

Pinne till Panna

En hållbarhetsanalys av ett ökat GROT-uttag från svenska skogar med fokus
på Krafringen Energis kraftvärmeproduktion

av Greta Wårfors

14 juni 2025

Examensarbete för civilingenjörsexamen i ekosystemteknik



LTH
FACULTY OF
ENGINEERING

Handledare: Pål Börjesson

Examinator: Lovisa Björnsson

Detta examensarbete för civilingenjörsexamen i ekosystemteknik har utförts vid avdelningen för Miljö- och energisystem, på institutionen för teknik och samhälle, Lunds tekniska högskola vid Lunds universitet.

Handledare på avdelningen för Miljö- och energisystem var Pål Börjesson. Handledare på Kraftringen var Bernt Svensson, Louise Servin och Alma Hess.

Examinator på Lunds universitet var Lovisa Björnsson.

© Greta Wärfors 2025
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
vid Lunds universitet
Institutionen för teknik och samhälle
Miljö- och energisystem
Box 118, 221 00 Lund

ISSN: 1102-3651
ISRN: LUTFD2/TFEM—25/5231—SE + (1-69)
Lund 2025

Förord

Att skriva detta examensarbete inom ämnet potentiell ökning av grotuttag och dess hållbarhetsaspekter har tillåtit mig att kombinera mitt intresse för skog med min nyfikenhet för miljöpåverkan från förnybar energiproduktion. Arbetet har varit en resa genom stora mängder information som successivt bearbetats till kunskap och nya insikter. Även om processen tidvis varit krävande har den samtidigt varit mycket lärorik och rolig.

Jag vill rikta ett varmt tack till mina handledare: Pål Börjesson, LTH, för ditt tålamod och tydliga vägledning i alla frågor kring arbetet. Louise Servin, Alma Hess och Bernt Svensson för att ni välkomnat mig till Krafringen och stöttat mig i arbetet med stor entusiasm och intresse. Tack även till Krafringens Håkan Edh, Olof Bengtsson och Henrik Börjesson för er väderfulla hjälp under arbetets gång.

Denna rapport hade aldrig varit möjlig utan det omfattande jobb från Richard Bexell och Linus Andersson på Södra som tog fram avverkningsdata och markfuktighetskartor, tack! Ett stort tack även till forskningsprojektet *Förbättrade grotprognoser för precisionsplanering* (projektnummer 2023-01054) som finansieras av Energimyndigheten och projektparterna för framtagningen och användandet av beräkningsmodell. Slutligen tack till Skogforsk, i synnerhet Raul Fernandez Lacruz och Björn Hamrup som bistått med expertkunskap inom skogsberäkningar.

Detta examensarbete kopplas även till Mistras forskningsprojekt *Biopath* där Krafringen och Lunds Universitet ingår som partners.

Det är min förhoppning att detta arbete väcker intresse och kan bidra med nya insikter inom området, samt inspirera till fortsatt forskning.

Sammanfattning

Minskade koldioxidutsläpp från energisektorn är nödvändigt om Sverige ska kunna nå klimatmålet inga net-toutsläpp av växthusgaser senast 2045. Biobaserad kraftvärme som drivs på restprodukter från skogsindustrin har möjligheten att bidra till minskade utsläpp men bränslena måste vara miljömässigt hållbara. Detta arbete undersöker potentialen för ett ökat uttag av grot, grenar och toppar, från svenska skogar och dess påverkan på miljö och ekosystemtjänster, samt vilka faktorer som påverkar grotuttaget. Arbetet bygger på en litteraturstudie av gällande regler och rekommendationer för grotuttag samt tidigare forskning om påverkan på kolbalans, markens långsiktiga produktivitet och andra ekosystemtjänster som biologisk mångfald. En fallstudie, gjord på energibolaget Krafringen, inkluderas också där det faktiska uttaget hos 18 st avverkningstrakter beräknas med en beräkningsmodell från Skogforsk och den potentiella ökningen av grotuttag uppskattas.

Både litteratur- och fallstudien visar att det finns reell potential att öka grotuttaget i svenska skogar utan en bedömd ökad negativ påverkan på miljö eller skogens förmåga att bidra med ekosystemtjänster. För Krafringens leverantörsområde ligger den praktiskt och hållbart möjliga ökningen på 19,2%. Nederbörd och markfuktighet identifierades som viktiga faktorer för uttagsstorlek. Ett ökat grotuttag ökar tillgången till inhemskt biobränsle som kan minska beroendet av fossila bränslen. Fallstudien visar att den potentiella klimatnyttan är särskilt tydlig om groten används för elproduktion som kan substituera el från andra, mindre hållbara, produktionsslag. Sammanfattningsvis kan ett ökat grotuttag agera en viktig möjliggörare för Sveriges klimatomställning, men det krävs avvägningar och strategiska kompensationsåtgärder, som askåterföring och sparsamt uttag av grov grot, för att uttaget ska vara långsiktigt miljömässigt hållbart.

Nyckelord: Grot, Miljöpåverkan, Klimatnytta, Bioenergi, Ekosystemtjänster, Resursoptimering

Abstract

Reducing carbon dioxide emissions from the energy sector is essential if Sweden is to achieve its climate target of net-zero greenhouse gas emissions by 2045. Bio-based combined heat and power (CHP), fueled by residual products from the forest industry, has the potential to contribute to reduced emissions but only with enough fuel that's environmentally sustainable. This study investigates the potential to increase the extraction of logging residues (branches and tops) from Swedish forests, and assess its impact on the environment and ecosystem services, as well as possible factors influencing the extraction levels. The report is based on a literature review covering current regulations regarding logging residue extraction, as well as previous research on its effects on carbon balance, long-term productivity of the forest, and other ecosystem services such as biodiversity. A case study on the energy company Krafringen is also included, in which actual extraction rates from 18 logging sites were calculated with a model from Skogforsk, and the potential for increased extraction was estimated.

Both the literature review and the case study show that there is an estimated real potential to increase the extraction of logging residues in Swedish forests without increasing negative environmental impact or impairing ecosystem services. For Krafringen's supplier area, the practically and sustainably achievable increase is estimated at 19.2%. Precipitation and soil moisture were identified as key factors influencing extraction levels. Increased logging residue extraction would improve access to domestic biofuels, potentially reducing reliance on fossil fuels. The case study shows that the climate benefit is particularly notable if logging residues are used for electricity production, substituting less sustainable energy sources. To conclude, increased logging residue extraction could support Sweden's climate transition, but only if it's managed with careful trade-offs and strategic compensation measures, such as ash recycling and limited harvesting of coarse logging residues, to ensure long-term environmental sustainability.

Keywords: Logging residues, Environmental impact, Climate mitigation, Bioenergy, Ecosystem services, Sustainable forestry

Innehåll

Förord	i
Sammanfattning	ii
Abstract	iii
Ordlista	vi
1 Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte & frågeställningar	1
1.3 Intressenter	2
1.3.1 Kraftringen Energi	2
1.3.2 Södra Skogsägarna	2
1.3.3 Skogforsk	3
1.4 Disposition	3
2 Metodik	4
2.1 Litteraturstudie	4
2.2 Fallstudie - Kraftringen Energi	4
3 Litteraturstudie - Grot	7
3.1 Trädbränsle	7
3.1.1 Grot	7
3.2 Regler & rekommendationer för grotuttag	8
3.2.1 Skogsstyrelsens regler	8
3.2.2 RED - Renewable Energy Directive	10
3.2.2.1 RED III i Sverige	10
3.3 Potentialer för grotuttag	11
3.3.1 Skogliga konsekvensanalyser	11
3.3.2 LULUCF-förordningen	13
3.3.3 Skogforsks grotprognos	14
4 Litteraturstudie - Miljöpåverkan	16
4.1 Skogens förmåga att binda koldioxid & agera kolsänka	17
4.1.1 Kolbalans i systemet	17
4.1.2 Alternativ lagring och koldioxidbesparing	19
4.1.3 Skogsbruksmetoder påverkar kolbalansen	20
4.2 Markens långsiktiga produktivitet	20
4.2.1 Tillväxtpåverkan	21
4.2.2 Skadeangrepps påverkan	22
4.2.3 Åtgärder mot tillväxtminskning	23
4.3 Skogens förmåga att bidra med ytterligare ekosystemtjänster	24
4.3.1 Grotuttagets påverkan	25

4.3.1.1	Kulturella & reglerande tjänster	25
4.3.1.2	Biologisk mångfald	25
4.3.1.3	Modell för värdering av biologisk mångfald	27
5	Fallstudie - Krafringen Energi	30
5.1	Avverkningsdata	30
5.2	Beräkningsmodell	32
5.2.1	Ekvationer & variabler	32
5.2.2	Rimlighetsanalys	33
5.3	Grot-uttag hos bränsleleverantörer	33
5.4	Analys	34
5.4.1	Nederbördens påverkan	35
5.4.2	Markfuktighetens påverkan	36
5.4.3	Annan möjlig påverkan	40
5.5	Potentiell ökning av grotuttag	40
5.6	Realisering av potentialen	43
5.7	Potentiell besparing av växthusgasutsläpp	45
5.7.1	Krafringen & Örtoftaverket	45
5.7.2	Sverige	46
5.7.3	Samlade resultat	47
6	Diskussion	48
7	Slutsatser	50
	Referenser	51
	Appendix A - Skogsdata	59
	Appendix B - Markfuktighetskartor	60

Ordlista

A-land enligt Förnybartdirektivet - land med regional eller nationell lagstiftning som är tillämplig samt med övervaknings- och kontrollsystem som säkerställer att hållbarhetskriterierna i förnybartdirektivet uppfylls.

Avverkningstrakt - ett tydligt avgränsat område som ska eller har avverkats. Ibland endast kallat trakt.

Bestånd - en avgränsad enhet av träd i ett område, ofta av samma art.

Biogen koldioxid - koldioxid som släpps ut direkt från biologiska källor eller vid förbränning och nedbrytning av biologiskt material.

Blädningsbruk - skogsbruk där man inte kalhugger hela skogsområden utan endast de äldre träden i ett fullskiktat bestånd avverkas. Även kallat hyggesfritt skogsbruk eller kontinuitetsskogsbruk.

Bonitet - en indikator på markens produktivitet för skogsbruk uttryckt i tillväxt skogskubikmeter per hektar och år.

Ekosystemtjänster - funktioner som naturen tillhandahåller och som gynnar människan. Delas upp i fyra kategorier; stödjande, försörjande, reglerande, och kulturella tjänster.

Enskiktad skog - skog med träd i samma åldersklass.

Evapotranspiration - den kombinerade förlusten av vatten från markytan och växters transpiration.

Fullskiktad skog - skog med träd i olika ålders- och höjdklasser där inga tydliga skikt kan urskiljas.

Förna - det översta lagret av marken bestående av döda växtdelar och organiskt material.

Föryngringsavverkning - det juridiska namnet för slutavverkning enligt svensk Skogsvårdslag. Även kallat slutavverkning.

Gallring - skogsbruksmetod där man tar bort en del av träden för att främja tillväxten på de kvarvarande, görs under de yngre tillväxtfaserna.

Grot - grenar och toppar som kapas av träden vid avverkning.

Helträdsskörd - hela trädet plockas ut vid avverkning, inklusive grot.

Humuslager - lager av organiskt material som bildas från nedbrutna växt- och djurdelar i jorden.

Naturlig avgång - den del av virkesförrådet som försvinner från skogen till följd av naturliga processer, t.ex. insektsangrepp och vindfällning.

Skogliga impediment - områden inom skogsmark som har för låg produktionsförmåga för att anses vara ekonomiskt lönsamma att bruka för traditionell skogsproduktion. De har en årlig tillväxt på mindre än 1 kubikmeter virke per hektar.

Stamskörd - endast stam plockas ut vid avverkning, grot lämnas kvar.

Trakthyggesbruk - skogsbruk där man tar ut hela beståndet vid avverkning. Även kallat kalhuggning.

Ädellövträd - lövträd som bedöms ha ett särskilt ekonomiskt och ekologiskt värde, t.ex. ek, bok och ask.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

För att uppnå Sveriges klimatmål inga nettoutsläpp av växthusgaser senast år 2045 kommer det krävas flertalet förändringar och omställningar i samhället. En av dessa är den viktiga energiomställningen som framförallt fokuserar på att ersätta fossila bränslen med förnybara energikällor. Genom åren har bioenergi varit en nyckelkomponent i energiomställningen och en viktig framgångsfaktor i Sveriges minskade utsläpp sedan jämförelseåret 1990 (Energimyndigheten, 2023; Fossilfritt Sverige, 2021). Idag är bioenergi den största energikällan i Sverige och framtidsspaningar visar på att den fortsatt kommer vara en viktig del av energiomställningen tillsammans med effektivisering och elektrifiering. Biomassa från skogsindustrisektorn, såsom grenar och toppar (grot) som blir över vid avverkningar, utgör en betydande resurs för produktion av bioenergi i form av el och värme (Fossilfritt Sverige, 2021). Grot har fördelen att det redan är en biprodukt från skogsbruket, vilket innebär att resursen finns tillgänglig utan ytterligare avverkningar. Ett ökat uttag av grot ur svenska skogar skulle innebära mer inhemsk bioråvara för produktion av tex biokraft (el) och fjärrvärme i landets kraftvärmeverk vilket skulle kunna reducera Sveriges beroende av fossila bränslen och bidra till en minskning av koldioxidutsläpp. (Fossilfritt Sverige, 2021)

Parallellt med bioenergins potential att bidra till att minska klimatpåverkan finns det samtidigt en målkonflikt mellan uttag av biobränsle för energiproduktion och påverkan på miljö och ekosystem som måste hanteras för en optimal användning av skogens resurser (Skogsstyrelsen, 2019a). Skogen tillhandahåller inte bara resurser i form av råvara och material, utan den bistår även med en rad olika ekosystemtjänster som också är mycket viktiga (Jönsson m. fl., 2021). Balansen mellan försörjande ekosystemtjänster, t.ex. att skogen tillhandahåller massaved, GROT och svamp, stödjande ekosystemtjänster som habitat och livsmiljö, kulturella tjänster som bidrar till sociala värden, samt reglerande ekosystemtjänster som kolupptag och kolinlagring i biomassa och mark är viktig att sträva efter för ett långsiktigt hållbart skogsbruk. Grunden för de stödjande tjänsterna är biologisk mångfald vilket också gör den till utgångspunkten för de övriga tjänsterna som skogen kan bidra med (Jönsson m. fl., 2021). FN:s panel IPBES, som arbetar för biologisk mångfald, anser till och med att förlusten av biologisk mångfald är ett lika stort hot mot mänskligheten som klimatförändringarna (IPBES, 2019). Utmaningen att bibehålla en balans mellan skogens alla tjänster, samt kunskap för att möta den, är en mycket viktig komponent i Sveriges arbete för att uppnå landets klimat- och miljömål (Jönsson m. fl., 2021).

