

Livscykelanalys av biomassa från lågvärdesträd

En fallstudie av NS-bestånd, åkermark, vägkanter och
kraftledningsgator

Karin Ågren, Tomas Johannesson, Raul Fernandez Lacruz, Maria
Iwarsson Wide och Örjan Grönlund



Väggantsskottning. Foto: Maria Iwarsson Wide

Förord	3
Sammanfattning.....	4
Bakgrund.....	6
Syfte	6
Material och metod.....	7
Grundförutsättningar.....	7
Skörd.....	7
Skotning.....	8
Sönderdelning.....	9
Vägtransport.....	9
Konstruktion och underhåll av skogsbilvägar	10
Utsläppsberäkningar	11
Resultat	12
Diskussion	16
Mervärden	16
Maskinprestationer	17
Jämförelse med andra bränsletyper	17
Insatsenergi och drivmedelskostnad för skogsbränslen i förhållande till producerad energimängd	18
Referenser.....	20



Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala
skogforsk@skogforsk.se
skogforsk.se

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts 12 april 2022 av Maria Iwarsson Wide, Programchef. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, granskat och godkänt publikationen för publicering den 4 maj 2022.

Redaktör: Hanna Andtbacka, hanna.andtbacka@skogforsk.se
©Skogforsk 2022 ISSN 1404-305X

Förord

Arbetet har genomförts under perioden 2019 – 2022 som ett arbetspaket inom projektet *Potentialer, värden och kostnader för samhälle och företag vid avverkning av lågvärdesträd*. Projektet har finansierats av Energimyndigheten.

Vi riktar ett stort och varmt tack till alla som medverkat till detta arbete.

Uppsala 2022-04-20

Uppsala 2022-04-20

Sävar 2022-04-20

Karin Ågren

Tomas Johannesson

Raul Fernandez Lacruz

Uppsala 2022-04-20

Uppsala 2022-04-20

Maria Iwarsson Wide

Örjan Grönlund

Sammanfattning

Lågvärdesträd definieras av att de genom sin växtplats har en potentiell eller faktisk negativ påverkan på platsens andra värden. Det kan vara träd som växer i kraftledningsgator, träd som skymmer sikten i vägkanter, eller träd som kommer upp på igenväxande jordbruksmarker. Utöver detta definierar vi också de träd som tas ut från NS-bestånd, där huvudmålet med skötseln är att utveckla eller bevara de naturvärden som finns inom beståndet, som lågvärdesträd.

I den här rapporten har vi studerat vilka fossila utsläpp som är kopplade till avverkning av lågvärdesträd. Vi tar vår utgångspunkt i PCR *Basic products from forestry* (2020) och räknar på fossila utsläpp enligt där uppsatta regler. Som ingångsdata har vi utgått från generiska data för skogsbruk, men korregerat effektiviteten i skogsbruksåtgärder med avseende på uttag av lågvärdesträd.

Vi har baserat beräkningarna på följande arbetsmoment vid avverkning och vidaretransport av lågvärdesträd; avverkning, skotning, sönderdelning, vägtransport, samt konstruktion och underhåll av de skogsbilvägar som behövs för att kunna nå objekten. Bränsleåtgången är beräknad utifrån avverkning på en hektar och hantering av den biomassa som i genomsnitt förväntas produceras där. De objekt som studerats är lågvärdesträd med ursprung i NS-bestånd, vägkanter, kraftledningsgator, åkermark, tillsammans med en beräkning för konventionellt uttag av grenar och toppar (grot) från slutavverkningar att jämföra med.

Resultaten visar att konventionellt uttag av grot generar lägst utsläpp, men beroende på skotnings- och transportavstånd kan resultaten för såväl NS-bestånd, som vägkanter och åkermark hamna i samma storleksordning. I medeltal genererar NS-bestånd, vägkanter och åkermark mellan 2,5 och 7,5 procent högre utsläpp jämfört med grot, medan lågvärdesträd från kraftledningsgator genererar runt 30 procent högre utsläpp.

I ett nästa steg jämfördes utsläppen kopplade till produktion av fossil olja, trädbränsle, bioolja och hushållsavfall med resultaten från lågvärdesträd och grot. Viktigt att tänka på är att det endast är själva framställandet av bränsle som studerats, och inte förbränningen av detsamma. De utsläpp som härrör från lågvärdesträd och grot är i samma storleksordning och motsvarar var för sig mindre än 5 procent av de utsläpp som kommer från framställande av hushållsavfall eller av bioolja. De utsläpp som härrör från lågvärdesträd och grot är i samma storleksordning och motsvarar var för sig mindre än 5 procent av de utsläpp som kommer från framställande av hushållsavfall eller av bioolja.

Slutligen genomfördes en studie av energibalansen, det vill säga den energi som åtgår för att producera skogsbränslen jämfört med den energi som skogsbränslet genererar. Denna visade att förbränning av lågvärdesträd leder till att man får ut mellan 32–40 gånger mer än den insatta energin. För grot ger insatt energi upp till 45 gånger så mycket genererad energi.

Sammanfattningsvis kan sägas att tillvaratagandet av lågvärdesträd visserligen kan vara mer energikrävande än grot, men då de inte kräver markberedning eller röjning innan avverkning kan det vara motiverat att hantera lågvärdesträd som komplement, åtminstone för korta till medellånga transportavstånd. Även om beräkningarna på lågvärdesträd visar goda resultat vad gäller utsläpp, ekologi och miljönytta kan tillvaratagandet av dem hämmas av de förväntat höga produktionskostnaderna. Detta får till följd att NS-åtgärder och biomassauttag från andra områden med lågvärdesträd

förmodligen inte görs i den utsträckning som skulle kunna vara motiverat av de andra nyttor detta skulle få till följd.

Summary

Low-value trees are defined as trees growing on a site where they have a potential or actual negative impact on the site's other values. Examples are trees growing in power line corridors, along roadsides where they block the view and impair drainage, or on abandoned agricultural land. Our definition also includes the trees removed from stands where the main objective of forest management is to preserve or improve the conservation values in the stand.

In this report, we have examined fossil emissions associated with the felling of low-value trees. We calculated fossil emissions according to the rules in *PCR Basic Products From Forestry* (2020). We used generic data for forestry as input data, but corrected the efficiency in the forestry measures with regard to harvest of low-value trees.

We based the calculations on the following work processes in felling and transport of low-value trees: felling, forwarding, comminution, road transport, and construction and maintenance of the forest roads needed to reach the site. Fuel consumption is calculated on the basis of felling one hectare and handling the biomass that is generally expected to be produced there. The study focuses on low-value trees originating from conservation stands, roadsides, power line corridors, and abandoned agricultural land, together with a calculation for conventional harvest of tops and branches (logging residues) from final fellings for comparison.

The results show that conventional harvest of residues generates the lowest emissions, but depending on the forwarding and transport distances, the emissions from tree harvest in conservation stands, roadsides and abandoned agricultural land can be of the same order. On average, removal of low-value trees from conservation stands, roadsides and abandoned agricultural lands generates between 2.5 and 7.5% more emissions than harvest of residues, while removal of low-value trees from power line corridors generates around 30% higher emissions.

