörer i investeringsprojekt. Kraven gäller klimatpåverkan ur ett livscykelperspektiv inkluderande byggnation, de material som används och framtida underhåll. Till att börja med omfattas nya beställningar på investeringsprojekt på över 50 miljoner som planeras att öppna för trafik 2020 eller senare. Kraven skärps succesivt. I snitt ställs krav på 15 procent reduktion av klimatpåverkan till 2020 och 30 procent till 2025 jämfört med ett utgångsläge som motsvarar 2015. Långsiktigt är visionen en klimatneutral infrastruktur till 2050 (kan komma ändras till 2045 enligt Miljömålsberedningen förslag till nytt klimatmål). Kraven ställs på en reduktion av klimatpåverkan utan att gå in i detalj hur det ska göras vilket skapar möjlighet för entreprenören att självt välja de mest kostnadseffektiva lösningarna.

Krav utvidgas efterhand till att även omfatta baskontakt för underhåll, beläggningsprojekt och mindre investeringsprojekt samt Trafikverkets inköp av järnvägsmateriel (slipersupphandling görs för tillfället med klimatkrav).

Uttag av biomassa från väg- och järnvägsområdet för produktion av biodrivmedel, el eller värme kan ersätta användning av fossila bränslen såsom bensin och diesel. Man skulle därför kunna se uttaget som ett negativt utsläpp. Om entreprenören skulle kunna tillgodoräkna sig dessa negativa utsläpp skulle det kunna vara ett sätt för dem att tillsammans med andra åtgärder klara de klimatkrav som Trafikverket i framtiden kommer ställa på baskontakt underhåll. Vid överträffande av kraven skulle de dessutom kunna få bonus för det.

I de krav som ställs idag ska entreprenören i slutet av kontraktet göra en klimatdeklaration och där också visa effekten av genomförda åtgärder jämfört med utgångsläget som motsvarar situationen 2015. Idag är uttag av biomassa och den nytta det kan ge utanför systemgränserna för klimatkalkylen. Trafikverket äger dock verktyget och kan välja att lägga systemgränserna så att de ingår. Schablon för utsläppsreduktion per levererad mängd biomassa till anläggning skulle kunna ges i klimatkalkylverktyget. Transporter från uttaget till anläggningen bör ligga inom systemgränserna så att det ges incitament för en effektivisering av logistiken.

Uppföljning ingår redan idag i klimatkraven genom att klimatdeklarationen ska göras i slutet och det är som nämnts också bonusgrundande. Om biomassan också ska ingå är det viktigt att de på något sätt kan verifiera mängd biomassa som de levererat till anläggningen i lämpligt mått. Utöver utsläppen från slätter och avverkning som alltid ingår och som ska kunna verifieras så behöver också utsläppen från transporten komma med i uppföljningen.

6.3.2. Biogas från biomassa från väg- och järnväg i Tyskland

I Tyskland används biogas framförallt för produktion av förnybar el genom förbränning av biogasen i gasmotorer eller likande. Förbränningen sker vid biogasanläggningen eller vid ett större värmeunderlag så att även restvärmen från elproduktionen kan nyttjas. År 2015 genererades 31,6 TWh el från biogas i Tyskland, vilket utgör ca 5 % av Tysklands totala elanvändning (Lewicki, 2013).

Gräsartad biomassa från väg- och järnväg är i dagsläget inget relevant substrat i biogasanläggningar eftersom rötresten inte får användas efteråt, p.g.a. ett förbud i den tyska gödningsmedelslagen. Även om materialet skulle användas så skriver forskare på Universitetet i Freiburg i en rapport att man inte skulle räkna med höga vinster i driften av en biogasanläggning som körs på gräsartad biomassa som en restprodukt från kommunal verksamhet. Författarna ger rekommendationer på företagsformer och upplägg så att fler parter i produktionskedjan (skötsel företaget, jordbrukarna, biogasföretag och kommuner) ändå kan driva en produktiv verksamhet som har andra mål än vinstmaximering (Dunkelberg *et al.*, 2011). Rapporten tar dock bara hänsyn till tyska förhållanden, d.v.s. biogasen antas enbart gå till el- och, delvis, värmeproduktion.

6.3.3. Program för ökad användning av trädavfall från vägskötsel i Österrike

År 1986 infördes ett program för att öka användningen av trädavfall från vägskötsel i regionen Niederösterreich i Österrike för att minska användning av fossila energibärare och samtidigt ta hand om trädavfallet (Rommeiss *et al.*, 2006). Inom programmet byggdes 20 biomassaeldade värmepannor vid olika vägunderhållscentraler varav 7 anslöts till fjärrvärmenätet. Som en anledning varför man lyckades med detta anges ”utbildnings- och motiveringsarbete” som genomfördes tidigare hos medarbetare i vägunderhållscentraler där man fokuserade på effektiv behandling av biomassa från vägkanter och drift av biomassaeldade värmepannor (Rommeiss *et al.*, 2006).