I denna examensuppsats studeras och syntetiseras dagens befintliga kunskap inom området för målkonflikten mellan försörjande, stödjande och reglerande ekosystemtjänster. Denna kunskap appliceras på bränsleleverantörer till ett kraftvärmeverk i södra Sverige, tillhörande Krafringen Energi AB, i en fallstudie.

1.2 Syfte & frågeställningar

Syftet med arbetet är att undersöka hur mycket grotuttag från avverkningsområden kan öka utifrån ett hållbarhetsperspektiv, samt vad den potentiella besparing av växthusgasutsläpp från ökad användning av GROT för bioenergi i Sveriges energisystem är. Fokus i fallstudien ligger på Krafringens kraftvärmeproduktion i södra Sverige. Arbetet ämnar också analysera vad befintlig litteratur säger gällande hur ett ökat grotuttag kan påverka tre miljömässiga faktorer hos produktionsområdet via en litteraturstudie. De tre faktorerna är; 1. skogens förmåga att binda koldioxid och agera kolsänka, 2. markens långsiktiga produktivitet, samt 3. skogens förmåga att bidra med ytterligare ekosystemtjänster och biologisk mångfald. Arbetets frågeställningar är följande:

- Vad är den potentiella ökningen av grotuttag från avverkningsområden i Svenska skogar?
 - Vad motsvarar det i ökad bränsletillgång och potentiell besparing av växthusgasutsläpp för Krafttringen Energi samt Sveriges energisystem i stort?
 - Vilka faktorer påverkar uttaget av grot?

Resultatet från rapporten ämnar bidra till en ökad förståelse för hur balansen mellan skogens tjänster kan upprätthållas samtidigt som dess resurser används optimalt för att bistå i samhällets energiomställning.

1.3 Intressenter

1.3.1 Krafringen Energi

Krafringen Energi AB är ett lokalt energibolag baserat i sydvästra Skåne som producerar och levererar energi till boende i områden runt deras anläggningar (Krafringen, 2023). Företaget samägs av kommunerna Lund, Eslöv, Hörby samt Lomma och består av två stycken kraftvärmeverk som producerar el och fjärrvärme, två större produktionsanläggningar för endast fjärrvärme, ytterligare ett 15-tal mindre värmeproduktionsanläggningar, samt ett fåtal vindkraftverk och en solcellspark för elproduktion. Den största produktionsanläggningen är Örtoftaverket, beläget strax utanför Lund i Eslövs kommun. Anläggningen producerar ca 500 GWh värme och 220 GWh el från biobaserade bränslen per år (Krafringen, u.å). Sedan 2022 levererar verket också fossilfritt producerad ånga till sockerbruket Nordic Sugar som ligger granne med kraftvärmeverket. Bränslet till Örtoftaverket är biobaserat och består framförallt av flisat skogsbränsle (grot, skadad rundved och andra avverkningsrester) samt returträ (rivningsvirke, gamla lastpallar, etc). Totalt kräver verket ca 310 tusen ton bränsle per år och majoriteten av bränsleleverantörerna finns i Skåne eller södra Småland.

Krafringen planerar just nu för ett nytt kraftvärmeverk på den befintliga anläggningen i Örtofta och i maj 2024 vann Mark- och miljödomstolens dom om tillstånd för bygget laga kraft (Krafringen, 2024a). Senast i juni 2025 förväntas ledningen tagit ett slutgiltigt investeringsbeslut för projektet och pannan ska vara klar för drift under 2028. Utbyggnaden skulle innebära en nära fördubbling av anläggningens produktionskapacitet och en stor förstärkning av den planerbara energiproduktionen i regionen (Krafringen, u.å).

1.3.2 Södra Skogsägarna

Södra Skogsägarna, även kallat Södra, är ett koncernbolag som specialiserar sig på skogsindustrin och förvaltar skogsråvara från sina 52 000 ägare och producerar förnybara, biobaserade produkter som säljs både i Sverige och internationellt (Södra, u.å.). Verksamheten bedrivs främst i södra Sverige och är uppdelad i fem olika affärsområden. För detta arbete är det Södra Skog som är av intresse då den avdelningen ansvarar för skogsbruk och kopplingen till industri när de köper in skogsråvara från sina medlemmar och levererar till olika industrier. Södra Skog är en av Krafringens bränsleleverantörer av skogsbränsle i form av grot. I detta arbete har Södra bidragit med data från avverkningar där groten har levererats till Krafringens kraftvärmeverk Örtofta.

1.3.3 Skogforsk

Skogforsk är det officiella forskningsinstitutet för den svenska skogsindustrin med forskning som täcker in hela skogsbrukets värdekedja (Skogforsk, u.å.). Som en del av projektet *Förbättrade grotprognoser för precisionsplanering* (Skogforsk, 2023c) har Skogforsk bistått detta arbetet med modell för att beräkna bruttomängden grot utifrån parametrarna rundvirkesvolym, medelstamvolym och andel gran i trädslagsfördelningen, samt stöd i datahantering och kontakt med Södra.

1.4 Disposition

Detta examensarbete är uppbyggt av två huvudsakliga delar; en litteraturstudie samt en fallstudie. Litteraturstudien kan i sin tur delas upp i två delar där den ena fokuserar på rekommendationer och regler för grotuttag för att skapa en baslinje av vilket grotuttag som är teoretiskt hållbart och praktiskt genomförbart. Den andra delen fokuserar istället på vad litteraturen säger om konsekvenser för och påverkan på miljö och ekosystem i skogsproduktionsområden om grotuttaget ökar. Fallstudien är gjord på Kraftringen Energi AB och grundar sig i data för grotuttag från några av deras bränsleleverantörer, dvs skogsägare, till Örtoftaverket utanför Lund, Skåne. Över rapportens 7 kapitel presenteras och kontextualiseras delarna samt deras relation till varandra och genom att kombinera resultaten från fallstudien, dvs den praktiska mängden grotuttag hos bränsleleverantörerna, med teorin från litteraturstudien ska arbetets frågeställningar besvaras. Rapportens disposition ser ut som följande:

Inledningen introducerar ämnet samt dess sammanhang och relevans till dagens miljöfrågor. Vidare presenteras här rapportens syfte och frågeställningar samt de intressenter som arbetet berör. Det följande metodik-kapitlet presenterar arbetets tillvägagångssätt för varje del i mer detalj.

I kapitel 3 presenteras en syntes av den studerade litteraturen gällande grot och dess användningsområden, de regler och rekommendationer som finns i Sverige för grotuttag samt potentialer för framtida grotuttag. Kapitel 4 innehåller en mer ingående analys av potentiell miljöpåverkan från uttag av grot ur svenska skogar. Analysen inkluderar markens och skogens förmåga att binda samt lagra koldioxid, hur den långsiktiga produktiviteten påverkas av grotuttag inklusive tillväxt och skadeangrepps påverkan, samt hur skogens förmåga att bidra med ytterligare ekosystemtjänster kan förändras vid grotuttag, med fokus på biologisk mångfald.

Den efterföljande fallstudien i kapitel 5 innehåller flera delar som alla kopplar till det praktiska grotuttaget från avverkningstrakter och om det finns möjligheter att öka uttagsandelen utifrån olika förutsättningar. Först presenteras avverkningsdata från 18 st avverkningstrakter, denna data används sedan för att beräkna bruttomängden grot och uttagsandelen grot för respektive trakt. Vidare görs en analys av resultaten och trakternas förutsättningar för grotuttag. Slutligen presenteras approximativa beräkningar kring en möjlig ökning av grotuttag och potentiell besparing av växthusgasutsläpp, samt ett resonemang kring hur ökningen kan realiseras i praktiken.

Som avslutning kopplas litteraturstudiens och fallstudiens resultat samman och diskuteras. Fokus ligger på det ökade uttaget av grot ur ett hållbarhetsperspektiv och dagens bedömningar av möjliga hållbarhetskriterier. Därtill presenteras även de slutsatser som arbetet lett fram till.

2 Metodik

2.1 Litteraturstudie

I litteraturstudiens första del skapas en bakgrund kring grot som bränsle och regler och rekommendationer som finns kring dess uttag samt en bedömning av den framtida potentialen presenteras. Strategin för litteratursökning till denna del kan anses relativt bred och utan specifika förhållningsregler. Bakgrunden baseras på källor av olika typer men huvudsakligen används källor från SLU, Skogforsk, och Skogsstyrelsen. För regler och rekommendationer används källor från ansvarig myndighet (Skogsstyrelsen) samt relevant EU-lagstiftning, vilka funnits tillgängliga på respektive myndighets officiella hemsida. Gällande potentialer för grotuttag gjordes en mer systematisk sökning för att identifiera studier som utförts på Sverige, med en vetenskaplig metod, och på en stor skala. Således valdes studier från Skogsstyrelsen (Skogsstyrelsen, 2022a; Skogsstyrelsen, 2022b) samt Skogforsk (Parklund, 2023).

För litteraturstudiens andra del tillämpades en mer metodisk vetenskaplig sökning. Ett urval av nyckelord för litteratursökning till de olika avsnitten inkluderar kolinbindning, kolsänka, långsiktig produktivitet, tillväxt, tillväxtminskning, ekosystemtjänster och biologisk mångfald. Samtliga av dessa användes i söktermer tillsammans med grot, påverkan, skog, samt mark, på både svenska och engelska. Studier som gjorts i Norden samt på boreala skogar prioriterades i selektionen. Databaser som användes var Science Direct, LUB Search och Google Scholar. För att inte utesluta publikationer från organisationer som t.ex. Naturskyddsföreningen användes nyckelord och söktermer inte endast i vetenskapliga databaser utan även på allmänna webben. Därutöver användes metoderna bakåtriktad, samt framåtriktad kedjesökning (backward och forward snowballing) för att identifiera relevanta studier och publikationer för detta arbete. Publikationerna Jönsson m. fl. (2021), Mäkinen och Smolander (2025), Skogsstyrelsen m. fl. (2020), Hanssen m. fl. (2017), Ranius m. fl. (2018) samt Kvarnbäck (2024) utgör basen för litteraturstudiens andra del.

2.2 Fallstudie - Kraftringen Energi

Fallstudien är gjord i samverkan med Södra samt Skogforsk inom projektet *Förbättrade grotprognoser för precisionsplanering*. Avverkningsdata erhöles från Södra för 18 st trakter som sedan användes i en beräkningsmodell från Skogforsk för att beräkna bruttomängden grot och andel uttagen grot för respektive trakt. I beräkningsmodellen användes rundvirkesvolym, medelstamvolym, samt andel gran i trädslagsfördelningen för att beräkna bruttomängden grot som producerats vid avverkningen vilket sedan kan relateras till den volym grot som plockats ut från trakten för att få fram uttagsandelen. En mer utförlig beskrivning av Skogforsks modell finns i avsnitt 5.2. Efter de initiala beräkningarna genomfördes en rimlighetsanalys av resultaten. Trakter med en uttagsandel över 100% (>100%) exkluderades från vidare analys och beräkningar då det inte är möjligt att ha ett uttag större än vad som producerats vid avverkningen. För denna studie var det en trakt som genererade en uttagsandel över 100% och således uteslöts från studien, detta var trakt 15.

Sedan kategoriserades de 17 st kvarvarande avverkningstrakterna i följande tre kategorier baserat på deras uttagsandel för grot där varje kategori rymmer ett viss spann och representeras av en färg: Kategori 1: 0–35% = Orange, Kategori 2: 36–50% = Gul, samt Kategori 3: 51–100% = Grön. Vidare utfördes en analys av uttagsandelen för ett urval av trakterna baserat på datum för avverkning, skotning och flisning, samt nederbördsmönster och markfuktighet. Markfuktighetsanalysen utfördes med hjälp av data från Södra och urvalet av de analyserade trakterna baserades på vilka trakter som Södra hade möjlighet att ta fram markfuktighetssiffror på. Påverkan från nederbörd och markfuktighet på uttagsandelen grot grundar sig i att risken för

körskador från skogsmaskiner ökar ju blötare marken är. Grot behöver då användas av maskinerna att köra på för att öka markbärigheten och det minskar mängden som kan plockas ut som skogsbränsle.

För att uppskatta hur mycket grotuttaget från avverkningstrakterna kunde öka användes uppskattade grot-potentialer för Skåne och Kronobergs län ur en studie från Skogforsk. Denna siffra applicerades sedan på fallstudiens avverkningstrakter som, om uttagsandelen överskred 80%, korrigerades så att ökningen aldrig medförde en uttagsandel över 80%. Gränsen på 80% sattes baserat på Skogsstyrelsens regler och rekommendationer som anger att minst 20% av groten måste lämnas kvar för skydd av biologisk mångfald. Den potentiella ökningen för hela leverantörsområdet samt ett exempel på ökad grotmängd, baserat på Krafringens årliga totala grot-användning, beräknades även. Dessa beräkningar utfördes i volymmåttet m^3s (kubikmeter flis stjälpått) och för att omvandla till energimått nyttjades ett genomsnittligt omvandlingstal för groten energiinnehåll.

För att göra en grov uppskattning av klimatnyttan från den el som produceras med extra grot krävdes en uppskattning av mängden el som produceras i genomsnitt av den ökade mängden grot. Detta beräknades med information från Örtoftaverkets produktion. I detta arbete beräknades endast klimatprestanda för elproduktionen i kraftvärmeverket, värme- och ångproduktion inkluderades ej. Ej heller emissioner från värme- och ångproduktionen inkluderades i beräkningarna då klimatavtrycket för den totala produktionen allokerats mellan el, värme samt ånga och endast det för el används. Denna avgränsning gjordes dels för att begränsa rapportens omfång utifrån den givna tidsramen, dels eftersom el har ett bredare användningsområde i samhället och behovet av mer förnybar elproduktion är stort i energiomställningen.