Emissions from harvest of low-value trees and residues were then compared with those relating to production of fossil oil, wood fuel, bio-oil, and household waste. It is important to note that it is the actual production of fuel that was studied, not the burning of the fuel. Emissions deriving from the production of low-value trees and residues are of the same order of magnitude, and both are less than 5 percent of the emissions generated in the production of household waste or bio-oil.

Finally, the energy balance, i.e., the energy used in producing forest fuel compared with the energy generated by burning the forest fuel, was examined. Burning of low-value trees was found to produce 32-39 times more energy than the input energy. For residues, energy generated was 45 times higher than the input energy.

Harvesting low-value trees can require more energy than residues, but because they do not require soil scarification or pre-commercial thinning before felling, low-value trees can be motivated as a supplement, at least for short- to medium-distance transports. However, even if the calculations for low-value trees show good results in terms of emissions, ecology, and environmental benefit, their exploitation may be restricted by the

expected high production costs. Consequently, measures in conservation stands and biomass harvest from other areas with low-value trees are probably less common than the extent that could be motivated by the other benefits.

Bakgrund

Lågvärdesträd är träd som genom sin växtplats har en faktisk eller potentiellt negativ effekt på platsens andra värden. Det rör sig exempelvis om träd som växer i vägkanter, under kraftledningsgator, på igenväxande jordbruksmarker eller träd som hindrar eller har negativ påverkan på naturvärden i områden i behov av naturvårdande skötsel (NS). Många gånger rör det sig om klenträdet eller granar som växer upp i tidigare hävdade områden och i lövdominerade skogsområden. Avverkning av dessa lågvärdesträd görs för att antingen gynna naturvård eller infrastruktur. Avverkning av lågvärdesträd ger således två skilda värden; värdet av att den plats där de växer besparas från oönskade träd, och värdet i den biomassa som potentiellt kan tillvaratas.

Skogforsk har medverkat i framtagandet av produktkategori regler, *PCR Basic products from forestry* (2020), tillsammans med IVL, RISE och ett stort antal skogliga intressenter. Detta var de första internationella produktkategorireglerna för sågtimmer, massaved, grot (grenar och toppar) och bränsleved och publicerades i det internationella EPD-systemet enligt ISO14025:2006.

På Skogforsk, i samarbete med RISE, insamlades och sammanställdes data för svenskt skogsbruk enligt de framtagna produktkategorireglerna. De data som användes finns redovisade i Ågren m.fl. (2021) och representerar de fyra produkterna som nämnts ovan; sågtimmer, massaved, grot och bränsleved.

I detta arbete har vi tagit utgångspunkt i *PCR Basic products from forestry* (2020), och Ågren m.fl. (2021) för att beräkna de fossila utsläppen som är associerade med avverkning av lågvärdesträd.

Syfte

Syftet med arbetet var att genom livscykelanalys beräkna utsläpp förknippade med avverkning och vidaretransport av lågvärdesträd, samt jämföra dessa med motsvarande utsläpp från konventionella grotuttag. I ett vidare steg skulle undersökas hur stor påverkan vid framtagande av biomassa från lågvärdesträd och grot är jämfört med andra energislag, såsom olja, bioolja och hushållsavfall. Slutligen undersöktes kvoten mellan energin som skogsbränslet genererar och den energi som åtgår för att producera det.

Vi har i denna rapport fokuserat på fossila utsläpp, det vill säga utsläpp som kommer av produktion och förbränning av fossila bränslen, i det här fallet diesel. Detta innebär att biogena upptag och utsläpp, det vill säga det upptag av kol som sker när träden växer, och de utsläpp som kommer av biomassa som lämnas kvar i skogen inte är inkluderade.

Material och metod

I detta arbete har fyra vanliga typer av avverkningar av lågvärdesträd studerats; avverkning inom NS-bestånd, på åkermark, vid vägkanter och i kraftledningsgator. Dessa fyra representerar de vanligaste områdena där lågvärdesträd avverkas idag. NS står för naturvårdande skötsel, och NS-bestånd är följaktligen ett skogsbestånd där huvudmålet med skötseln är att bevara och utveckla beståndets naturvärden. Som jämförelse har också beräkningar för konventionellt grottuttag tagits fram.

Grundförutsättningar

Vi har utgått från följande arbetsmoment vid avverkning och vidaretransport av lågvärdesträd; avverkning, skotning, sönderdelning, vägtransport, samt konstruktion och underhåll av de skogsbilvägar som behövs för att kunna nå objekten. Bränsleåtgången är beräknad utifrån avverkning på en hektar och hantering av den associerade biomassan. Den skördade volymen som beräknas falla ut per hektar för de respektive avverkningstyperna redovisas i Tabell 1 nedan. Det är svårt att göra en rättvis uppskattning av nettouttaget vid skörd av lågvärdesträd, då det kan skilja mycket mellan avverkningar och relativt få studier har gjorts inom området.

Tabell 1. Referensvärde för avverkad volym (m³f), ton (t) torrs substans (TS) och råton per hektar för lågvärdesträd avverkade i NS-bestånd, vägkanter, åkermark, kraftledningsgator samt för ett konventionellt grottuttag. Källor: Grönlund m.fl. (2020), Iwarsson Wide, (2009a, 2009b), Bergström m.fl. (2015), Fernandez-Lacruz m.fl. (2013), Wilhelmsson (2021).

Typområde	m ³ fub/ha	tTS/ha	råton/ha
NS-bestånd	90	53	106
Vägkanter	77	46	91
Åkermark	154	90	181
Kraftledningsgator	14	8	17
Konventionellt uttag av grot	46	27	54

Skörd

Avverkning av lågvärdesträd sker i de flesta fall med en gallringsskördare utrustad med ett traditionellt skördaraggregat med flerträdshanteringsfunktion, eller i vissa fall utrustad med ett klippaggregat. Det senare gäller främst i arbete längs vägkanter. Förutsättningarna för avverkning av lågvärdesträd är ofta vitt skilda vad gäller exempelvis trädens täthet, grovlek och hur många olika trädslag som skördas samtidigt. Inom detta projekt har vi utgått från drivmedelsåtgången vid gallring (Ågren m.fl. 2021), men gjort en korrektion då lågvärdesträd skördas mindre effektivt än genomsnittet vid gallring. Därför kompenseras bränsleåtgången vid skörd, se Tabell 2 nedan. Prestationen i NS-bestånd, vägkanter och åkermark antas uppnå ungefär 80 procent av konventionell gallring, och i kraftledningsgator ungefär 60 procent, detta på grund av att dessa som regel är mer svåråtkomliga.

Tabell 2. Dieselåtgång vid avverkning av lågvärdesträd per m³fub. Prestationen, uttryckt i procent, anger den antagna prestationen vid åtgärden jämfört med konventionell gallring. Källa: Brunberg m. fl. (2013).