6.3.4. Avverkning av skogsbränsle vid vägkanter i Jämtland

En pilotstudie genomfördes nära Krokoms i Jämtland där vedartad biomassa, som skulle användas som bränsle i kraftvärmeanläggningar, avverkades längs skogsvägkanter. Resultaten visar på god lönsamhet för denna sortens biomassa. Författaren påpekar att det är viktigt att

använda rätt verktyg och metod när biomassan skördas och omvandlas till bränsle, efter detta ha stor påverkan på lönsamheten (Iwarsson Wide, 2009).

6.4. Referenser

- Dunkelberg, E., Aretz, A., Böther, T., Dieterich, M., Heintschel, S., Ruppert-Winkel, C., 2011. Leitfaden für die Nutzung kommunaler, halmgutartiger Reststoffe in Mikrobiogasanlagen und Bestandsanlagen (No. Working Paper 05-2011). University of Freiburg, Centre for Renewable Energy, Freiburg, Germany.
- Emanuelsson, U., Ebenhard, T., Eriksson, L., Forsberg, M., Hansson, P-A., Hultåker, O., Iwarsson Wide, M., Lind, T., Nilsson, D., Ståhl, G., Andersson, R., 2014. Landsomfattande slytäkt – potential, hinder och möjligheter, SLU
- Iwarsson Wide, Maria. “Skogsbränsleuttag i vägkanter: Prestationsstudie - uttag av skogsbränsle i vägkant med Bracke C16.” Uppsala: Skogforsk, 2009.
- Lewicki, P., 2013. Erneuerbare Energien in Zahlen [WWW Document]. Umweltbundesamt. URL <http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen> (accessed 10.24.16).
- Rommeiss, N., Thrän, D., Schlägl, T., Daniel, J., Scholwin, F., 2006. Energetische Verwertung von Grünabfällen aus dem Straßenbetriebsdienst. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH (IE), Leibzig, Germany.

7 UTFORMNING AV FRAMTIDA PILOTPROJEKT

I denna förstudie har vi identifierat en rad nyckelkomponenter som är av betydelse för hur stor potential som användning av skördematerial från transportinfrastrukturen kan ha. Det finns sedan tidigare studier på mångfaldaspekter av skörd och skördeteknik samt av skörd av vedartat material. Det saknas framförallt bra data på biomassa och energipotential från vägkantsvegetation. Gräsartad vegetation bör ur vår synvinkel vara den viktigaste formen av biomassa skördad från svenska vägar och järnvägar.

7.1. Grov uppskattning av biomassa- och energipotential från vägkantsgräs i jordbrukslandskapet i Skåne.

Vägkantsgräs är en resurs som finns tillgänglig i hela landet men vi tror att det skulle vara en bra start att genomföra en pilotstudie i Skåne. Pilotstudien skulle kunna utföras inom driftområde Helsingborg. Området innehåller enligt trafikverket 970 km väg (<http://www.trafikverket.se/nara-dig/Skane/sa-skoter-vi-vagarna-i-skane-lan/Vilken-entreprenor-skoter-din-vag/Omrade-Helsingborg/>). Området beskrivs i kartan (http://www.trafikverket.se/contentassets/4f7f09dec48c47fd81b4bc35372cbe67/karta_driftomrade_vag_2016_helsingborg.pdf).

Om 50 % av väglängden inom driftområdet, ca 500 km, kan skördas och bredden på de två vägkanterna antas i snitt vara 2 *1,5 meter, så finns ca 150 hektar vägkant att skörda. Vid en grov uppskattning av biomassapotentialet för gräs från vägkanter, så antas den genomsnittliga avkastningen från motorvägar, huvudvägar och mindre vägar till 2 ton ts per ha i Skåne, dvs ca 300 ton biomassa per år. Meyer et al. (2014) presenterade data för en praktisk testad metanpotential för vägkantsgräs, vilken varierade mellan ca 0,2 och ca 0,4 m³ metan per kg TS. Vid en skörd av 300 ton och en antagen biogaspotential på 300 m³ metan per ton ts så erhålls ca 100 000 m³ metan per år vilket motsvarar ca 100 000 liter bensinekvivalenter. Helsingborgsområdet är intressant att ta med i ett pilotprojekt eftersom det finns uppbyggnadsanläggningar i närheten och ett intresse från kommunen och möjlighet till en testbäddsanläggning inom Vera park i Helsingborg.

Även driftområdet Söderslätt skulle kunna vara ett intressant pilotområde. Driftområdet har enligt Trafikverket 1077km väg (<http://www.trafikverket.se/nara-dig/Skane/sa-skoter-vi-vagarna-i-skane-lan/Vilken-entreprenor-skoter-din-vag/Omrade-Soderslatt/>) Området beskrivs i kartan (http://www.trafikverket.se/contentassets/21920e2150d6492bb363d5b69bb3fe88/karta_driftomrade_vag_2016_soderslatt.pdf).