Med siffror på årlig bränsleförbrukning samt årlig el- respektive värmeproduktion fastställdes ett approximativt värde för kraftvärmeverkets genomsnittliga elverkningsgrad över ett år. Med elverkningsgraden kunde sedan den motsvarande mängden producerad el i Örtoftaverket för grotökningen från leverantörsområdet beräknas. Likaså uppskattades den totala ökningen inom regionen som bedöms vara möjlig. Elproduktionen användes sedan för att uppskatta den besparing av växthusgasutsläpp som kan uppnås vid substitution av el från vind- och solkraft samt nordisk elmix med el från Örtoftaverket. Denna jämförelse inkluderade ej förändringar som skett i skogens kolbalans eller påverkan på biologisk mångfald då systemgränsen i EPD:n (Environmental Product Declaration) för el från Örtoftaverket dragits efter att groten hämtats från skogen. Valet att jämföra med vind- och solkraft baserades på att dessa kraftslag bedöms vara fördelaktiga i energiomställningen, särskilt inom elområde 4 där behovet av lokal elproduktion är stort. Jämförelsen med nordisk elmix gjordes för att belysa hur el från biobaserad kraftvärme förhåller sig till den genomsnittliga elproduktionen i Norden. Sedan uppskattades översiktligt även den potentiella besparingen av växthusgasutsläpp som skulle gå att uppnå om hela Sveriges hållbart och praktiskt möjliga grot-potential skulle plockas ut, användas för energiproduktion och ersätta samma mängd el från solceller eller den genomsnittliga nordiska elmixen.

I Tabell 1 presenteras enheter som vanligen används inom skogsbruk och skogsindustri och som bedöms behöva en extra förklaring för full förståelse av rapportens fallstudie med dataset och beräkningar.

Tabell 1: Vanligt använda volymenheter inom skogsbruk och skogsindustri.

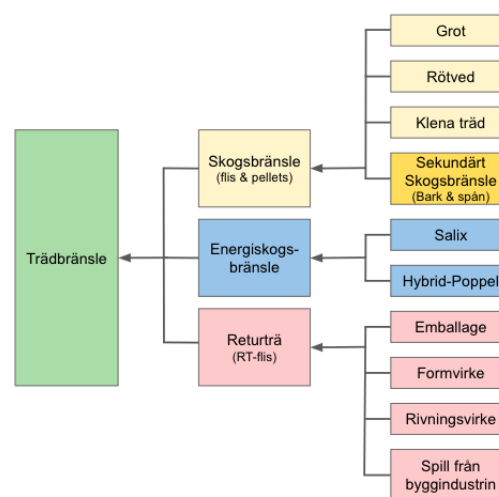
Enhet	Beteckning	Förklaring
Skogskubikmeter	m3sk	Hela trädstammens volym inkl bark.
Fastkubikmeter	m3fub	"Fast kubik under bark". Mått på den verkliga vedvolymen hos ett fällt träd, även kallat rundvirkesvolym.
Stjälpt volym	m3s	Flisad volym. Avser ett löst materials yttre volym, inkl mellanrum mellan delarna. Används för t.ex. flis och sågspån.
Fast volym	m3f	Kubikmeter fast mått. Endast de inkluderade delarnas volym, exkl mellanrum.

3 Litteraturstudie - Grot

Bioenergi är idag det största energislaget i Sveriges energisystem, sett till energitillförsel, med cirka 154 TWh årligen och biomassa från skog samt jordbruk är det dominerande bränslet (Börjesson m. fl., 2024; Skogsstyrelsen, 2023a). Av de 154 TWh står skogsbiobränslen för över 80% och närmare 90% av den biomassan är inhemsk producerad. Historiskt sett har den ökade användningen av biobränslen i energisystemet inte bara lett till en signifikant minskning i växthusgasemissioner utan även en förstärkning av landets energisäkerhet. Industrisektorn, framförallt skogsindustrin följt av fjärrvärmesektorn, är den sektor som använder störst andel av bioenergin men även användningen inom transportsektorn har ökat stadigt de senaste 20 åren och behovet av bioenergi förväntas fortsätta stiga, inte minst inom elproduktion via kraftvärme (Börjesson m. fl., 2024). Från skogen uppkommer tre huvudsakliga produktströmmar vid avverkning; timmer till sågverken, massaved till pappers- och massabruk, samt avverkningsrester, som framförallt används till el- och värmeproduktion (Skogsstyrelsen, 2023a; Skogsstyrelsen, 2024a).

3.1 Trädbränsle

Trädbränsle är ett samlingsnamn för biobränslen där träd eller delar av träd är ursprungsmaterialet (Föreningen Skogen, 2000). Det inkluderar både skogsbränsle, energiskogsbränsle, samt returträ (RT-flis) som antingen används som det är eller förädlas till andra produkter (Johannesson m. fl., 2023). Det huvudsakliga användningsområdet är energiframställning i form av el (biokraft), biovärme, och biodrivmedel. Skogsbränslen kan i sin tur delas upp i två klasser, primära och sekundära skogsbränslen. Gemensamt för de två klasserna är att båda avser biprodukter från produktion av en annan huvudsaklig produkt samt att de ej har behandlats på kemisk väg. Primära skogsbränslen inkluderar grot, skadad rundved, stubbar, samt klana träd från avverkningsarbete och kallas ibland även för avverkningsrester. De sekundära skogsbränslena är biprodukter från industrin och består främst av spån och bark från pappers- och massabruk. Figur 1 illustrerar de olika kategorierna och deras delar som tillsammans innefattas av begreppet trädbränsle. (Johannesson m. fl., 2023)



Figur 1: Schematisk bild över indelningen av olika trädbränslen. Skapad med inspiration av Johannesson m. fl. (2023)

3.1.1 Grot

Grot står som tidigare nämnt för grenar och toppar, vilket uppkommer vid slutavverkningar, gallringar samt vid eftersatt röjning om volymerna är tillräckligt stora (Skogsstyrelsen m. fl., 2012). Det svenska skogsbruket domineras av metoden trakthyggesbruk vilket innebär ett skogsskötselsystem där enskiktad skog (alla träd inom beståndet är ungefär lika höga) avverkas för att en ny jämnårig trädgeneration sedan ska etableras, nästan uteslutande via plantering. Denna metod kallas även för kalhugning i folkmun då ett kalhygge skapas på avverkningsplatsen innan den nya trädgenerationen tagit vid. Under beståndets generationstid sköts skogen med röjning och gallring där ett av målen är att bibehålla ett friskt, jämnhögt och jämn gammalt bestånd som till slut kan slutavverkas varpå processen upprepas. Denna skogsbruksmetod genererar stora mängder

grot (samt timmer och massaved) som på ett relativt kostnadseffektivt sätt kan plockas ut från skogen. (Skogsstyrelsen m. fl., 2012)

Den generella metoden för uttag av grot ser ut som följande. När trädet skördas och kapas till timmer respektive massaved kvistar skördaren samtidigt bort grenar och toppar från stammen (Skogforsk, 2023b). Den grot som ska plockas ut som skogsbränsle läggs i mindre högar på hygget och det är vanligt att groten lämnas kvar på hygget över en sommar för att torka innan den samlas upp. Torkningen höjer grotens värmevärde då fukthalten sjunker, men den gör också att barr och löv trillar av grenarna. Detta är bra eftersom barr och löv är rika på näringsämnen som då återförs till marken. Värmeverk vill även undvika barr i förbränningen då de kan orsaka problem i pannorna. I vissa fall samlas groten upp direkt efter avverkning till en uppsamlingsplats för att påskynda etableringen av det nya beståndet och torkningen får då ske där istället. I fallen då groten får ligga kvar på hygget samlas den istället upp och transporteras till en uppläggningsplats efter torkning. Uppsamlingsplatserna är lokaliserade inom skogen intill en skogsbilväg där en flisare kan komma åt groten för sönderdelning vilket förenklar transporten som sker i lastbilar med släp till terminal eller kraftvärmeverk. (Skogforsk, 2023b)

Grot har flera nyttor beroende på hur resursen väljs att användas. När den lämnas kvar på hygget förmultnar materialet vilket frisätter näringsämnen och mineraler som återförs till marken (Skogforsk, 2023b). Detta gynnar nästa trädgeneration som får tillgång till fler byggstenar för sin tillväxt. Groten kan även gynna den biologiska mångfalden, användas för att stärka upp marken samt minska risken för körskador från skogsmaskiner, och självklart även användas som skogsbränsle i t.ex kraftvärmeverk. Det är denna mångsidighet som ligger till grund för målkonflikten mellan grotuttag för energiproduktion och kvarlämning för ekosystemets välmående.

3.2 Regler & rekommendationer för grotuttag

Vid uttag av grot efter avverkning måste miljöhänsyn tillämpas. För att säkerställa detta har Skogsstyrelsen tagit fram specifika regler och rekommendationer som bör efterföljas vid grotuttag men även på EU-nivå finns det direktiv som påverkar det svenska skogsbruket (Skogsstyrelsen, 2019a; Energiföretagen Sverige, 2023).

3.2.1 Skogsstyrelsens regler

Skogsstyrelsen är ansvarig myndighet för frågor gällande skogsbruket och har som uppgift att verka för att Sveriges skogspolitiska mål uppnås samtidigt som hänsyn tas till andra miljö- och samhällsmål. Samtliga regler för skogsbruk kan hittas i skogsvårdslagen (SFS 1979:429), skogsvårdsförordningen (SFS 1993:1096) samt Skogsstyrelsens föreskrifter och allmänna råd (SKSFS 2011:7) till skogsvårdslagen. I detta avsnitt tas dock endast de regler och rekommendationer som anses mest relevanta för uttag av primära skogsbränslen upp.

Skogsvårdslagen (1979:429) avsnitt 7.27 anger att "När träddeklar utöver stamvirket tas ut ur skogen ska åtgärder vid behov vidtas så att skador inte uppstår på skogsmarkens långsiktiga näringsbalans och buffringsförmåga mot försurning." (Skogsstyrelsen, 2023b). Lagen inkluderar bl.a att markägaren har anmälningsplikt till Skogsstyrelsen för uttag av grot vid förnygringsavverkning om det ska användas kommersiellt och uttaget får påbörjas tidigast sex veckor efter att anmälan gjorts. Vidare säger lagen att nödvändiga kompensationsåtgärder för att upprätthålla markens näringsbalans, så som askåterföring (aska från förbränning av rena skogsbränslen återförs till skogsmarken för näringstillskott), kan krävas, att körskador ska minimeras, samt

att skadligt yngelmaterial för insekter måste hanteras. Lagen reglerar även mängden aska som får återföras till marken och vilka skyddszoner som måste tillämpas. Vidare ska buskar och enstaka träd, trädsamlingar, samt döda träd lämnas kvar vid avverkning och grotuttag med hänsyn till arter, kulturmiljön och landskapsbilden. (Skogsstyrelsen, 2023b)

I rapporten *Vägledning - Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder* (Skogsstyrelsen, 2019b) har Skogsstyrelsen sammanfattat vad Skogsvårdslagtiftningen innebär i praktiken för uttag av skogsbränsle. Målet är att grotuttaget ska balanseras för att bevara markens näringsbalans, undvika förurning samt skydda biologisk mångfald genom följande rekommendationer.

1. Grot bör inte plockas ut från alla marker. I skogar med höga naturvärden, som riskerar att ta skada, samt skogar med stor risk för körskador och erosion bör uttag av grot undvikas. För skogar som gränsar till jordbruksmark, våtmarker, skogliga impediment, samt sjöar och vattendrag kan uttag av grot göras om skyddszoner tillämpas och om avverkning samt uttag anpassas efter rådande förutsättningar. Gällande körskador och erosion är motiveringen att groten bidrar till större nytta när skogsmaskinerna kör på den och körskador förhindras än om den plockas ut som skogsbränsle.

2. Minst 20% av groten ska lämnas kvar på hygget för att bevara den biologiska mångfalden. I den andelen inkluderas grot som används att köra på. Det är viktigt att den grot som plockas ut endast omfattar de vanligaste trädslagen i området och att ensidigt uttag av grot från lövträd undviks. Grova (ca 10 cm i diameter) grenar och toppar från ädellövträd och tall är extra viktiga att spara och ska gärna placeras i solexponerade lägen för att gynna områdets biologiska mångfald.

3. Tidpunkten för grotuttag är väsentlig för att minimera skador på växt- och djurliv. Uttag under sommaren, speciellt av grot från ädellövträd, riskerar att skada sällsynta insekter som använder groten till äggkläckning. Därför bör uttag inte ske före 1 augusti och kvarlämnad grot för torkning bör flisas upp senast 15 april i skogar med stor andel lövträd.

4. Åtgärder för att motverka förurning och förlust av näringsämnen i skogsmarken är vitala. Näringsbalansen bör kompletteras via askåterföring om det samlade grotuttaget motsvarar mer än 0,5 kg TS (torrsubstans) aska per hektar under en omloppstid. I bestånd där gran är det dominerande trädslaget motsvarar detta ett virkesuttag på 200 m³sk/ha (skogskubikmeter/hektar) eller mer och ett grotuttag på 80%. I de sydligaste och sydvästra delarna av landet bör dock aska alltid återföras vid grotuttag, även om volymerna är mindre, för att motverka ytterligare förurning. Tidpunkten för askåterföring bör väljas så att skada på djurlivet undviks. Uttag av grot medför även bortförsel av kväve. Marker med hög kvävebelastning kan gynnas av grotuttag då det minskar risken att syra tillförs till marken genom att undvika nitrifikation och kväveurlakning. I marker med lägre kvävehalt finns risken att grotuttag genererar en högre bortförsel av kväve än tillförsel under en omloppstid. För att motverka detta kan tillförseln ökas via kvävegödsling. Detta görs dock ej som en kompensation där grot plockas ut utan som en gödslingsåtgärd vilket leder till att gödslingen kommer ske i de bestånd där kvävet bedöms ha störst nytta för tillväxten.

5. Hänsyn till renskötseln ska tas vid grotuttag och eventuell askåterföring. Det innebär bl.a att grotuttag inte bör ske i hänglavsskogar och att askåterföring inte bör ske i eller nära områden med stor betydelse för renskötseln. Uttag av grot har dock visat sig vara positivt för renskötseln i områden med marklavar då det underlättar lavarnas utbredning och renarnas åtkomst till dem. Grotuttag kan därmed ske i dessa områden om det inte bedöms orsaka körskador eller annan negativ påverkan. (Skogsstyrelsen, 2019b)

3.2.2 RED - Renewable Energy Directive

EU:s *Renewable Energy Directive* (RED III), eller *Förnybartdirektivet* på svenska, är en del av EU:s arbete för att öka övergången till förnybara energikällor med syftet att minska klimatpåverkan (European Union, 2023). Direktivet, som trädde i kraft november 2023, innebär en utvidgning av den tidigare upplagan, RED II, speciellt när det kommer till energi från skogsbränslen. Under förhandlingarna fanns det förslag på att primära skogsbränslen med sitt ursprung från skogen, grot, inte längre skulle klassas som hållbart biobränsle (Energiföretagen Sverige, 2023). En sådan klassning hade inneburit en stor påverkan för den svenska kraftvärmesektorn där cirka 20% av bränslet är just primära skogsbränslen. När den slutgiltiga överenskommelsen publicerades fanns dock något sådant beslut inte med. Istället har fler restriktioner kring skogsbruk adderats till artikel 29 i direktivet för att minska risken för användning av biomassa till energiframställning från ohållbar skogsproduktion (European Union, 2023). Sekundära skogsbränslen från vidareförädling av skogsråvara, t.ex bark och sågspån från sågverk, betraktas som hållbara biobränslen enligt direktivet.