Avverkningstyp	Prestation relativt konventionell gallring, %	l/m ³ fub	l/tTS
Konventionell gallring	100	1,6	2,7
NS-bestånd	80	2,0	3,4
Vägkanter	80	2,0	3,4
Åkermark	80	2,0	3,4
Kraftledningsgator	80	2,7	4,6

Skotning

Bränsleåtgången för skotning av lågvärdesträd beräknas i två steg enligt Brunberg och Eliasson (2013).

Tidsåtgången, T , uttryckt i G_{15} -min/ m³f, för körtid respektive terminaltid beräknas enligt följande

$$T = \frac{2 * A}{H * L} (\text{körtid})$$

$$T = (3,79 * UT + 65) * \frac{K1}{UT} (\text{terminaltid})$$

där A är enkelt terrängtransportavstånd i m och avser enkel sträcka mellan avlägg och tyngdpunkten för avverkningsresterna på hygget, H är körhastighet i m/ G_{15} -min, L är laststorleken i m³f, UT är uttaget i m³f/ha och $K1$ är en korrektionsfaktor på 0,75. Den totala skotningstiden beräknas som körtiden plus terminaltiden.

Tre skotningsavstånd undersöktes, kort (100 m), medel (350 m) och långt (600 m), enligt tabell 3 nedan. För lågvärdesträd som avverkats i vägkanter tillämpades endast det korta skotningavståndet, eftersom dessa kan hanteras från väggkant.

Körhastigheten sattes till 62 m/ G_{15} -min, vilket är medeltalet för körhastigheten vid ytstruktur och lutning (Y.L) 1.1, 1.2, och 2.1 (Brunberg & Eliasson 2013). Laststorleken 12 m³f används som genomsnitt och som uttag används volymerna givna i Tabell 1.

Gällande skotningsarbete i kraftledningsgator så har den antagna/beräknade prestationen för skotaren reducerats till 70 procent jämfört med övrigt skotningsarbete för att kompensera för de hinder som säkerhetsavstånden till ledningar och staglinor innebär för både kranrörelser och terrängtransport.

Det faktum att volymerna normalt är lägre i kraftledningsgator jämfört med andra beståndstyper kompenseras i formeln för tidsåtgång.

Tabell 3. Dieselåtgång vid skotning av lågvärdesträd per m³fub för tre skotningsavstånd. Prestationen, uttryckt i procent, anger hur effektiv skotningen är jämfört med konventionell grotskotning.

Avverkningstyp	Skotningsavstånd, m	Prestation relativt konventionell skotning, %	l/h	Tidsåtgång, G ₁₅ -min	l/m ³ fub	l/tTs
Konventionell skotning av grot	100	100	11	249	1,0	1,7
	350			306	1,2	2,1
	600			359	1,4	2,4
NS-bestånd	100	100	11	428	1,1	1,9
	350			510	1,3	2,2
	600			592	1,5	2,6
Välgkanter	100	100	11	375	0,9	1,5
Åkermark	100	100	11	697	0,8	1,4
	350			837	1,0	1,7
	600			976	1,2	2,0
Kraftledningsgator	100	70	15,7	109	2,0	3,4
	350			121	2,2	3,8
	600			134	2,5	4,2

Sönderdelning

Sönderdelning av lågvärdesträd kan göras på ett flertal olika sätt. I den här rapporten modelleras sönderdelningen genom användning av trumhugg med slutna trumma, och bränsleåtgången i flisningen antogs vara 2 liter/tTs (Eliasson m.fl. 2021). Ett antagande har gjorts att all sönderdelning sker vid avlägg i skogen.

Vägtransport

Efter att de avverkade lågvärdesträderna skotats till välgkant och sönderdelats transporteras de vidare med lastbil till industri eller terminal. Bränsleåtgången vid transport varierar beroende av vilken lastbil som används, rådande vägförhållande och fordonets aktuella bruttovikt. Enligt Brunberg och von Hofsten (2018) är medelvärdet för en 64-tonsbil 0,025 l /tonkm. Då är även lastning och lossning med inbyggd kran inkluderat i bränsleförbrukningen. Enligt Asmoarp m.fl. (2020) är medeltransportavståndet i Sverige 66 km för primära skogsbränslen, som i första hand transporteras till värmeverk, och vi antar här att medeltransportavståndet för lågvärdesträd är detsamma som för grot. Noteras bör också att avståndet visar hur långt produkterna transporteras från skog till industri, men inte innefattar transporten med tom lastbil ut till avlägget i skogen för att hämta produkter. En lastkörningsgrad på 53 procent har därför applicerats (von Hofsten 2019) för att ge det totala transportavståndet. Det innebär att ett transportavstånd på 66 km motsvarar $66/0,53 = 125$ km. Anledningen till att avstånden inte fördubblas är att det på vissa sträckor finns möjlighet till returtransporter, vilket reducerar körsträckor utan last.

I denna studie har vi utvecklat beräkningarna kring transporter och räknat på tre transportavstånd, med en lastkörningsgrad på 53 procent; kort (62 km), medel (125 km) och långt (187 km), där ett kort transportavstånd är 50 procent kortare och långt transportavstånd 50 procent längre än medeltransportavståndet.

Beräkningar har gjorts för att den biomassa, uttryckt i råton, som beräknas falla ut vid avverkning av en hektar av respektive avverkningstyp (Tabell 1), ska transporteras till industri. Beräkningarna utgår från att transportererna körs med fulla last, och i de fall där

de genereras litet uttag, exempelvis kraftledningsgator, antas att lastbilen samfraktar med andra avverkningar.

Tabell 4. Transportavstånd och beräknad dieselåtgång för att transportera lågvärdesträd samt grot. Beräkningarna utgår ifrån att det uttag som anges i Tabell 1 för respektive avverkningstyp ska transporteras.

Avverkningstyp	Transportavstånd	Dieselåtgång, l
Konventionell transport av grot	62	85
	125	169
	187	254
NS-bestånd	62	165
	125	330
	187	495
Vägkanter	62	142
	125	283
	187	425
Åkermark	62	282
	125	563
	187	845
Kraftledningsgator	62	26
	125	52
	187	78

Konstruktion och underhåll av skogsbilvägar

För att kunna ta sig fram till olika avverkningsplatser för att avverka, skota, sönderdela och för vidaretransport krävs att det finns ett anpassat och tillräckligt utbyggt vägnät. Genom tidigare studier har genomsnittliga värden för diesel- och grusåtgång per avverkad kubikmeter tagits fram (Ågren m.fl. 2021). Tabell 5 visar diesel- respektive grusåtgång för att konstruera och underhålla skogsbilvägar, uttryckt per avverkad m³fub. För avverkning av lågvärdesträd har vi använt samma siffror som för slutavverkning, då det inte finns något skäl att tro att transporterna av lågvärdesträd varken genererar ett extra, eller ett minskat, vägbyggande/underhåll.

Tabell 5. Diesel- och grusåtgång i genomsnitt vid konstruktion och underhåll av skogsbilvägar.