Om 50 % av väglängden inom driftområdet, ca 500 km, kan skördas och bredden på de två vägkanterna antas i snitt vara 2 *1,5 meter, så finns ca 150 hektar vägkant att skörda. Vid en grov uppskattning av biomassapotentialet för gräs från vägkanter, så antas den genomsnittliga avkastningen från motorvägar, huvudvägar och mindre vägar till 2 ton ts per ha i Skåne, dvs ca 300 ton biomassa per år. Meyer et al. (2014) presenterade data för en praktisk testad metanpotential för vägkantsgräs, vilken varierade mellan ca 0,2 och ca 0,4 m³ metan per kg TS. Vid en skörd av 300 ton och en antagen biogaspotential på 300 m³ metan per ton ts så erhålls ca 100 000 m³ metan per år vilket motsvarar ca 100 000 liter bensinekvivalenter. Inom Söderslättområdet ligger Jordberga biogasanläggning som har erfarenhet av liknande pilotprojekt och är positivt inställda till att vara med i utvecklande forskningsprojekt.

7.2 Beslutstöd

7.2.1. Framtagande av skötselplaner

Skötselplaner bör tas fram för det område som en eventuell pilotstudie utförs inom (se t.ex. kapitel 7.1. ovan). Syftet är att identifiera de sträckor som har (se kapitel 2)

- 1) mark som redan har stor artrikedom. För att behålla och utveckla den är det viktigt att ta bort biomassan vid slåtter för att bibehålla växtnäringensstatusen eller tom magra ut jorden ytterligare,
- 2) mark med potential till större artrikedom, vilket inkluderar mark där slåtter och borttagning av biomassan magrar ut jorden på sikt och det finns en möjlighet att öka artrikedomen och
- 3) mark som inte har lika stort värde vad gäller artrik flora, men som energimässigt sett har en biomassapotential genom att den är näringsrik. Ofta finns denna i anslutning till jordbruksmark där den inte sällan anses som ett problem av jordbrukarna genom hög förekomst av åkerogräs.

Genom skötselplanerna kan skördarbetet anpassas efter de skötselkriterier som ställs för att uppnå både en hög biomassaproduktion och en utveckling av den biologiska mångfalden på dessa ytor.

7.2.2. Systemanalyser

För att uppskatta maskinsystemens prestanda och kostnader, kan GIS-baserade dynamiska händelsestyrda modeller användas. Med hjälp av dessa kan man simulera logistiken av uppsamlat material från vägkant/järnvägskant via eventuella mellanlager fram till slutlig användare. Med hjälp av simuleringstekniken kan olika uppsamlings- och logistiksystem studeras, och man får på så sätt fram de system som har potential att bli mest kostnads-effektiva. Modellerna tillämpas för ett specifikt case, d.v.s. för ett specifikt verkligt område i landet. Detta område väljs ut i samråd med projektets uppdragsgivare. Förutom systemens effektivitet och prestanda (t.ex. antal ton ts insamlat per dygn), samt totala kostnader (t.ex. kr/ton ts insamlat material, kr/tim), kan även energiåtgången (i form av dieselbränsle) beräknas.

Denna typ av simuleringar har använts tidigare i många studier för att optimera flödet av t.ex. biomassa från åker/skog via förädlare till slutlig användare. Som indata till modellerna behövs dels geografiska data och dels data från tidstudier av de olika maskintyperna. Den senare typen av data kan erhållas om lämpliga maskiner tas in i landet och testas under svenska förhållanden, exempelvis i de områden som beskrivs i kapitel 7.1.

7.2.2. Multikriterieanalyser

En del i ett kommande pilotprojekt skulle också kunna vara en beslutsstödsanalys baserad på s.k. multikriterieanalys. När man ska uppskatta värdet av att skörda vegetation på trafikytor skall ekonomi, klimatpåverkan och biologisk mångfald vägas mot varandra. Ett grundläggande problem är att dessa kriterier värderas i enheter som är helt skilda från varandra. Ekonomi har ett monetärt värde, klimat värderas i emissioner av växthusgaser, temperatur eller energi från olika råvaruslag. Biologisk mångfald har inget generellt entydigt värde, vilket ofta innebär att man får skapa ett värde anpassat till kontexten i fråga (se t.ex. Olsson *et al.* 2016. A decision support model for individual tree stump harvesting options

based on criteria for economic return and environmental protection. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 10/05/2016, pp.1-14). En metodik som används för denna typ av analys där olika värden och olika intressen är inblandade är s.k. multikriterieanalys (MCA: multi criteria analysis eller MCDA: multi criteria decision analysis).

Multikriterieanalys används ofta när naturresurser skall nyttjas av olika intressenter där olika kriterier ofta är i konflikt med varandra, t.ex. ekonomi och miljövärden (se t.ex. Kangas, J. & Kangas, A. 2005. Multiple criteria decision support in forest management—the approach, methods applied, and experiences gained, *Forest Ecology and Management*, 207(1), 133-143, och Mendoza, G.A. & Martins, H. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management: A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230(1), 1-22).