I RED III har det befintliga kravet att produktionslandet har tillämpliga lagar samt övervaknings- och tillsynssystem på plats för avverkning av skog utökats med skydd för särskilda områden (European Union, 2023). Dessa områden inkluderar gräsmark, hedar, våt- och torvmarker, samt urskog och gammal skog som alla anses innefatta stor biologisk mångfald. Ytterligare ett tillägg i RED III är att avverkningen måste utföras i linje med hållbart skogsbruk. I direktivet innebär det att skogsbruksmetoderna ska undvika uttag av stubbar och rötter, uttag från urskog och gammal skog, samt konverteringen av dessa områden till produktionskog. Dessutom bör avverkning av skogar på känsliga jordar undvikas och likaså bör skogsbruket minimera risken för att kalhyggen skapas. Detta är utöver de redan befintliga kraven på att hänsyn till jordkvalité och biodiversitet måste tas för att minimera negativ påverkan från skogsbruket. Vidare kräver också RED III att anläggningar som använder biomassa från skogen i sin produktion måste ge ut en uttalad försäkran om att biomassan inte kommer från marker som ska skyddas enligt direktivet. Baserat på medlemsländernas lagstiftning och kontrollsystem för efterlevnad av direktivets hållbarhetskriterier erhåller medlemsländerna A-, B-, eller C-klassificering där A-klassificering är den högsta. (European Union, 2023)

En grundläggande del av biomassans hållbarhetsklassning i förnybartdirektivet är att kaskadprincipen tillämpas för skogsråvaran (Energiföretagen Sverige, 2023). Det innebär att den i första hand ska användas till långlivade produkter som byggnader och möbler, därefter ska återanvändning, återbruk och återvinning användas innan träet får användas för energiproduktion. För Sverige bör dock detta inte innebära något stort hinder i dagsläget då energibolagen framförallt använder skadat virke, restprodukter eller redan återvunnet material i sin kraftvärmeproduktion. I framtiden kan eventuellt sågspån som bränsle komma att ifrågasättas då sågspån kan användas som råvara för t ex spånskivor inom byggsektorn vilket sker i begränsad omfattning idag (Börjesson, 2025).

3.2.2.1 RED III i Sverige

Medlemsländerna i EU har till den 21 maj 2025 att implementera det uppdaterade förnybartdirektivet i sin nationella lagstiftning vilket i Sverige görs genom Lagen om hållbarhetskriterier (SFS 2010:598) med Energimyndigheten som tillsynsmyndighet (Energimyndigheten, 2024). Lagen anger bland annat vilka kriterier som gäller för att energi framställd från biomassa ska få klassas som hållbar. Biomassan får inte orsaka avskogning eller på längre sikt minska kolförråden på landskapsnivå, minska den biologiska mångfalden eller skada värdefull natur, försämra mark- och vattenkvalitet, minska markens långsiktiga produktionsförmåga, samt heller inte orsaka skadliga utsläpp av föroreningar. Denna lag lägger grunden för hur skogsbruket bör

drivas och därför fick Skogsstyrelsen i regeringsuppdrag att utreda om nuvarande lagstiftning och system är tillräckliga samt vilka ändringar som annars bedöms nödvändiga för att Sverige ska uppfylla kriterierna för ett A-land i RED III (Skogsstyrelsen, 2024b). Lagstiftning gällande skogsbruk och uttag av skogsbränsle regleras i Skogsvårdslagstiftningen (Skogsstyrelsen, 2023b) och enligt Skogsstyrelsens bedömning uppfyller regelverket flertalet kriterier i förnybartdirektivet men vissa ändringar och tillägg krävs för fullständig efterlevnad (Skogsstyrelsen, 2024b). Jämfört med idag skulle Skogsstyrelsens förslag bland annat att innebära:

- En utökad deklaraionsplikt i samband med anmälan och ansökan om avverkning och uttag av skogsbiomassa för att ge energiproducenterna tillgång till mer information gällande skogsbiomassans tillåtlighet och hållbarhetsstatus.
- Att berörda myndigheter får i uppdrag att definiera vad ”skog med hög biologisk mångfald” anses vara samt hur det kan avgöras i praktiken.
- Att begreppen urskog samt gammal skog introduceras redan på lagnivå i den nationella skogsvårdslagen.

Sammantaget är syftet att det ska bli enklare för berörda aktörer att spåra skogsbiomassan och därmed kontrollera att den inte kommer från något område som innefattas av det särskilda skyddet samt att biomassan har producerats med ett hållbart skogsbruk. Målet är att dessa tillägg ska säkerställa Sveriges efterlevnad av förnybartdirektivet. (Skogsstyrelsen, 2024b)

3.3 Potentialer för grotuttag

3.3.1 Skogliga konsekvensanalyser

Med jämna mellanrum utför Skogsstyrelsen skogliga konsekvensanalyser (SKA) och virkesbalanser för att studera konsekvenser av olika scenarier med avvägning mellan produktion, miljö och andra intressen för det svenska skogsbruket. På uppdrag från regeringen genomfördes 2022 en uppdaterad skoglig konsekvensanalys (SKA22) av Skogsstyrelsen i samarbete med SLU som avrapporteras i fem delrapporter. Rapporten *Skogliga konsekvensanalyser 2022 - virkesbalanser* (Skogsstyrelsen, 2022b) presenterar bl.a siffror för både tidigare avverkning och grotuttag samt potentialer för framtiden. Syntesrapporten för SKA22 beskriver sex stycken scenarier som utgår från olika skötselmetoder av skogen, beräkningar av grotuttag appliceras dock endast på fyra av dem (Skogsstyrelsen, 2022a). Scenariot *Dagens potential* innebär en fortsättning av dagens skogsbruk och att hela den årliga tillväxten avverkas för att maximera virkesuttaget medan *Fokus mångfald* fokuserar på att öka variationen och den biologiska mångfalden i skogen. I *Fokus tillväxt* ligger fokuset på att öka skogstillväxten, och därmed virkesproduktionen, genom olika skogsbruksåtgärder. Det fjärde scenariot, *Fokus klimatanpassning* syftar till att minska risken för klimatrelaterade skogsskador, som förväntas öka i både antal och intensitet med klimatförändringarna, genom anpassade skogsbruksåtgärder. Sammantaget innefattar varje scenario olika förutsättningar för det svenska skogsbruket och därmed även storleksordningen på de råvaror som kan plockas ut från skogen. (Skogsstyrelsen, 2022a)

I genomsnitt producerades och levererades 23,8 TWh primärt oförädlad skogsbränsle årligen under perioden 2016-2020 av svensk skogsråvara (Skogsstyrelsen, 2022b). Av detta stod grot för 8,7 TWh med störst uttag i Götaland (5,8 TWh), resterande volym bestod av 8,5 TWh brännved, 5,3 TWh stamvedsflis samt små volymer av stubbflis, trädflis och park- och trädgårdsrester. Om även rundvirke och sekundära skogsbränslen som flis, bark och sågspån från träförädlingsindustrin räknas in uppgår den genomsnittliga årliga produktionen av skogsbränsle till hela 50,9 TWh varav cirka 46% går till el- och fjärrvärmeproduktion.

Beräkningar för det framtida potentiella grotuttaget baseras på potentiella avverkningsvolym, vilka avser den högsta möjliga volym utan att den efterföljande tillväxten, och således även den efterföljande avverkningsmöjligheten, minskar. Dessa beräkningar utgår från principen att den potentiella avverkningen får motsvara nettotillväxten av skogsbeståndet i föregående period och den potentiella avverkningsvolymen utgör då den maximala volym som kan tas ut utan att virkesförrådet på virkesproduktionsmarken minskar utifrån respektive scenarios förutsättningar. I Tabell 2 redovisas de potentiella avverkningsvolymerna i skogskubikmeter per år för de fyra scenarierna under tre efterföljande 10-årsperioder.

Tabell 2: Potentiell avverkning av levande träd, inkl. röjning, för fyra scenarier under tre 10-årsperioder. [$\text{m}^3\text{sk}/\text{år}$] Källa: Skogsstyrelsen (2022b)

Scenario	2025-2034	2035-2044	2045-2054
Dagens potential	92,1	94,1	97,5
Fokus klimatanp.	92,1	94,7	102,4
Fokus mångfald	65,9	73,1	77,5
Fokus tillväxt	95,3	99,9	107,9

Utifrån Skogsstyrelsens rekommendationer (se avsnitt 3.2.1) och den potentiella avverkningsvolymen för perioden 2025-2034 har ett spann för potentiellt grotuttag tagits fram för samma period. Det ska poängteras att eftersom grotuttaget är baserat på avverkningsvolymerna måste dessa realiseras för att de faktiska grotvolymerna ska överensstämma med de siffror som redovisas i Tabell 3 nedan. Med selektiv avverkning syftas den avverkning som sker vid hyggesfritt skogsbruk. I beräkningarna beaktas de ekologiska restriktioner som Skogsstyrelsens rekommendationer utgör men inte ekonomiska eller tekniska restriktioner.

Tabell 3: Årlig faktisk användning av grot under perioden 2016-2020 samt årlig potential för grotuttag under perioden 2025-2034 för fyra scenarier. Potentialen inkluderar förnygringsavverkning och gallring, inkl selektiv avverkning, på virkesproduktionsmark med avdrag enligt Skogsstyrelsens rekommendationer. [TWh] Källa: Skogsstyrelsen (2022b)

Område	Faktisk användning	Framtidsscenarier 2025-2034			
		Dagens potential	Fokus klimatanp.	Fokus mångfald	Fokus tillväxt
Norrland	0,7	18,5	17,6	11,8	19,4
Svealand	2,3	10,0	9,3	7,1	9,8
Götaland	5,8	11,7	10,5	9,7	10,6
Hela landet	8,7	40,2	37,7	28,5	39,8

Spannet för det årliga potentiella grotuttaget under perioden 2025-2034 kan således sträcka sig från 28,5 till 40,2 TWh beroende på vilka skogsbruksmetoder som anammas enligt Skogsstyrelsen (2022b). Oavsett scenario bedöms det potentiella grotuttaget vara nästan 3-5 gånger så stort som dagens uttag över landet i helhet med störst utvecklingspotential i Norrland där t.o.m en tjugofemfaldig ökning anses teoretiskt möjlig. Om istället endast grot från förnygringsavverkning inkluderas sjunker potentialen betydligt men den är fortfarande avsevärt högre än den historiska faktiska användningen i majoriteten av scenarierna, se Tabell 4.

Tabell 4: Årlig faktisk användning av grot under perioden 2016-2020 samt årlig potential för grotuttag från förnygringsavverkning under perioden 2025-2034 för fyra scenarier. Potentialen inkluderar avdrag enligt Skogsstyrelsens rekommendationer. [TWh] Källa: Skogsstyrelsen (2022b)

Område	Faktisk användning	Framtidsscenarier 2025–2034			
		Dagens potential	Fokus klimatanp.	Fokus mångfald	Fokus tillväxt
Norrland	0,7	12,2	13,1	2,8	13,2
Svealand	2,3	5,9	7,8	2,1	6,6
Götaland	5,8	6,2	9,0	3,6	7,1
Hela landet	8,7	24,3	29,2	8,5	26,9

När endast grot från förnygringsavverkning räknas med ligger spannet för potentiellt grotuttag mellan 8,5-29,2 TWh per år för hela landet. Det är scenariot *Fokus mångfald* som står för den lägre gränsen och skulle innebära en minskning av grotuttag jämfört med den faktiska användningen i alla delar av landet förutom Norrland. Övriga scenarier motsvarar ungefär en trefaldig ökning av den faktiska användningen i sin helhet. Det är rimligt att anta att grotuttag fortsatt framförallt endast kommer ske vid förnygringsavverkningar, och inte vid gallringar. Detta p.g.a att man vill minimera kör- och markskador från maskiner men också för att det inte är lika ekonomiskt lönsamt med grotuttag vid gallringar som vid förnygringsavverkningar p.g.a de låga volymer grot som genereras i förhållande till kostnaden för hantering och bearbetning. I kommande fallstudie används således endast värden för grot från förnygringsavverkningar.

Sammanfattningsvis visar Skogsstyrelsens Skogliga konsekvensanalyser från 2022 att det finns utrymme för ett ökat grotuttag ur ett hållbarhetsperspektiv över hela landet om något av scenarierna *Dagens potential*, *Fokus klimatanpassning* eller *Fokus tillväxt* realiserar. Störst potential bedöms finnas i Norrland och minst i Svealand.

3.3.2 LULUCF-förordningen

LULUCF-förordningen, vilket står för Land Use, Land Use Change and Forestry, och på svenska markanvändning, förändrad markanvändning och skogsbruk, är en EU-förordning som reglerar markanvändnings- och skogsbrukssektorns utsläpp av växthusgaser samt nettoupptag av koldioxid (Europeiska unionens råd, 2025). Förordningen inkluderar alla verksamheter som på något sätt anknyter till omvandling, användning och förvaltning av betesmark, jordbruksmark, skogar, våtmark, bebyggd samt övrig mark. Även kolinbindningen i avverkade träprodukter inkluderas. Målet är att avlägsna koldioxid från atmosfären genom upptag i mark och skog för att minska nettoutsläppen av växthusgaser. Enligt LULUCF-förordningen ska Sverige senast år 2030 ha ett nettoupptag om drygt 4 miljoner ton CO₂-ekvivalenter högre än under referensperioden 2016-2018 då upptaget i genomsnitt låg på 44,8 M ton CO₂-ekvivalenter per år (Wikberg m. fl., 2023). Detta ska ske över hela LULUCF-sektorn men ett stort fokus ligger på just skogen och där handlar det framförallt om avsättningsområden för naturvård som kommer att minska avverkningsnåverna. Andra åtgärder som kan bidra till högre kolinlagring inom LULUCF-sektorn är återställning av våtmarker, skogsplanering på oanvänd åker- och betesmark, samt kvävegödsling av skog som ökar tillväxten (Skogsindustrierna, 2024).