	Diesel	Grus		
	l/m ³ fub	l/tTs	kg/m ³ fub	kg/tTs
Konstruktion och underhåll av skogsbilvägar	0,25	0,42	100	170

Utsläppsberäkningar

För att beräkna de fossila utsläppen som associeras med de skilda fallen för avverkning av lågvärdesträd har omräkningstalen i Tabell 6 och 7 använts. Tabell 6 anger kg koldioxidekvivalenter (CO₂ekv) per GJ diesel som förbränns vid användande av diesel i vägtransporter och arbetsmaskiner, samt per kg diesel respektive grus som tillverkas. I tabell 7 anges omräkningstal för att beräkna energiinnehåll för diesel, trädbränsle och olja.

Tabell 6. Koldioxidekvivalenter per förbrukad mängd diesel, samt per tillverkad mängd diesel respektive grus. Källa: CML2001 (update 2016).

	Enhet	Omräkningstal
Vägtransport	kg CO ₂ ekv/GJ diesel	54,52
Arbetsmaskiner	kg CO ₂ ekv/GJ diesel	72,05
Tillverkning diesel	kg CO ₂ ekv/kg diesel	0,56
Tillverkning grus	kg CO ₂ ekv/kg grus	0,0063

Tabell 7. Omräkningstal för att beräkna energiinnehållet för angivet bränsle. Källa: Ringman (1995), Anon (2022a, 2022b).

	Enhet	Omräkningstal
Diesel	MJ per liter	38,6
Diesel	liter per ton	1182
Diesel	kg per liter	0,846
Trädbränsle	MJ per kg TS	19,2
Olja	kg per m ³	840
Olja	MJ per m ³	36 000

Resultat

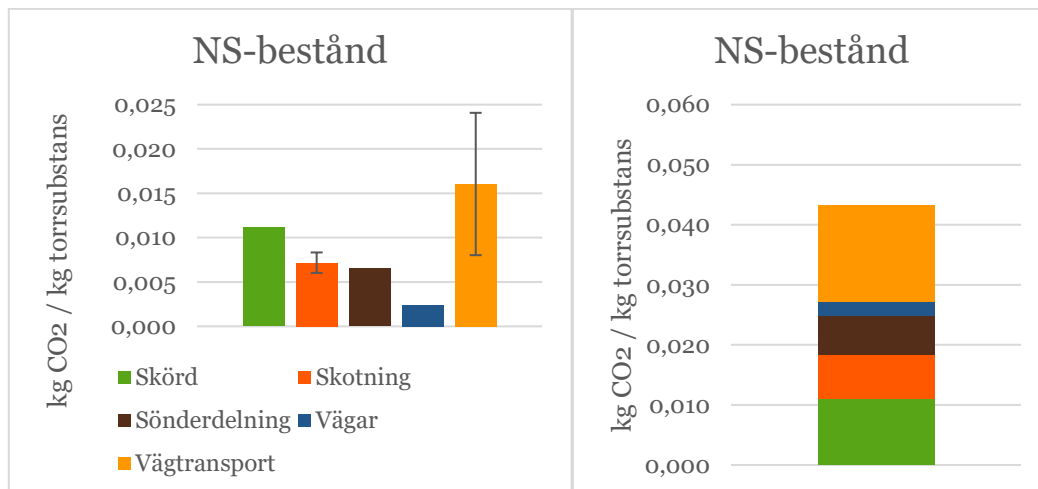
I arbetet genomfördes beräkningar av fossila utsläpp i form av kg koldioxidekvivalenter (CO₂ekv) räknat mot kg torrs substans från de olika avverkningsåtgärderna. Tabell 8 nedan visar de genomsnittliga utsläppen per avverkningstyp, samt hur många liter bränsle som åtgår per avverkad tTS. De lägsta totala utsläppen sker vid avverkning vid vägkanter: 0,041 kg CO₂ekv per kg TS. Avverkningar på åkermark och i NS-bestånd ger 0,042 respektive 0,043 kg CO₂ekv per kg TS, medan det högsta utsläppet erhålls för avverkning i kraftledningsgator, 0,052 kg CO₂ekv per kg TS. Detta beror på att såväl skörd som skotning i kraftledningsgator bedöms vara mindre effektiva än för de övriga fallen, och således förbrukar mest bränsle per kg uttagen produkt.

Figur 1 till 4 visar hur stor andel av utsläppen som kommer av de individuella åtgärderna, samt det totala utsläppet för respektive scenario. För enkelhets skull används felstaplar i figurerna för att visa vilken variation som uppkommer i modellen vid beräkningarna av kort (nedre markering), medel (stapelns höjd) samt långt (övre markering) transport- respektive skotningsavstånd. För skotning uppgår skillnaden i utsläpp mellan skotning av medelavstånd och kort respektive långt skotningsavstånd ungefär en sjättedel av det totala utsläppet från skotning, medan det för vägtransporter kan uppgå till 50 procent ökat eller minskat utsläpp.

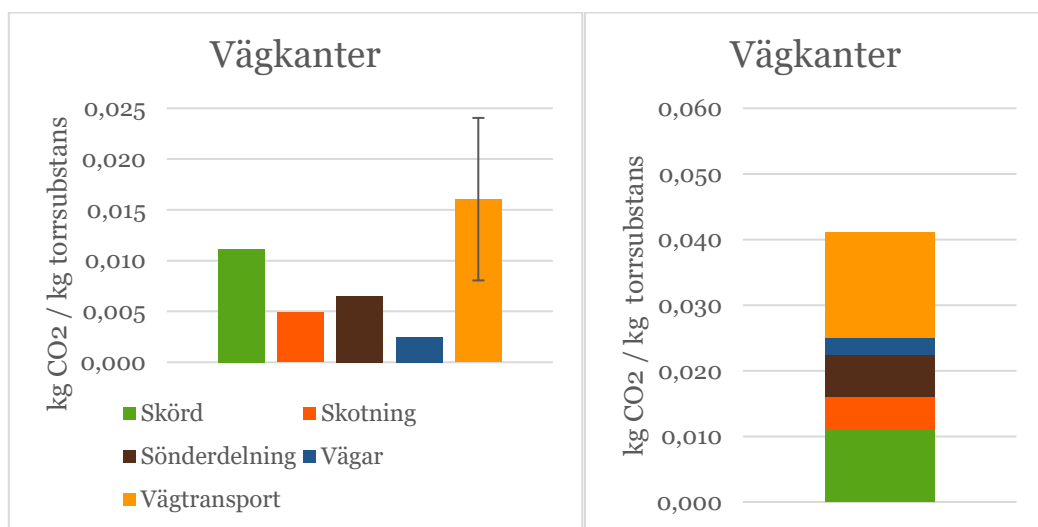
I samtliga fall står skörd samt vägtransporter för de huvudsakliga utsläppen, i storleksordningen en tredjedel var. Den sista tredjedelen består av skotning, sonderdelning och vägunderhåll.

Tabell 8. Utsläpp per avverkningstyp angivet i kg CO₂ ekv per kg uttagen torrs substans samt åtgånget bränsle per ton torrs substans. Längst ner anges utsläpp för grot, som jämförelse.

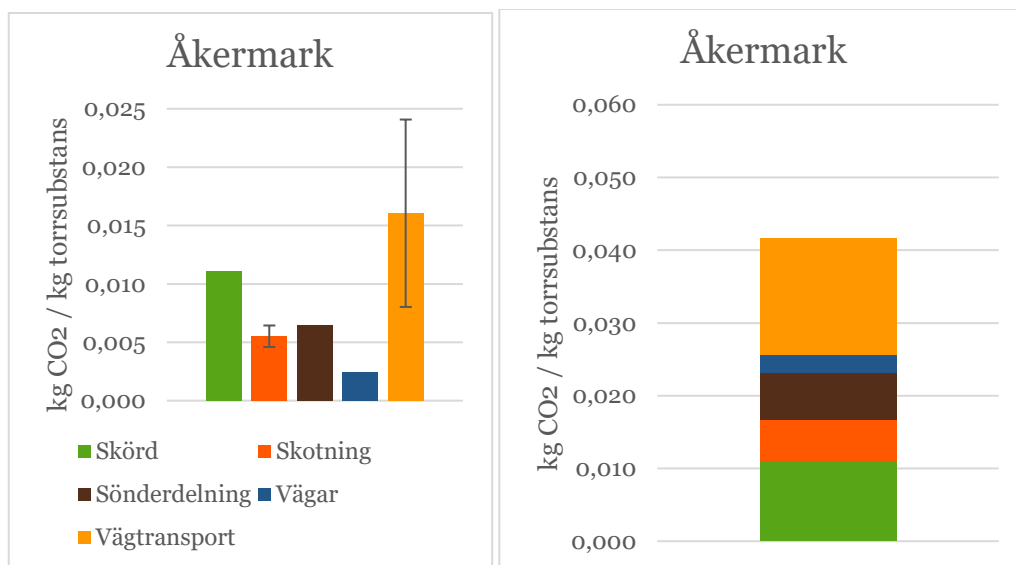
Avverkningstyp	kg CO ₂ ekv/ kg TS medelvärde	l/tTS
NS-bestånd	0,043	14,3
Vägkanter	0,041	13,6
Åkermark	0,042	13,8
Kraftledningsgator	0,052	17,0
Grot	0,040	12,1



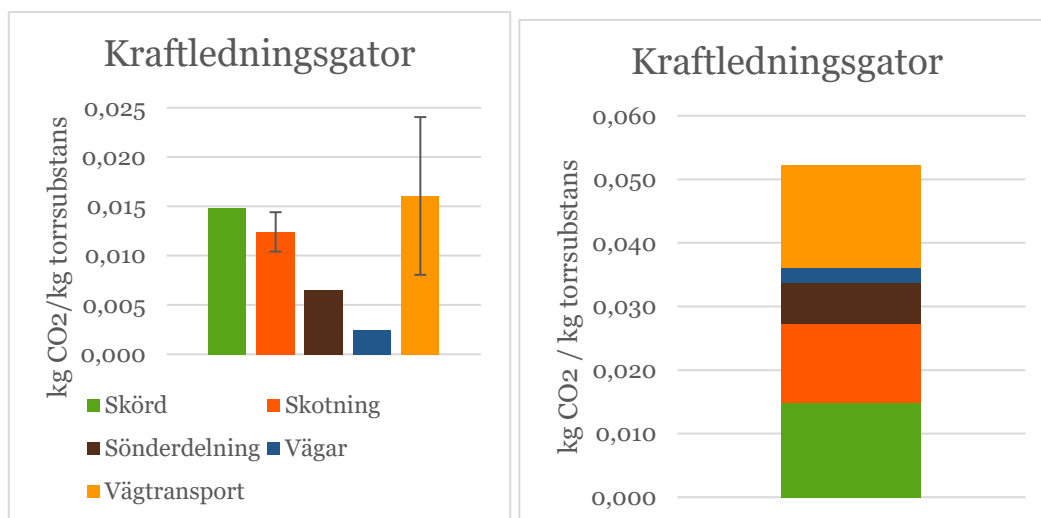
Figur 1. Utsläpp kopplade till lågvärdesträd avverkade i NS-bestånd uppdelat i skörd, skotning, sönderdelning, vägar och vägtransport. Felstaplarna anger variationen i modellen när kort/medel/långt skotnings- respektive transportavstånd appliceras. Stapeln till höger avser mellanläget för transportavstånden. Figuren visar kg CO₂-ekvivalenter per kg torrsbstans.



Figur 2. Utsläpp kopplade till lågvärdesträd avverkade vid vägkanter uppdelat i skörd, skotning, sönderdelning, vägar och vägtransport, samt på totalen. Felstaplarna anger variationen i modellen när kort/medel/långt transportavstånd appliceras. Stapeln till höger avser mellanläget för transportavstånden. Figuren visar kg CO₂-ekvivalenter per kg torrsbstans.



Figur 3. Utsläpp kopplade till lågvärdesträd avverkade på åkermark uppdelat i skörd, skotning, sönderdelning, vägar och vägtransport, samt på totalen. Felstaplarna anger variationen i modellen när kort/medel/långt skotnings- respektive transportavstånd appliceras. Stapeln till höger avser mellanläget för transportavstånden. Figuren visar kg CO₂-ekvivalenter per kg torrsubstans.