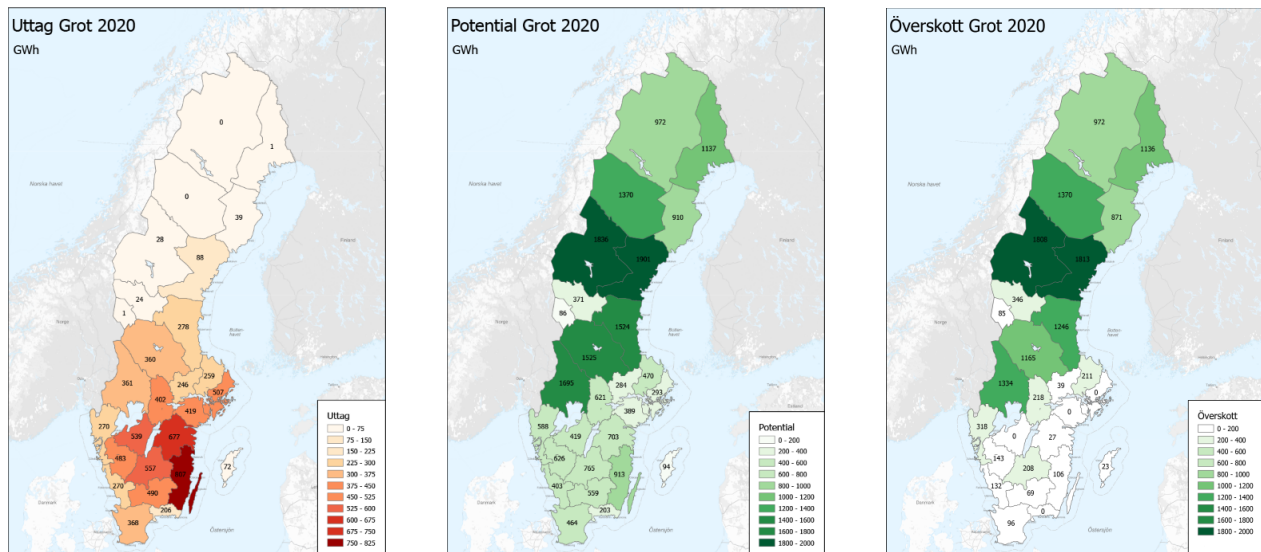
Skogsmarker står för störst andel nettoupptag av koldioxid i Sverige men statistik visar på en nedåtgående trend som bedöms vara följden av minskad tillväxt och ökad avverkningstakt (Naturvårdsverket, 2024e). Därför handlar en stor del av diskussionerna kring hur LULUCF-sektorn i Sverige ska kunna nå de mål som EU satt upp om bland annat förändringar i skogsbruket. I scenariot *Fokus mångfald* i Skogsstyrelsens SKA22

avsätts ytterligare 2,6 miljoner hektar produktiv skogsmark jämfört med övriga scenarion för att gynna biologisk mångfald (Skogsstyrelsen, 2022a). Trots att avsättningen sker utifrån ett annat syfte så bidrar den till högre kolinbindning och gynnar därmed även LULUCF-målen. I de övriga scenarierna tas det inte hänsyn till LULUCF och de avverkningspotentialer som redovisas för dem riskerar därmed att vara missvisande om större andel skogsmark måste avsättas i syfte att uppfylla LULUCF-målen. Enligt SKA22 ger *Fokus mångfald* ett väldigt fördelaktigt resultat för kolsänka på kort och medellång sikt men den initiala effekter avtar sedan snabbt och på längre sikt blir scenariot det med lägst kolinlagring. På den längre tidsskalan är det istället scenariot *Dagens skogsbruk*, där inte all tillväxt avverkas, som ger störst kolinlagring.

Det är svårt att säga exakt hur LULUCF kommer att påverka tillgången till grot eftersom det inte är helt tydligt exakt vilka åtgärder som ska implementeras inom sektorn. De slutsatser som går att dra dock är att ökade avsättningar, oavsett för vilket syfte, bidrar till lägre avverkningsvolym och därmed även lägre grotpotential, samt att beroende på om man väljer att prioritera en snabb, kortsiktig kolinlagring eller en stabil kolinlagring över en längre tid så kommer avverkningsnivåerna, och därmed även mängden tillgänglig grot, skilja sig stort (Skogsstyrelsen, 2022a; Wikberg m. fl., 2023).

3.3.3 Skogforsks grotprognos

Med syftet att identifiera hur mycket grot som lämnas kvar i skogen har Skogforsk, det svenska forskningsinstitutet för skogsbruk, utfört en jämförelse mellan det faktiska grotuttaget och det praktiska samt hållbara grotuttaget som är möjligt för året 2020 (Parklund, 2023). Mängden grot som plockas ut beräknades med hjälp av transportdata från Biometria, ett företag som mäter skogsprodukters flöden mellan skog och industri (Biometria, u.å.), och skalades sedan upp procentuellt för att matcha Energimyndighetens siffror för förbrukning av grot 2020. Uppskalningen är nödvändig då Biometria endast innehar data för cirka 75% av groten som plockas ut i Sverige. Potentialen för grotuttag motsvarar den volym grot som praktiskt och hållbart kan tas ut årligen. Volymen baseras på beräkningar från Skogsstyrelsens Skogliga konsekvensanalyser 2015 (SKA15) och inkluderar endast grot från slutavverkning på produktiv skogsmark. Vidare gör Skogforsk antagandet att endast 70% av groten lämnar skogen och att resterande 30% samt 50% av barren lämnas kvar. Skillnaden mellan den beräknade potentialen och det faktiska uttaget av grot utgör sedan det resulterande överskott av grot som bedöms finnas kvar i de svenska skogarna. Beräkningarna görs för hela Sverige uppdelat i län, med viss modifikation. Vissa län med liknande förhållanden och förutsättningar slås ihop medan län med olika förutsättningar delas upp. I Figur 2 illustreras Skogforsks resultat för de tre delarna uttag, potential och överskott (Parklund, 2023).



(a) Faktiskt grotuttag 2020, totalt 7 384 GWh.

(b) Beräknad potential för grotuttag 2020, totalt 21 120 GWh.

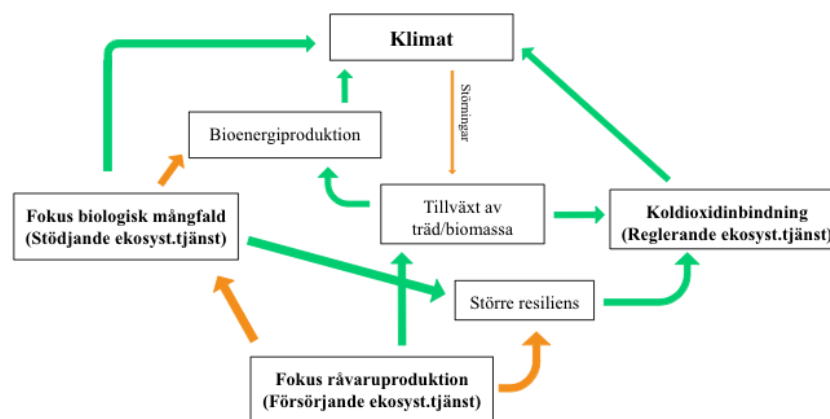
(c) Resultande överskott av grot 2020, totalt 13 736 GWh.

Figur 2: Geografisk fördelning av faktiskt uttag, potential, samt överskott av grot år 2020 i svenska skogar. Källa: Parklund (2023). Publicerad med tillstånd av Parklund (2023) och Skogforsk.

Skogforsk kommer fram till att det totala faktiska grotuttaget 2020 var 7 384 GWh med störst uttag i mellersta och södra Sverige (Figur 2a). Samtidigt bedöms det potentiella grotuttaget för 2020 uppgå till hela 21 120 GWh med störst potential i landets mellersta och norra delar (Figur 2b). Detta ger ett överskott på cirka 13 736 GWh grot år 2020 där de största volymerna återfinns i mellersta och norra Sverige (Figur 2c). Resultatet visar också på väldigt stora regionala skillnader för samtliga tre delar. Två anledningar till att överskottet är så stort i mellersta och norra Sverige är en lägre förekomst av kraftvärmeverk, d.v.s. en lägre efterfrågan på grot, samt de långa sträckor som groten måste transporteras före användning vilket gör uttaget mindre ekonomiskt lönsamt (Fernandez Lacruz m. fl., 2023). I rapporten *Marginalkostnadskurvor för skoglig biomassa* från Skogforsk dras slutsatsen att det finns gott om utrymme för ett ökat grotuttag som kan levereras till konkurrenskraftiga priser i Norrland och övre Svealand men för att realisera ett ökat uttag av grot i de regioner med störst potential krävs investeringar i infrastruktur och effektiviseringar av arbetsprocesserna för att minska marginalpriskostnaden av groten (Fernandez Lacruz m. fl., 2023). Parklund (2023) visar på att endast 1% av grotpotentialen utnyttjas i norra Norrland, motsvarande siffra var 7% i södra Norrland, 48% i Svealand och för Götaland ligger utnyttjad grotpotential på 83%.

4 Litteraturstudie - Miljöpåverkan

Sambandet mellan skogsbruk, energiproduktion och klimatpåverkan är komplext. Skogens roll i att motverka klimatförändringar är dubbel, med behovet av tillväxt för ökad koldioxidinbindning samt behovet av avverkning för nyttjandet av mer förnybara resurser. Att balansera dessa behov samtidigt som den tredje faktorn biologisk mångfald, ska tas i beaktande utgör grunden för den målkonflikt som presenterats tidigare i rapporten. Valet av skogsskötselmetoder har stor och direkt påverkan på vilken del av skogens multifunktionalitet som prioriteras och därmed även vilken klimat- och miljöpåverkan som uppstår från skogsbruket (Jönsson m. fl., 2021). I Figur 3 görs ett försök till att illustrera de komplexa sambanden mellan skogsbruksmetoder och olika ekosystemtjänster. Fokus på råvaruproduktion har negativ påverkan på biologisk mångfald och skogens resiliens då produktionsmetoderna skapar mer enskiktade skogar med låg artvariation. Produktionen gynnar dock tillväxten av biomassa vilket i sin tur ger mer koldioxidinbindning samt bränsle till bioenergiproduktion vilka båda är positivt för klimatet då det minskar mängden koldioxid i atmosfären. Fokus på biologisk mångfald har positiv påverkan på klimatet både direkt via skyddet av viktiga ekosystem som hjälper till att hantera klimatförändringar, och indirekt genom ökad resiliens i skogssystemet vilket i sin tur ger en ökad koldioxidinbindning i skogen (Naturvårdsverket, 2023). Den orangea pilen från rutan ”Klimat” representerar den negativa påverkan klimatrelaterade störningar har på tillväxten i skogen och en fortsatt stigning av medeltemperaturen förväntas leda till en ökad frekvens av just klimatrelaterade störningar (Jönsson m. fl., 2021).



Figur 3: Samband mellan skogsbruk, energiproduktion, ekosystemtjänster samt klimat. Orangea pilar visar negativ påverkan medan gröna pilar visar positiv påverkan.

Frågan om användning av grot och avverkningsrester till energiproduktion är omdiskuterad och det är framförallt definitionen av hållbart primärt skogsbränsle som skapar åsiktsskillnader. Just miljöpåverkan från att plocka ut groten ur skogen är en stor faktor i denna diskussion och forskning kring detta utvecklas hela tiden. Detta avsnitt tar upp tre miljömässiga aspekter; skogens förmåga att binda koldioxid och agera kolsänka, markens långsiktiga produktivitet, samt skogens förmåga att bidra med ytterligare ekosystemtjänster som biologisk mångfald, och sammanställer dagens kunskapsläge för hur uttag av grot kan påverka dessa aspekter.

4.1 Skogens förmåga att binda koldioxid & agera kolsänka

En viktig del av klimatarbetet att minska mängden växthusgaser i atmosfären är inbindning av koldioxid i så kallade kolpooler, eller kolförråd. För skogen finns det fyra olika kolpooler; levande träd, dött organiskt material, markkol (i mineraljordar och organogena jordar), samt övriga utsläpp (bränder, gödsling etc), där upptag och utsläpp av kol i form av koldioxid kan ske (Naturvårdsverket, 2024a). Grot ingår i dött organiskt material och bidrar till att den poolen ökar efter avverkningar. Sveriges största kolförråd finns i torv- och våtmarker och över hälften av all lagrad kol återfinns i marken (Bruun, 2021). Specifikt mineraljord i Sverige har haft ett nettoupptag på drygt 20 miljoner ton CO₂-ekvivalenter per år de senaste åren, jämfört med levande träd som år 2023 hade ett nettoupptag på knappt 4 miljoner ton CO₂-ekvivalenter. Som kolförråd beräknas levande biomassa i skogen lagra drygt 1200 miljoner ton kol och det är denna kolpool, tillsammans med våtmarker, som anses ha störst potential att öka för att ytterligare minska mängden kol i atmosfären (Bruun, 2021). Skogens tillväxt i Sverige har historiskt sett alltid varit högre än avverkning och naturlig avgång, tillsammans total avgång, vilket har lett till en uppbyggnad av kolförrådet (Naturvårdsverket, 2024c). För drygt 10 år sedan började skillnaden mellan tillväxt och total avgång successivt minska och 2019 var skillnaden endast cirka 2 miljoner skogskubikmeter, det minsta värdet registrerat sedan tidigt 70-tal. Data från senare år tyder dock på att trenden nu vänts och att tillväxten igen börjat öka efter några år med försämrade tillväxtförhållanden. Den totala kolsänkan i skogen beror till stor del på vilka skogsskötselmetoder som används där längre generationstid, fler avsättningar, samt mer formellt skyddad skog genererar en större kolsänka (Bruun, 2021).

Att ta ut grot från avverkningsområden kan påverka skogens kolbalans på flera sätt och vilket tidsperspektiv man tittar på är ofta en avgörande faktor för resultatet. Om grot lämnas kvar på hygget bryts kolet ned långsamt och frigörs till atmosfären under en längre tid medan om grot plockas ut och används som skogsbränsle i kraftvärmeverk så frigörs koldioxiden direkt vid förbränningen (de Jong m. fl., 2013). Skillnaden i tid för koldioxidutsläppen gör att grotens klimatnytta som skogsbränsle kan variera, beroende på vilken tidsram man sätter för beräkningarna. För grot tar det upp till 20 år innan utsläppen från den direkta förbränningen balanserats upp av motsvarande uteblivna utsläpp från den naturliga nedbrytningen. Även systemperspektivet påverkar vilka slutsatser man kommer fram till gällande kolbalans och klimatnytta (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Om systemet endast inkluderar ett enskiktat bestånd som slutavverkas uppstår en kolskuld som tar decennier att betala tillbaka under uppväxten av den nya trädgenerationen. Skulle systemet istället vidgas och inkludera en större mängd bestånd av olika åldrar över ett större område kommer kolskulden aldrig att uppstå så länge tillväxten är högre än avverkningen inom systemet. Vidare kan uttag av grot även påverka kolinbindningen för nästa trädgeneration genom att tillväxten minskar jämfört med om grot lämnas kvar (Skogsstyrelsen m. fl., 2020).