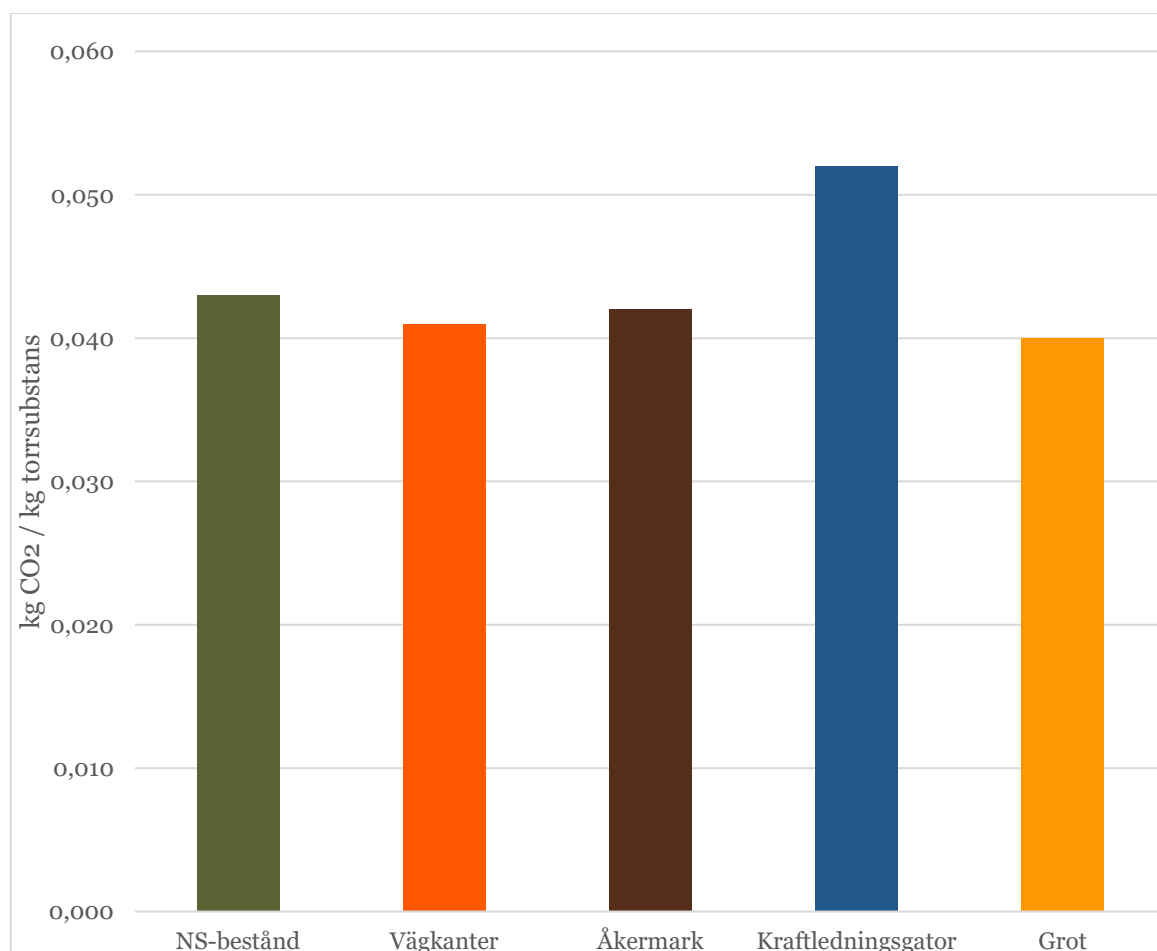


Figur 4. Utsläpp kopplade till lågvärdesträd avverkade i kraftledningsgator uppdelat i skörd, skotning, sönderdelning, vägar och vägtransport, samt på totalen. Felstaplarna anger variationen i modellen när kort/medel/långt skotnings- respektive transportavstånd appliceras. Stapeln till höger avser mellanläget för transportavstånden. Figuren visar kg CO₂-ekvivalenter per kg torrsubstans.

Jämförelse med konventionellt uttag av grot

I ett nästa steg jämförs uttagen i NS-bestånd, vägkanter, åkermark och kraftledningsgator med konventionellt uttagen grot, beräknad enligt den princip som beskrivs i Ågren m.fl. (2021). Figur 5 nedan visar hur stort det totala utsläppet i koldioxidekvivalenter blir per kg uttagen TS. Konventionellt uttag av grot generar lägst utsläpp, men beroende på skotnings- och transportavstånd kan resultaten för såväl NS-bestånd, som vägkanter och åkermark hamna i samma storleksordning. I medeltal genererar NS-bestånd, vägkanter

och åkermark mellan 2,5 och 7,5 procent högre utsläpp jämfört med grot, medan lågvärdesträd från kraftledningsgator genererar 30 procent högre utsläpp. I konventionellt uttagen grot ingår förutom vad som diskuterats ovan också utsläpp för markberedning, röjning och gallring. Vi har dock utelämnat de utsläpp som tillskrivs plantskolor och transport av plantor till skog, men de bedöms i sammanhanget vara små eller helt försumbara.



Figur 5. Jämförelse mellan lågvärdesträd avverkade i NS-bestånd, vägkanter, åkermark och kraftledningsgator samt konventionellt avverkad grot för ett medellångt transportavstånd respektive skotningsavstånd (kort skotningsavstånd för vägkanter). Figuren visar kg CO₂-ekvivalenter per kg torrsubstans.

Diskussion

En slutsats av detta arbete är att tillvaratagandet av lågvärdesträd visserligen kan vara mer energikrävande än grot, men eftersom de inte kräver markberedning eller röjning före avverkning kan det ur energi- och kolbalanssynpunkt vara motiverat att hantera lågvärdesträd som komplement, åtminstone i de fall där transportavstånden är korta till medellånga.

Något som inte beräknats inom denna rapport, men som har en viktig påverkan på kolbalansen i skogen, är de biogena utsläpp som kommer av nedbrytning av kvarlämnade träddeklar i skogen. Som ett första antagande bör påverkan av de biogena utsläppen bli liknande när små träd, grenar och toppar ligger kvar i skogen, bryts ned och utsöndrar koldioxid som i fallet när de används som bränsle i ett värmeverk. Observera att kvarlämnad grot, stubbar och årligt nedfall kan bidra till en uppbyggnad av markkolet, och att det i fallet för grot finns ett rekommenderat uttag med hänsyn till miljömässiga och ekologiska aspekter. Detta bör också beaktas i fallet för lågvärdesträd.

En annan aspekt som kan påverka resultaten är användning av miljödiesel i maskinerna, som exempelvis HVO. Detta skulle minska de fossila utsläppen. I denna rapport har vi räknat på att maskinerna använder ren diesel, vilket inte är hela sanningen, då vi idag har en reduktionsplikt på 26 procent för dieselbränsle.

Mervärden

Vid konventionell avverkning är det framför allt de ekonomiska incitamenten som i dagsläget styr när, och i vilken omfattning, denna görs. För lågvärdesträd är situationen delvis annorlunda, då det i vissa fall finns ett mervärde i att lågvärdesträd tas bort med jämna mellanrum. Det gäller till exempel i kraftledningsgator och vid vägkanter, då avverkning av träden bidrar till såväl ökad elsäkerhet som trafiksäkerhet. Avverkning av lågvärdesträd längs vägkanter kan också underlätta snöröjning och minska skuggning, vilket kan leda till en snabbare upptorkning av skogsbilvägar. Dominerande praxis vid skötsel av klensträd längs igenväxande vägkanter och kraftledningsgator är att röja maskinellt med en kättingslaga respektive motormanuellt med en röjsåg, och lämna biomassan kvar. Alternativt, beroende på trädstorleken och marknadspris för skogsflis, kan det löna sig att använda skogsmaskiner för att ta vara på dessa lågvärdesträd. Tidigare studier har visat att även om en skörd inte ger en nettointkomst för markägaren, kan kostnaden i vissa fall understiga en röjningskostnad i (Fernandez-Lacruz m.fl. 2013, 2021).

I många fall finns också ett eller flera mervärden i att de avverkade lågvärdesträden tas bort från platsen. Träd och träddeklar som används i värmeverk bidrar till produktion av el och värme genom förbränning. Vid naturlig förmultning av träd och träddeklar i skogen erhålls i princip motsvarande koldioxidutsläpp som vid förbränning. En positiv effekt av att ta ut lågvärdesträd och använda dem till energi är dock att det i dessa fall kan uppkomma substitutionseffekter, då det uttagna materialet ersätter förbränning av annat. Träd och träddeklar ger inte något tillskott av CO₂ när de förbränns, utan att kan räknas in i det naturliga kretsloppet, och kan därför klassas som klimatneutrala.

Vad gäller den biologiska mångfalden kan även den gynnas av att avverkade lågvärdesträd tas bort och på så vis bidrar till öppna, solbelysta marker (Emanuelsson m.fl. 2014). Det råder visserligen brist på död ved i skogarna, men det gäller framför allt de grövre dimensionerna. Om träd och träddeklar lämnas kvar i skogen får marken ett

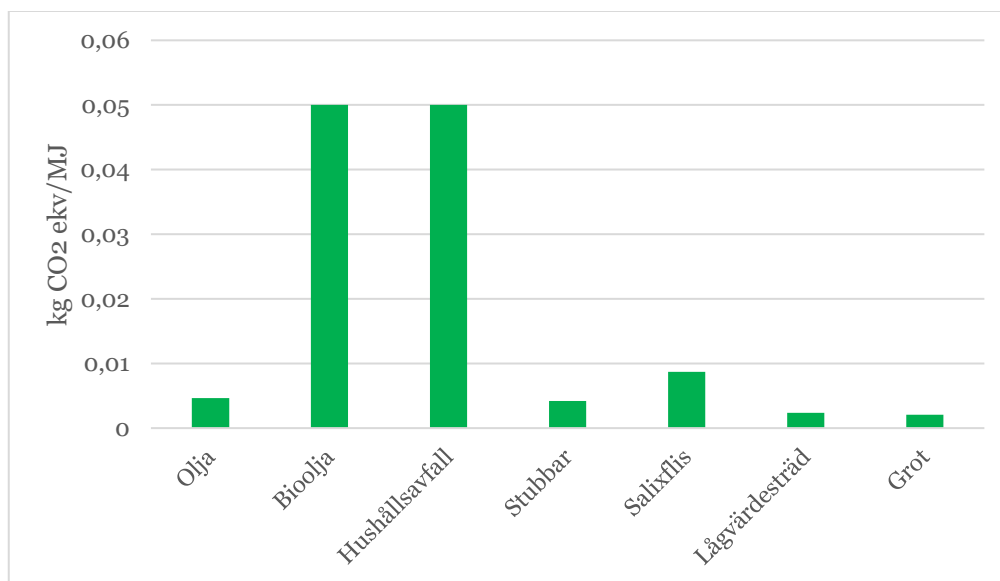
näringstillskott, som i vissa fall är eftertraktat, men som i andra fall kan bidra till att marken bli mer bördig, vilket missgynnar vissa arter.

Maskinprestationer

De typer av avverkningsarbeten som jämförs i detta arbete innefattar ofta mycket heterogena förhållanden då de skogliga förutsättningarna och målen med olika åtgärder skiljer sig från en trakt till en annan. Det finns också endast ett begränsat antal studier sedan tidigare. Resultaten från dessa kan vara svåra att jämföra då de inbegriper en blandning av maskintyper, åtgärder och terrängförhållanden. Det man kan konstatera är att trädens medeldiameter och förekomst av hindrande underväxt ofta är den faktor som påverkar prestationen mest. Vid exempelvis vägkanter som ska skördas varierar detta vanligen stort från en vägsträcka till en annan. Det är därför svårt att ge exakta svar på prestationer för olika maskiner och man tvingas använda olika antaganden eller bedömningar som indata i beräkningarna. Givetvis innebär detta en risk i kalkylerna för ett enskilt bestånd, men risken för felräkning minskar om man beskriver resultatet som medelvärden över tid och över flera bestånd. I detta arbete har olika prestationsnivåer diskuterats med personer som har kunskap och erfarenhetstal för olika åtgärder och som författare anser vi att de antagna prestationerna ligger inom rimliga marginaler. En mindre felskattning för ett enskilt delmoment innebär heller inte någon större effekt för resultatet.

Jämförelse med andra bränsletyper

För att få en uppfattning om hur de utsläpp som associeras med uttag och vidaretransport av lågvärdesträd står sig jämfört med andra bränsletyper har vi också studerat framställning av fossil olja, bioolja, hushållsavfall, stubbar och salixflis och jämfört dessa resultat med lågvärdesträd och grot. Av dessa klassas bioolja, stubbar, salixflis, lågvärdesträd och grot som klimatneutrala, medan olja och hushållsavfall inte gör det. Detta eftersom hushållsavfall har spår av oljeprodukter i sig, och olja ger ett tillskott till atmosfären av fossilt CO₂ när det förbränns. Notera att vi här studerar framställandet av dessa bränslen, och att förbränning inte ingår. Figur 6 nedan visar hur mycket utsläpp som uppkommer vid framställandet av respektive bränsletyp. Resultaten för lågvärdesträd (ett genomsnitt) och grot kommer från denna studie, övriga är tagna från Karlsson (2017) och Hammar (2017). De utsläpp som härrör från lågvärdesträd och grot är i samma storleksordning och motsvarar var för sig mindre än 5 procent av de utsläpp som kommer från framställande av hushållsavfall eller av bioolja.



Figur 6. Jämförelse i koldioxidutsläpp vid framställning mellan olja, bioolja, hushållsavfall, stubbar, salixflis, lågvärdesträd (ett genomsnitt), samt grot. Notera att utsläppen för olja, bioolja och hushållsavfall anges i kg CO₂ /MJ, medan utsläppen för övriga anges i kg CO₂ ekv/MJ.

Insatsenergi och drivmedelskostnad för skogsbränslen i förhållande till producerad energimängd

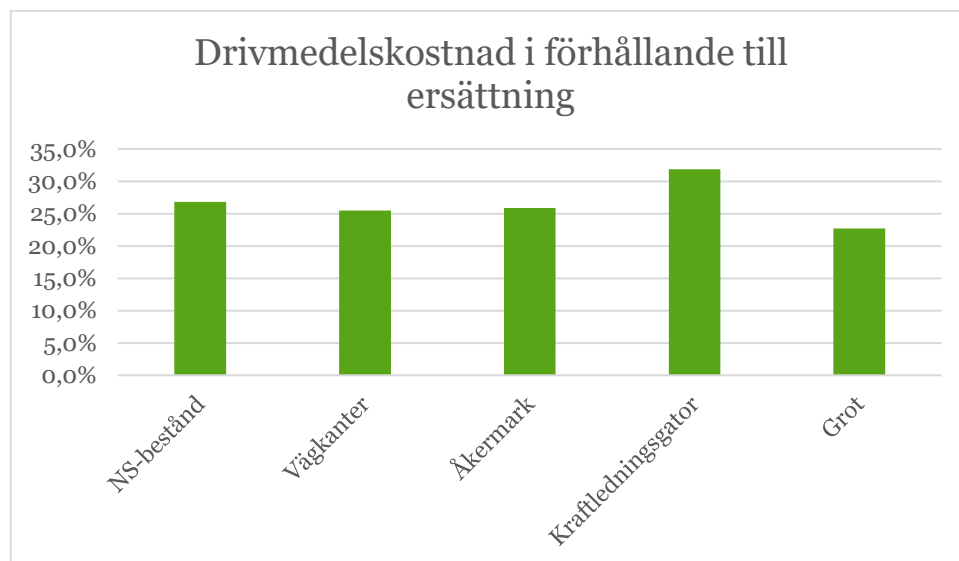
De olika slutanvändningsområdena, exempelvis värme eller kraftvärme, och vilken typ av teknik som används i själva förbränningen, påverkar delvis resultaten för en komplett livscykelanalys. Detta arbete har avgränsats till att undersöka vilken påverkan själva framställandet och transportererna av bränsle till slutanvändare medför.