4.1.1 Kolbalans i systemet

Den vetenskapliga litteraturen inom skogens klimatnytta och biomassaanvändningens hållbarhet saknar konsensus när det kommer till systemets resulterande kolbalans (Cowie m. fl., 2021; Strengers m. fl., 2024). Till stor del beror detta på skillnader i bedömningsmetoder, användningen av samma begrepp men med olika definitioner, och faktumet att det finns stora variationer mellan de undersökta skogarna gällande t.ex. art- och åldersfördelning, tillväxttakt, skogarnas tillstånd, naturliga störningar, och skogsbruksmetoder (Strengers m. fl., 2024). De skiftande resultaten försvårar för beslutstagare som politiker att utveckla ett allmänt accepterat ramverk för användningen av biomassa och bristen på konsensus, tillsammans med motsägelse-

fulla påståenden från olika intressegrupper, riskerar att underminera forskningens trovärdighet. Detta utgör flera risker, antingen riskerar biomassan att inte användas till sin fulla potential i omställningen till ett mer koldioxidneutralt samhälle, eller så riskerar användningen av den att öka utan hänsyn till natur och biologisk mångfald vilket kan motverka hållbar utveckling. Tillgängligheten till objektiva och rättvisande tolkningar av forskningen är därmed av största vikt för att öka förståelsen hos både beslutsfattare och allmänheten och fortsätta utvecklingen av en hållbar biomassaanvändning utifrån ett koldioxidperspektiv. (Strengers m. fl., 2024)

För att kvantifiera, tolka och beskriva skogen samt biomassans roll i systemets kolbalans används ofta begreppen *koldioxidskuld*, *koldioxidvinst* och *koldioxidneutralitet* (Strengers m. fl., 2024). Dessa situationer uppstår inte slumpmässigt utan är ett resultat av ett antal identifierbara faktorer, inklusive mängden skördad biomassa i förhållande till tillväxttakt, skogsbruksmetoderna som används, samt biomassans användning. Strengers m. fl. (2024) definierar *koldioxidneutralitet* som ”situationer där produktionen av biomassa från skogar för trävaror och bioenergi resulterar i noll eller försumbara nettoutsläpp av CO₂ till atmosfären, när hela livscykeln för skogstillväxt (och återväxt) samt avverkning och konsumtion av biomassa beaktas”. Men det går längre än bara själva nettoutsläppen av koldioxid, för att användningen av biomassa ska kunna klassas som koldioxidneutralt anser Strengers m. fl. (2024) att alla följande villkor ska vara uppfyllda.

- Mängden biomassa som tas ut från skogen är stabil över tid, förutsatt att faktorer som t.ex. ojämn åldersfördelning mellan träd/bestand inte är en begränsad faktor för avverkningen.
- Mängden biomassa som tas ut överskrider inte återväxten av ny biomassa.
- De skogsbruksmetoder som används i biomassaproduktionen är konstanta över tid, t.ex. samma nivåer av gallring och rotationsålder.
- Biomassan används på samma sätt som tidigare, d.v.s. att biomassa inte omfördelas från materialproduktion till bioenergiproduktion.

I praktiken är det i princip omöjligt att uppnå perfekt koldioxidneutralitet då både uttagmängder och skogsbruksmetoder varierar över tid. *Koldioxidskuld* är när netto-emissionerna av biogen koldioxid ökar, d.v.s. mer koldioxid släpps ut från systemet än vad som binds in, och *koldioxidvinst* är när netto-emissionerna minskar (mer koldioxid inlagras än vad som släpps ut). Vid perfekt kolbalans i systemet sker lika stor kolinlagring i skogen som kolutsläpp från användning av biomassa över tid. Över en kortare tidsskala eller i en mindre del av systemet kan det finnas lokala koldioxidkulder men dessa betalas tillbaka med koldioxidvinster i andra delar eller vid andra tidpunkter för att på lång sikt jämma ut varandra. (Strengers m. fl., 2024)

Vid en förnygringsavverkning (slutavverkning) påverkas markens kollager. Initialt ökar kolförrådet i marken när rötter, stubbar och avverkningsrester som lämnas kvar ökar mängden förna i området (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Förna är lagret högst upp, ovanpå marken, och består av döda men ej fullt nedbrutna växtdelar samt annat organiskt material (Wikipedia contributors, 2024). Efter den initiala ökningen följer en period då markens kolförråd sjunker, speciellt i bördiga marker (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Minskningen i kolförrådet tros bero på att plant- och ungskofsfaserna genererar ett lågt förnafall jämfört med äldre skog och marken förses då med en mindre mängd material som bryts ned. Även uttag av grot nämns som en trolig bidragande orsak till en större minskning i markens kolförråd efter avverkning i rapporten från Skogsstyrelsen. Att öka grotuttaget skulle därmed sannolikt innebära en minskning av kolinbindning i Sveriges skogsmarker, speciellt på kort sikt enligt rapportens resonemang. (Skogsstyrelsen m. fl., 2020)

I syntesrapporten gällande konsekvenser av ökat uttag utav skogsbränslen från Energimyndigheten beskrivs det hur modellsimuleringar visat att så fort kolbalansen skalas upp från beståndsnivå till landskapsnivå så ändras grotuttagets påverkan från en negativ till en positiv effekt (de Jong m. fl., 2013). Resultatet förändras efter uppskalningen på grund av tre faktorer. När man fokuserar på landskapsnivå inkluderas bestånd i alla åldrar och utvecklingsfaser vilket gör att kolutsläpp från skog och mark efter avverkning och grotuttag kompenseras av kolinbindning av bestånden i fasen där de växer mest. Den andra faktorn är att det i landskapet finns bestånd där grot lämnats kvar och agerar kolsänka under tiden som den naturliga nedbrytningen sker. Tredje faktorn är att substitution av fossila bränslen med groten inkluderas. Författarna konstaterar att kolmängden i den uttagna biomassan, i detta fall grot, är betydligt större än den lokala kolförlusten i marken som sker vid uttaget. Det innebär att om den uttagna groten används på ett effektivt sätt, t.ex som substitut för fossila bränslen, så erhålls snabbt en positiv effekt på koldioxidbalansen. Detta styrker ytterligare det faktum att systemperspektivet är en viktig faktor vid analys av skog och biomassa. Rapportförfattarna betonar också i samband med detta avsnitt att den långsiktiga produktiviteten och framtida kolinlagring inte inkluderats i simuleringarna och att det utgör en osäkerhet i resultaten. (de Jong m. fl., 2013)

4.1.2 Alternativ lagring och koldioxidbesparing

Inbunden koldioxid behöver inte bara lagras i levande träd eller mark utan kan även lagras i olika produkter som producerats av biomassan (Bruun, 2021). Långlivade produkter som hus, möbler och träkonstruktioner lagrar kolet under hela sin livstid och kan utgöra ett betydande kolförråd allt eftersom användningen av trä i t.ex byggnader ökar. Biomassa används även för kortlivade produkter som papper, wellpapp och hygienprodukter. I det fallet sker kollagringen under en mycket kortare tid och vid förbränning av produkterna återförs kolatomerna till atmosfären igen. Därför är kaskadprincipen en viktig faktor som påverkar tidsperspektivet för kolförrådet i kortlivade produkter. Om materialet kan återanvändas, återbrukas och återvinnas innan det går till förbränning och energiproduktion minskar behovet av jungfruliga fibrer och livslängden på kolförrådet förlängs. (Bruun, 2021)

Vid substitution med biobaserade produkter kan det vara svårt att få en tydlig bild vad som är bättre respektive sämre ur klimatsynpunkt då resultaten varierar beroende på vilka faktorer som inkluderas. Förbränning av biomassa släpper ut mer koldioxid per producerad energienhet än fossila bränslen vilket kan ses som negativt men kretsloppen för de olika kolkällorna har väsentliga skillnader som påverkar analysens resultat (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Man brukar dela upp koldioxiden baserat på dess ursprung i två kategorier; biogen koldioxid från biomassa och organiskt avfall, samt fossil koldioxid från produkter som baserats på olja, kol och naturgas (Cowie m. fl., 2021). Förbränning av fossila bränslen i fordon och kraftproduktion tillför mer och mer fossil koldioxid som varit lagrad i jorden i miljontals år till atmosfären i en enkelriktad process. Vid förbränning av biomassa är processen istället cirkulär och kan ses som ett utbyte av kol mellan atmosfären och biomassan i det biogena kolets kretslopp. Att stoppa användningen av primära skogsbränslen i bränsle- och kraftproduktion hade dessutom inte stoppat utsläppen från biomassan (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Under den naturliga nedbrytningen av den kvarlämnade biomassan i skogen släpps biogen koldioxid ut till atmosfären vilket skulle innebära utsläpp från dubbla källor om inte substitution tillämpades. Det är därmed bättre, utifrån det totala systemets kolbalans, att utnyttja det primära skogsbränsle som produceras vid avverkningar till att substituera fossila produkter än att låta det ligga kvar i skogen. Denna slutsats fastställs även av Ortiz m. fl. (2014) som studerade sambandet mellan grotuttag och kolbalanser.

4.1.3 Skogsbruksmetoder påverkar kolbalansen

Valet av skogsbruksmetoder påverkar tillväxten och produktiviteten i skogen vilket vidare påverkar tillgången till primärt skogsbränsle och kolbalansen. Blädningsbruk (hyggesfritt skogsbruk) i fullskiktad, grandominerad skog ger i genomsnitt 10-20% lägre skogstillväxt per arealenhet än konventionellt trakthyggesbruk (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Ska enskiktade skogar ställas om till blädningsbruk förväntas tillväxtminskningen vara uppemot 50% över de första 30-50 åren som utgör omställningsfasen. Forskning kring detta visar att om 10% av den brukade skogen idag skulle ställas om till blädningsbruk så minskar virkesproduktionen med 2% vilket motsvarar ett minskat upptag av nästan 3,4 miljoner ton koldioxid per år (Björheden, 2019). Om 30% skulle omställas till blädningsbruk blir den motsvarande tillväxtminskningen 5-6 % och produktionen av massaved samt primärt skogsbränsle skulle bli avsevärt lägre. Trakthyggesbruket möjliggör också ett enklare och mer ekonomiskt gynnsamt uttag av grot vilket ytterligare förenklar substitutionen av fossila bränslen och minskningen av atmosfärsik koldioxid (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). I en analys av Lundmark (2017) jämfördes klimatnyttan, sett till summan av kolförrådets förändring och substitutionseffekten, d.v.s klimatnyttan av att ersätta fossila produkter med träbaserade råvaror, för de två skogsbruksmetoderna. Analysen fastställde att trakthyggesbruket har cirka 50% högre långsiktig klimatnytta än blädningsbruket, vilket till stor del bedömdes bero på den högre tillväxten och ökade substitutionen till följd av grotuttag.

4.2 Markens långsiktiga produktivitet

Det är i ett långsiktigt perspektiv mycket viktigt att ta hänsyn till markens produktivitet när man tittar på uttag av primära skogsbränslen och hur det kan påverka tillväxten (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Studier visar på att det är skogens nettotillväxt som avgör hur stor klimatnyttan på lång sikt kan bli då en ökad tillväxt innebär mer inbunden koldioxid i trädbiomassa som kan användas för lagring samt substitution. Att värna om markens långsiktiga produktivitet är även en del av Sveriges miljömål genom Generationsmålet, vars syfte är att säkerställa att det till nästkommande generationer lämnas över ett samhälle utan större miljöproblem (Sveriges miljömål, 2023).

Grotuttag minskar näringsåterföring till marken och nästa trädgeneration. Det är speciellt förlusten av kväve som anses vara den största orsaken till tillväxtminskning efter grotuttag då kväve oftast är det begränsande ämnet i boreala skogar (de Jong m. fl., 2013; Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Det är framförallt bortförsl av barr, vilka innehåller mycket näring och kväve, som bidrar till näringsförlusterna och det är därför ofta bättre för markens näringsinnehåll om groten får torka och barra av sig på hygget och inte i större högar vid uppsamlingsplatser. Kväveförluster på upp till 300-400 kg kväve per hektar vid grotuttag efter föryngringsavverkningar har påvisats i studier men förlusterna bedöms bli lägre i det praktiska skogsbruket då delar av groten alltid blir kvar på hygget (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Denna effekt har olika konsekvenser för olika typer av marker och kan anses mer kritisk i landets norra delar. Svealand och Norrland har, både i nutid och historiskt, haft ett lägre atmosfärsikt kvävenedfall än landets södra och sydvästra delar, vilket lett till kvävefattigare marker (Sveriges Miljömål, u.å.). I dessa områden har kväveförlusterna vid grotuttag större negativ effekt då förlusterna blir större än det naturliga tillskottet av kväve och begränsar tillväxten (Skogsstyrelsen, 2019a). I de södra och sydvästra delarna av Sverige kan kväveförlusten vid grotuttag istället få en positiv effekt då det minskar tillgången till kväve och således minskar även kväveutlakning som kan leda till försurning, övergödning samt förorening av yt- och grundvatten (Skogsstyrelsen, 2019a; Skogsstyrelsen, 2019b).

4.2.1 Tillväxtpåverkan

I en studie av Jacobson m. fl. (2016a) undersöktes hur tillväxten påverkades hos granplantor efter slutavverkning om grot lämnades kvar på hygget (stamskörd) eller plockades ut (helträdsskörd) vid två försöksytor. Resultaten från mätningarna visar att tillväxten hos plantorna påverkas negativt om grot tas ut från hygget efter avverkning. Jämfört med stamskörd resulterade helträdsskörden i en halvering i volymtillväxt hos plantorna efter 10 år vilket beräknas motsvara ungefär 1 års tillväxt eller 2% av den totala tillväxten under trädens livstid. Studien visade även att tillväxten hos plantorna är likvärdig oavsett om groten är jämnt utspridd över hygget eller lagd i mindre högar, så länge den lämnas kvar någonstans på hygget. Även i detta fall bedöms tillväxtminskningen bero på bortförsel av viktiga näringsämnen, inklusive kväve och fosfor, men även förlusten av skydd och förändring av mikroklimat runt plantorna som ett resultat av grotuttaget. Kvarlämnad grot kan förse plantorna med skydd vid hård vind och extremt väder, minska fluktuationer i marktemperaturen, minska vattenförlust från evatranspiration, samt skydda plantorna från frostsador och dämpa tillväxten av konkurrerande vegetation vilket bidrar till en ökad tillväxt hos de unga plantorna. (Jacobson m. fl., 2016a)

Nyligen publicerade Mäkinen och Smolander (2025) en studie där man undersökt hur grotuttag påverkar skogens långsiktiga produktivitet samt markens kol och kväve-nivåer i tall- och granplanteringar i Finland. Studien är en fortsättning av Smolander m. fl. (2015) som undersökt samma parametrar tio år efter förnygringsavverkning där försökstiden nu förlängts till 20 – 21 år efter förnygringsavverkning. Mäkinen och Smolander (2025) jämför tre olika skogsbruksmetoder för att fastställa påverkan på tillväxt; helträdsskörd (R0), stamskörd (R1), samt stamskörd med dubbel mängd grot kvarlämnad (R2). Dubblingen av grot i R2-ytorerna erhöles genom att sprida ut grot från motsvarande R0-tytor. Samtliga försök utfördes på fyra ytor vardera i en fullt slumpmässig blockdesign med ytor på 8x8 m. Resultaten visar att uttag av grot vid förnygringsavverkning leder till långsiktig tillväxtminskning i granbestånd trots att tillväxtskillnaderna var mycket små under de första tio åren som Smolander m. fl. (2015) observerat. Tillväxtminskningen inkluderade både mindre stamdiameter och kortare individer i granplanteringarna där grot tagits ut. Dock visade dubblingen i kvarlämnad grot (R2) ingen ökning av tillväxten jämfört med normal mängd grot (R1). Effekterna på tillväxten visade sig endast i försöken med gran, inga signifikanta skillnader registrerades i tallplanteringarna. En möjlig förklaring till skillnaderna mellan trädslagen är den lägre mängden grot som bildas i tallskogar vilket innebär ett lägre uttag och därmed lägre näringsförluster (Mäkinen & Smolander, 2025). Gällande markens kol- och kväve-nivåer i humuslagret visade resultaten inte på någon klar trend efter förnygringsavverkning men ett tjockare humuslager observerades på försöksytorna där grot lämnats kvar. Författarna poängterar dock att tidigare studier har påvisat att grotuttag påverkar mark-kemin vilket kan ha betydelse för markens bördighet och därmed även dess produktivitet. Vidare understryker Mäkinen och Smolander (2025) att studiens grotuttag inte är fullt representativt av de nordiska skogsbruksmetoderna som alltid måste lämna kvar en viss andel grot (30% i Finland, 20% i Sverige) vilket inte gjordes i studien.

I en annan studie, utförd i Norge, tog forskarna hänsyn till att all grot inte plockas ut i standardpraxis och undersökte tillväxteffekter samt skadeangrepp från snytbagge vid grotuttag (Hanssen m. fl., 2017). Även i detta fall resulterade mätningarna i att grotuttag har en negativ påverkan på näringsbalansen i marken, trots att nästan en tredjedel av groten lämnats kvar vid helträdsskörden. Mängden kväve som förts bort med groten låg på mellan 169 – 134 kg/ha vilket ungefär motsvarar en vanlig gödslingsdos. Hanssen m. fl. (2017) beskriver också att de observerat att endast en liten del av barren verkligen trillar av grenarna i uppläggningshögarna under torkningsperioden, motsatt till vad som antagits tidigare, och att det är en starkt bidragande faktor till kväveförlusterna. Studien pågick i tre år efter nyplantering av granplantor efter förnygringsavverkning

året tidigare och delade in försökytorna i tre kategorier; ytor med jämt lager av grot (stamskörd), ytor med högar av grot från helträdsskörd som plockats ut före plantering (WTH-1), samt ytor utan någon grot, lokaliserade mellan grothögarna (WTH-0). Ingen signifikant skillnad i tillväxt kunde observeras mellan ytorna med stamskörd respektive helträdsskörd efter de tre åren, däremot hade plantorna inom WTH-1 en bättre diametertillväxt jämfört med plantorna i WTH-0. Eftersom nedbrytningen av de kväverika barren går relativt snabbt bör groten i WTH-1 tillgängliggjort mer kväve till plantorna under de första åren vilket kan förklara den större diametern. Att inte samma resultat observerades i stamskördytorna kan bero på att groten där var mycket mer utspridd och att en större andel av groten bestod av grövre grenar och toppar. Ett mycket tydligt resultat i studien var hur kvarlämnad grot motverkar tillväxten av konkurrerande vegetation (Hanssen m. fl., 2017). Groten minskade uppväxten av gräset Kruståtel och sänkte även jordtemperaturen under delar av året vilket är fördelaktigt. Författarna drar slutsatsen att inga exakta långsiktiga effekter kan konstateras på grund av studiens relativt korta tidsram och nämner att tidigare forskningsresultat visar på kortsiktigt negativa förhållanden efter grotuttag medan de långsiktiga effekterna är mer tvetydiga.

Enligt Egnell (2011) bör tillväxtminskningen som orsakas av grotuttag inte ses som en permanent sänkning av skogsmarkens långsiktiga produktivitet utan som en tillfällig effekt på tillväxten som kan motverkas. Egnell (2011) visar att grundytan (tvärsnittsarean vid 1,3 m höjd för träden i beståndet) minskade med 3,7 m²/ha vid helträdsskörd 31 år efter plantering jämfört med stamskörd på grund av en sänkning av områdets produktivitet under åren 8 – 12 år efter plantering. Genom att jämföra barrenns kväveinnehåll kunde slutsatsen att tillväxtminskningen berodde på kväveförlust dras och att om barr lämnas kvar på hygget vid grotuttag så kan delar av kväveförlusten och den efterföljande tillväxtminskningen reduceras (Egnell, 2011).

4.2.2 Skadeangrepps påverkan

Att ta hänsyn till hur grotuttag kan påverka andel skadeangrepp är också en viktig faktor i skogens långsiktiga produktivitet som Hanssen m. fl. (2017) belyser i sin studie. Snytbaggen är en skadeinsekt, ungefär 8 – 14 mm stor, som gnager av barken på plantorna och orsakar stora skador på hyggen runt om i Sverige varje år (Skogskunskap, 2024b). Snytbaggen attraheras till hyggen via doften från färsk stubbar och grenar vilken gradvis minskar allteftersom träddelarna torkar (Hanssen m. fl., 2017). Det innebär att områden med sparade högar av grot är mer troliga att locka till sig snytbaggar än områden helt utan grot eller jämnt utspridd grot eftersom doften blir mer koncentrerad från högarna och torkningen sker långsammare. Tidigare studier har dock visat att kvarlämnad grot kan fungera som en alternativ födokälla för snytbaggen under plantornas första tillväxtår vilket minskar skadorna på plantorna. Resultatet för Hanssen m. fl. (2017) var att ytorna med helträdsskörd (WTH) erhöll en större mängd skador än ytorna med stamskörd. Det fanns dock skillnader mellan WTH-1 (ytor med högar av grot som plockas ut före plantering) och WTH-0 (ytor utan någon grot) där det i den sistnämnda observerades en större andel dödliga skador. Den högre överlevnadsprocenten i WTH-1 tros bero på de bättre näringsförhållandena som bidragit till plantornas återhämtning efter skadeangreppet. Jacobson m. fl. (2016a) inkluderar också en liten del om påverkan av grotuttag på skadeangrepp från snytbagge men i motsats till Hanssen m. fl. (2017) kunde inga skillnader mellan de olika metoderna för grot-hantering identifieras. Hanssen m. fl. (2017) poängterar att eftersom stamskördsytorna låg i direkt anslutning till WTH-ytorna är det inte möjligt att avgöra om helträdsskörden med grotuttag faktiskt ökade snyttbaggeangreppen eller bara skapade småskaliga variationer i populationen inom hygget utan vidare forskning på större skala. Det ska också poängteras att Jacobson m. fl. (2016a) använde sig av markberedning i sin studie vilket Hanssen m. fl. (2017) inte gjorde, vilket kan vara en orsak till de olika resultaten. Enligt Luoranen och Viiri (2012) minskar risken för skadeangrepp från snytbagge om planteringsytan först markbereds.



Figur 4: Snytbagge (*Hylobius abietus*). Foto: Claes Hellqvist, Källa: Skogskunskap (2024b). Publicerad med tillstånd.

4.2.3 Åtgärder mot tillväxtminskning

Tillväxtminskningen som påvisats hos plantor efter grotuttag kan motverkas med skogsbruksåtgärder. Det är fastställt att den mest begränsade faktor för tillväxt för barrträd på fastmark är växttillgängligt kväve vilket gör kvävegödsling till en effektiv åtgärd för att främja tillväxten (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Den ökade tillgången till näring efter skogsgödsling gör att träden kan producera mer barr vilket ökar möjligheten till fotosyntes och koldioxidupptag som i sin tur leder till ökad tillväxt. De gynnsamma förhållandena efter skogsgödsling varar så länge som den ökade barrmassan finns kvar på träden vilket brukar vara i drygt 10 år. När den ökade barrmassan sedan återgår till nivån före gödsling ebbat effekterna av gödslingen ut. En engångsgödsling med kväve på 150 kg per hektar i en medelålders eller gammal skog har visat sig resultera i en tillväxtökning på 13 – 20 skogskubikmeter per hektar under en 6 – 10 års period. Det motsvarar ungefär 2 års tillväxt i Götaland baserat på en medelbonitet (tillväxt i skogskubikmeter per hektar per år) på 8,6 m³sk/ha/år (Skogskunskap, 2024a).

Kvävegödsling är inte tillåtet på marker som redan har en högre kvävehalt då det riskerar leda till försurning av vatten och mark, samt kväveutlakning och förhöja kvävehalter i yt- och grundvatten (Skogsstyrelsen, 2023b). I Skogsvårdslagen (SFS 1979:429) delar man in landet i fyra områden för riktlinjer kring kvävegödsling. I område 1, som inkluderar Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län, samt delar av Kalmar, Kronobergs, Jönköpings och Västra Götalands län, är kvävegödsling inte tillåtet på grund av ovan nämnda risker. I övriga områden är kvävegödsling tillåtet men mängden är reglerad för att minimera riskerna. Ju längre norrut i landet man kommer desto kvävefattigare blir markerna och desto större mängd kvävegödsling får användas i skogsbruket. Utöver den geografiska regleringen finns det även riktlinjer kring skyddszoner och marktyper som ej bör gödslas, oavsett vilket område de är lokaliserade i.

Askåterföring är ytterligare en skogsbruksåtgärd som ibland kan användas för att motverka tillväxtminskning efter grotuttag (Skogsstyrelsen m. fl., 2020; de Jong m. fl., 2013; Bruun, 2021). Det innebär att aska från förbränning av rena skogsbränslen återförs till skogen. I första hand rekommenderas askåterföring för att motverka den markförsurningseffekt som kan uppstå efter grotuttag men åtgärden har även visat sig påverka tillväxten hos det nya beståndet (de Jong m. fl., 2013). Askåterföring är ett sätt att öka cirkulariteten i skogsindustrin och energisektorn samtidigt som man återför näringsämnen till skogen (Jacobson m. fl., 2016b). Det är dock av största vikt att askan är ren för att undvika kontaminering av ämnen som inte naturligt finns i skogen. Askans höga pH kan förändra omsättningen och tillgängligheten av kväve i marken men den innehåller inget kväve i sig själv då det avgår med rökgaserna vid förbränning av biomassan. I en studie

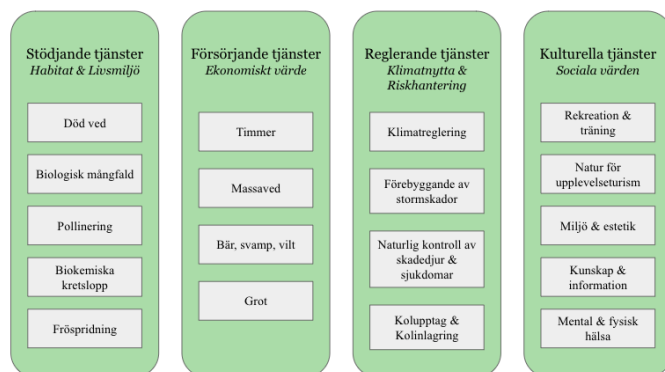
av Jacobson m. fl. (2016b) påvisades det att tillväxteffekterna av askåterföring varierar betydligt beroende på marktyp och bonitet. På bördiga marker med hög bonitet resulterade askåterföringen i en ökad tillväxt men på majoriteten av marktyperna kunde ingen nämnvärd effekt observeras och på de mer kvävefattiga fastmarkerna med låg bonitet erhöles istället en tillväxtminskning efter askåterföringen. Störst positiv effekt observerades då aska återfördes till torvmark. Askåterföringens effekt som åtgärd mot tillväxtminskning bör därmed analyseras på beståndsnivå för att minska risken för motsatt effekt. I Skogsstyrelsens regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag betonas betydelsen av askåterföring, se avsnitt 3.2.1 punkt 4, för att motverka näringsförlusterna förknippade med grotuttag (Skogsstyrelsen, 2019b). Utifrån detta är det sannolikt att ett långsiktigt hållbart grotuttag kommer medföra en ökning av askåterföring i Svenska skogar.

Att förlänga omloppstiden för den nästkommande trädgenerationen kan också motverka tillväxtminskningar efter grotuttag (Skogforsk, 2023a). Låter man träden växa ytterligare så många år som tillväxtminskningen beräknas motsvara kan nästkommande avverkning fortfarande ge lika stor volym som om groten lämnats kvar. Idag räknar man med att en ökning av omloppstiden ned 1 till 2 år är lagom för att motverka tillväxtminskningen.