Energibalansen, det vill säga den energi som åtgår för att producera skogsbränslen (Tabell 9) jämfört med den energi som skogsbränslet genererar, är intressant att studera. Det producerade skogsbränslet (flis) från lågvärdesträden leder till att man får ut 32 till 40 gånger mer än den insatta energin, vilket är i linje med tidigare rapporterade resultat (Emanuelsson m fl. 2014).

Tabell 9 presenterar energibalansen som en insatskvot i procent samt sett ur perspektivet "Energy return on energy invested" (EROEI) som visar hur många gånger man får tillbaka den insatta energin.

Avverkningstyp	Insatsenergi (diesel)		Levererad energi (flis)		
	Liter per tTS	kWh per tTS	kWh per tTS	Kvot %	EROEI
NS-bestånd	14,3	149,1	5 333	2,6	38,1
Välgkanter	13,6	133,3	5 333	2,5	40,0
Åkermark	13,8	135,2	5 333	2,5	39,4
Kraftledningsgator	17	166,6	5 333	3,1	32,0
Grot	12,1	118,6	5 333	2,2	45,0

Det positiva energibalansförhållandet återspeglas dock inte av de ekonomiska produktionskostnaderna om man tar med drivmedelskostnad i kalkylen (Figur 7). Antaget att dieselpriiset är 18 kr per liter (ex. moms) och ersättningen från mottagare (värmeverk) är 180 kr per MWh så motsvarar drivmedelskostnaden 23 till 32 procent av ersättningen. De stora ökningarna i drivmedelspris som skett under 2022 ökar andelen än mer. Marginalen för lönsamhet vid tillvaratagande av lågvärdesträd minskar ytterligare om man lägger till personalkostnader, fasta maskinkostnader, och andra rörliga maskinkostnader utöver drivmedelskostnad.



Figur 7. Totala drivmedelskostnader för produktion av flis från olika typer av områden med lågvärdesträd-samt grot från slutavverkningar i förhållande till ersättning för den levererade flisen.

Ett gott resultat gällande utsläpp, ekologi samt miljönytta hämmas av förväntat höga produktionskostnader vilket rimligen är negativt för att öka antalet av NS-åtgärder, samt biomassaутtaget från andra områden med lågvärdesträd. I Figur 7 framkommer att NS-åtgärden är den näst dyraste åtgärden av de fem som jämförts i detta arbete sett till drivmedelskostnaderna. Till detta bör även noteras maskin- och lönekostnader oftast är detsamma för de här åtgärdena som för ”konventionella” skogsbruksåtgärder, medan etableringskostnaden (att frakta maskinerna till platsen) ofta blir högre för objekt med små volymer. Detta i sin tur kan leda till ytterligare ekonomiska begränsningar för NS-bestånden och andra områden med lågvärdesträd.

Referenser

- Anon, 2022a. *Energiinnehåll, densitet och koldioxidutsläpp*, Drivkraft Sverige, <http://207.154.197.103/uppslagsverk/fakta/berakningsfaktorer/energiinnehall-densitet-och-koldioxidemission/> (Hämtad 2022-03-09).
- Anon, 2022b, *Energy Density of Diesel Fuel*, The Physics Factbook, <https://hypertextbook.com/facts/2006/TatyanaNektalova.shtml> (Hämtad 2022-03-09).
- Asmoarp, V., Davidsson, A., Gustavsson, O., (2020) *Skogsbrukets vägtransporter 2018*, Arbetsrapport Skogforsk nr 1043.
- Bergström, D., Fernandez-Lacruz, R., Forsman, M., Lundbäck, J., Nilsson, Å. & Bredberg, C. (2015). *Skog, klimat och miljö – ett projekt i Norr- och Västerbotten 2012-2014*. Umeå, Sweden: Länsstyrelsen Västerbotten.
- Brunberg, T. och Eliasson, L., (2013) *Underlag för produktionsnorm för Grotskotare*, Arbetsrapport Skogforsk nr 45.
- Brunberg, T. och von Hofsten, H., (2018) *Dieselförbrukning för skogslastbilar med bruttovikt på 74 och 90 tonnes, Diesel consumption in forest trucks with gross weights of 74 and 90 tonnes*, Arbetsrapport Skogforsk nr 978, 2018.
- CML2001 (update 2016).
- Eliasson, L., Spinelli, R., von Hofsten, H., (2021), *Fuel consumption and productivity of mobile comminution equipment*, manus.
- Emanuelsson, U., T. Ebenhard, L. Eriksson, M. Forsberg, P.-A. Hansson, O. Hultåker, M. Iwarsson Wide, T. Lind, D. Nilsson, G. Ståhl and R. Andersson (2014). Landsomfattande slytäkt – potential, hinder och möjligheter. CBM. Uppsala, Sweden, Swedish Biodiversity Centre at Swedish University of Agricultural Sciences and Uppsala University
- Fernandez-Lacruz, R., Di Fulvio, F., Bergström, D., (2013) *Productivity and profitability of harvesting power line corridors for bioenergy*, Silva Fennica vol. 47 no. 1 article id 904.
- Fernandez-Lacruz, R., Edlund, M., Bergström, D., & Lindroos, O. (2021). *Productivity and profitability of harvesting overgrown roadside verges—a Swedish case study*. International Journal of Forest Engineering, 32(1), 19-28.
- Grönlund, Ö., Erlandsson, E., Djupström, L., Bergström, D. och Eliasson, L., (2020), *Nature conservation management in voluntary set-aside forests in Sweden: practices, incentives and barriers*, Scandinavian Journal of Forest Research, 35:1-2, 96-107.
- Hammar, T. (2017). *Climate impacts of woody biomass use for heat and power production in Sweden*. Doctoral thesis, Sveriges lantbruksuniversitet, 2017:49.
- Iwarsson Wide, M., (2009a) *Skogsbränsleuttag i vägkanter, Prestationsstudie - Uttag av skogsbränsle i vägkant med Bracke C16*, Arbetsrapport Skogforsk nr 695.
- Iwarsson Wide, M., (2009b) *Skogsbränsleuttag i vägkanter – Prestationsstudie, Uttag av skogsbränsle i vägkant med Ponsse Dual med EH25*, Arbetsrapport Skogforsk nr 696.

Karlsson, J. (2017) *Koldioxidutsläpp ur ett livscykelperspektiv under 2016: Karlskoga Kraftvärmeverk*, [diva2:1128473](#), Karlstad University.

Product Category Rules (PCR), (2020) *Basic products from forestry*, PCR 2020:05, Version 1.0.

Ringman, M. 1995, *Trädbränslesortiment – definitioner och egenskaper*, Fakta skog nr 5, SLU.

Von Hofsten, H., (2019) *Privat kommunikation*.

Wilhelmsson, L., (2021) *Privat kommunikation*.

Ågren, K., Högbom, L., Wilhelmsson, L., Johansson, M., (2021) *Datainsamling till underlag för livscykelanalyser (LCA) av det svenska skogsbruket – Beräkningar, erfarenheter och antaganden*, Arbetsrapport Skogforsk nr 1081, 2021.