4.3 Skogens förmåga att bidra med ytterligare ekosystemtjänster

Skogen bidrar med ett stort antal ekosystemtjänster som är viktiga för människan men balansen mellan samtliga kan vara svår och människans brukande av skogen har stor påverkan på vilka tjänster som faktiskt genereras (Skogsstyrelsen, 2018). Det finns fyra typer av ekosystemtjänster; försörjande, reglerande, kulturella, samt stödjande, som i många fall beror på och överlappar med varandra. De försörjande tjänsterna är enklare att mäta och värdera då de bidrar med fysiska produkter som timmer, massaved och svamp, medan de övriga tre typerna är svårare då de bidrar med mer indirekta eller icke fysiska tjänster. Exempel på sådana tjänster är bidrag till fysisk och mental

hälsa via rekreation, vilket är en kulturell ekosystemtjänst, kolinbindning och förebyggande av stormskador (reglerande tjänster), samt livsmiljöer, pollinering och biologisk mångfald som utgör en viktig del av de stödjande tjänsterna. Svårigheten med att på ett jämnt och oberoende sätt värdera olika ekosystemtjänster har bidragit till att tjänster som kan ge ekonomisk vinning har prioriterats, till viss del på bekostnad av andra tjänster. Idag är kunskapen kring förhållandena mellan olika tjänster, hur de samverkar med varandra, samt människans påverkan på dem större. Till exempel främjar olika skogsbruksmetoder vissa typer av tjänster och hämmar andra. Detta är en anledning till dagens diskussioner om förändringar i styrmedel och skogspraxis för att försöka säkerställa att skogen långsiktigt kan bidra med en mängd olika ekosystemtjänster. (Skogsstyrelsen, 2018)



Figur 5: Representativt urval av ekosystemtjänster som skogen kan bidra med. Skapad med inspiration av Jönsson m. fl., 2021

I Skogsstyrelsens rapport *Skogens ekosystemtjänster - status och påverkan* görs en statusbedömning på 30 olika ekosystemtjänster som skogen bidrar med (Skogsstyrelsen, 2018). Analysen visar att sju av dessa har otillräcklig status varav sex stycken är reglerande och stödjande tjänster. Det är framförallt de försörjande tjänsterna som bedöms ha en god status enligt rapporten men Skogsstyrelsen nämner också svårigheten med att kvantifiera och bedöma de kulturella tjänsternas status som därför genomgående erhållt statusen måttlig.

4.3.1 Grotuttagets påverkan

Uttag av grot för energiproduktion är en typ av försörjande ekosystemtjänst som uppkommer till följd av produktion utav andra försörjande tjänster som timmer och massaved. Vid uttaget uppkommer dock påverkan även på andra ekosystemtjänster som inte alltid kan antas positiv. Grot har, utöver kollagring och näringsåterföring, andra viktiga roller i ekosystemet, t.ex. kan groten användas av insekter som äggkläckningsplats, samt av fåglar och andra arter för att bygga bon (Camia m. fl., 2021). Påverkan från grotuttag på ekosystemtjänster är komplext och kan variera stort mellan olika områden men vissa generella följder har observerats.

4.3.1.1 Kulturella & reglerande tjänster

Många studier fokuserar enbart på hur grotuttag påverkar biologisk mångfald men i en syntes av Ranius m. fl. (2018) presenteras även möjlig påverkan på ett flertal reglerande, kulturella och andra stödjande ekosystemtjänster. Gällande den kulturella tjänsten rekreation fann Ranius m. fl. (2018) inga direkta analyser av grotuttagets påverkan men ansåg sig trots detta kunna dra några viktiga slutsatser utifrån generell kunskap om allmänhetens syn på grot. Kvarlämnad grot anses ofta bidra till en stökig och ovårdad bild av skogen och minskar även tillgängligheten för människorna (Ranius m. fl., 2018). Därmed kan grotuttag medföra en positiv effekt på rekreationella värden i en skog så länge uttaget görs med hänsyn till stigar och växtlighet för minsta möjliga visuella åverkan. Uttag av stubbar, som ej inkluderas i begreppet grot i denna rapport, har däremot visat sig ha en mer negativ inverkan på kulturella värden i skogen utifrån människors visuella landskapsuppskattning.

En reglerande tjänst som belyses i rapporten från Ranius m. fl. (2018) är naturlig kontroll av skadedjur och sjukdomar där analysen visar att grotuttag till viss del kan minska risken för spridningen av rotsvampar men inte utrota den. För skadeinsekter är det framförallt snytbaggen samt olika barkborrar som visat sig påverkas mest vid grotuttag. Konsekvenser för snytbaggen har presenterats tidigare i avsnitt 4.2.2 och Ranius m. fl. (2018) presenterar inget motsägande. För barkborrar visar analysen från Ranius m. fl. (2018) att grotuttaget med största sannolikhet inte bör innebära några stora direkta konsekvenser, dock har andra studier påvisat hur påverkan på biologisk mångfald kan ge efterföljande konsekvenser för resiliens mot skadeangrepp (Skogsstyrelsen m. fl., 2020).

4.3.1.2 Biologisk mångfald

Påverkan på biologisk mångfald från grotuttag är som sagt betydligt mer studerad än övriga ekosystemtjänster, vilket kan bero på att den ligger till grund för hela systemets välmående och därmed även produktionen av andra ekosystemtjänster. Enligt de Jong m. fl. (2017) är just biologisk mångfald en avgörande begränsande faktor för hur stort grotuttag som kan anses hållbart enligt svenska miljömål. Nedan presenteras olika samband mellan grotuttag och inverkan på biologisk mångfald samt mångfaldens relation till skogens välmående.

Att plocka ut grot förändrar den naturliga livsmiljön för många arter och om de ej klarar av att anpassa sig riskerar områdets artvariation att minska och biologisk mångfald förloras (Camia m. fl., 2021). Gällande förändring av levnadsmiljö är det framförallt minskningen av mängden, samt variationen, död ved som verkar negativt på biodiversiteten. Saproxylika organismer är arter som är beroende av död ved under delar eller hela sin livscykel (Cálix m. fl., 2018). De är livsnödvändiga för en stor del av skogens funktion och kretslopp då de bidrar till nedbrytningen samt återföringen av näringsämnen till jorden. Samtidigt är saproxylika organismer, framförallt skalbaggar, några av de mest hotade arterna i Europa på grund av minskningen av död ved i skogen. Vítková m. fl. (2018) har undersökt hur denna negativa påverkan från grotuttag kan motverkas med hjälp av skogsstrategier och drar slutsatsen att mångfald i typer av död ved samt lägen är nyckeln till bevarande av biodiversiteten vid avverkning och grotuttag. Solexponerad död ved gynnar saproxylika insekter och larver medan skuggiga och fuktiga lägen gynnar svampar och mossor, likaså skiljer sig arterna åt i stående respektive liggande död ved. Vidare poängteras även betydelsen av mångfald i nedbrytningsstadier, trädslag samt vedstorlek. (Vítková m. fl., 2018)

Låg biologisk mångfald har bl.a. visat sig göra skogen mer känslig för skadeangrepp från t.ex granbarkborren vilket är ett ypperligt exempel på hur olika ekosystemtjänster samverkar (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Flera av granbarkborrens naturliga fiender som hackspett och myrbagge gynnas av död ved och variation i landskapet vilket minskar på hyggen efter grotuttag. När grot lämnas kvar ökar inte bara mängden död ved utan även andelen fuktiga mikroklimat på hygget då groten minskar evatranspirationen (Jacobson m. fl., 2016a). Granbarkborren främjas av torra så kvarlämnad grot kan bidra till skogens ökade resiliens på flera sätt (Skogsstyrelsen m. fl., 2020). Eftersom skadeangrepp är kopplade till hela skogslandskapets resiliens och välmående gynnas skogsägare i sin helhet av att prioritera biologisk mångfald även i mindre bestånd under hela omloppstiden som ett sätt att förstärka skogens motståndskraft mot skadeangrepp.

Ett stort uttag av grot behöver dock inte direkt innebära en stor negativ påverkan på den biologiska mångfalden, utan det beror på vad som tas ut, var det tas ut samt hur det tas ut (de Jong m. fl., 2021). Till exempel har ett stort uttag av barrgrot liten negativ påverkan för biodiversitet medan även ett litet uttag av lövgrot kan ge upphov till stor negativ påverkan. Detta beror på att lövträd erbjuder fler mikrohabitat än barrträd vilket innebär en större mängd olika levnadsmiljöer som passar för ett större antal olika arter vilket gör lövträden mer värdefulla för biologisk mångfald (Vítková m. fl., 2018). En variation av trädarter bland de sparande grenar och topparna är fördelaktigt och delar från träd med längre nedbrytningstid, som ek, bör prioriteras att lämnas kvar på hygget. Dessutom bör grot och ved från ovanligare trädslag, speciellt ädellövträd, alltid lämnas kvar då de påvisats vara viktiga levnadssubstrat för flertalet rödlistade insekter samt svampar (de Jong m. fl., 2013).

Även storlek på träddelarna påverkar grotuttagets inverkan på biodiversiteten. Konsensus är att uttag av grövre träddelar har större negativ påverkan på både artantal och individantal jämfört med uttag av klenare grenar och toppar (Camia m. fl., 2021; Ranius m. fl., 2018; de Jong m. fl., 2017; de Jong m. fl., 2013). Majoriteten av de saproxylika arterna kräver material längre än 1 m och en minsta diameter på 7 cm för att trivas och den längre nedbrytningstiden av grövre material genererar även större variation i nedbrytningsstadier samt substrat under en längre tid vilket är gynnsamt (Camia m. fl., 2021). Det är inte bara små organismer som svampar och insekter som påverkas utan konsekvenserna sträcker sig även högre upp i näringskedjan. Fågelarter som är beroende av den strukturella mångfalden som grov död ved skapar för häckning samt av insekterna som lever där för föda riskerar att gradvis försvinna om inte grotuttaget anpassas.

Efter avverkning placeras ofta groten i högar, antingen utspridda på hygget eller i stora uppsamlingsplatser, se avsnitt 3.1.1, som riskerar förvandlas till ekologiska fällor för flertalet viktiga arter (Jönsson m. fl., 2021). Dessa högar utgör fördelaktiga habitat för saproxylika (vedlevande) arter som ofta använder substratet för fortplantning och äggkläckning. Om groten dock hinner transporteras bort från området innan kläckning så förloras den nya generationen och den biologiska mångfalden hotas. Även i detta fall är det framförallt grot från ädellövträd och asp som bedöms locka till sig flest olika arter och som utgör den största risken att verka som en ekologisk fälla (de Jong m. fl., 2013).

Även påverkan på växter i ekosystemet har påvisats i upp till 20 år efter grotuttag (Ranius m. fl., 2018). Uttaget frigör plats för etablering av ny växtlighet och ändrar markens egenskaper, som näringsinnehåll och fuktighet, vilket förändrar vilka arter som har bäst chans för etablering och överlevnad. Följaktligen påverkas ofta markvegetationens artsammansättning av grotuttaget åtminstone på kort sikt men påverkan på artrikedomen har inte kunnat bestämmas till varken positiv eller negativ. Andra studier har inte kunnat påvisa någon signifikant förändring i markvegetationen efter grotuttag och skillnaderna i resultat tros härstamma från variation i markförhållanden och markpåverkan som ibland är mer resilient mot förändringar (Ranius m. fl., 2018). Enligt de Jong m. fl. (2013) har inga resultat visat på att funktionella organismgrupper av växter eller markorganismer dör ut eller överetablerar sig lokalt efter grotuttag. Utifrån detta dras även slutsatsen att det är osannolikt att uttaget skulle resultera i förändringar av de ekosystemfunktioner som växt- och markorganismersamhällen upprätthåller på hyggen.

I dagens skogsbruk är grotuttag av det dominerade trädslaget gran vanligast. Detta är förankrat i forskning som visar att uttag av klena grandelar sällan utgör något betydande levnadssubstrat för rödlistade eller hotade arter, samt att de arter som kan finnas där ofta har ett brett spektrum av passande habitat som gör att de enkelt kan anpassa sig efter den nya levnadsmiljön som skapas efter ett grotuttag av gran (de Jong m. fl., 2017; de Jong m. fl., 2013). Således bör ett anpassat och omsorgsfullt utfört grott-uttag inte medföra någon större negativ inverkan på den lokala biodiversiteten.

Studerar man Skogsstyrelsens regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag, se avsnitt 3.2.1, ses tydligt hur dagens skogsbruk och dess metoder är anpassat efter vad forskningen påvisat. För att minimera negativ effekt på biologisk mångfald har man t.ex. restriktioner för maximalt uttagsandel och tidsfönster när uttaget får ske. Därtill regleras vilka typer av substrat som bör lämnas kvar och vilka som går bra att plocka ut. Samtliga riktlinjer inom området från Skogsstyrelsen är utformade i enlighet med vad forskningen dokumenterat orsakar lägst risk för negativ påverkan på biodiversiteten samtidigt som resursen grot kan nyttjas.

4.3.1.3 Modell för värdering av biologisk mångfald

År 2024 publicerade Anton Kvarnbäck sin examensuppsats med syftet att kvantifiera påverkan på biodiversitet från grotuttag ur ett livscykelanalys-perspektiv (LCA) samt ta fram en modell för att underlätta bedömningen av påverkan på biodiversitet och analysera hur en sådan modell kan vara av nytta för skogsägare och energiproducenter som använder sig av grot (Kvarnbäck, 2024). Arbetet innehåller en litteraturstudie samt intervjuer med fem experter inom skogsekologi som tillsammans identifierar fem kritiska faktorer som påverkar biologisk mångfald: gamla träd över 150 år, diversitet av ursprungliga trädarter, volym och diversitet av död ved, försurning, samt heterogena strukturer. De tre första faktorerna bedöms vara störst påverkbara med skogsbruksmetoder och omvandlas därför till åtta stycken mätbara skötselparametrar som kan implementeras i modellen. De resulterande skötselparametrarna är följande:

- Antal gamla träd [1/ha]

- Trädslagsdiversitet [1/ha]
- Exotiska arter [% av yta]
- Död ved klass 1 [m³/ha]
- Död ved klass 2 [m³/ha]
- Död ved klass 3 [m³/ha]
- Grov grot [m³/ha]
- Andel yta med uttag [% av avverkad yta].

Död ved klass 1 har en diameter större än 50 cm, klass 2 en diameter mellan 10 och 50 cm, och klass 3 är död ved under 10 cm i diameter. Samtliga parametrar i studien tilldelas sedan en viktningsfaktor och en effektkurva. Den färdiga modellen både granskas och godkänns av SLU-professorerna Jörg Brunet och Tomas Ranius innan den används i fallstudien. (Kvarnbäck, 2024)

Fallstudien i Kvarnbäcks arbete är baserat på ISO-standarden 14044:2006 (International Organization for Standardization, 2006) för att göra en analys ur ett livcykelperspektiv på grot som används som bränsle i Krafringens kraftvärmeverk Örtofta (Kvarnbäck, 2024). Till modellen krävs data vilket inhämtas från 7 stycken skogsägare med totalt 12 olika bestånd i Skåne som levererat grot till kraftvärmeverket. För att applicera modellen på kraftvärmeverket utökas den till att ge påverkan på biodiversitet per 1 kWh varmvatten som producerats och sedan levererats till kund. Detta görs med data på grotens energiinnehåll, mängden grot som skördas, samt omloppstiden för de olika bestånden. Gällande energiinnehåll för groten klassificeras bestånden i två olika kategorier, barrträdsgröt och bok/ek-gröt, baserat på dominerande trädart i respektive bestånd. Utifrån dessa tre parametrar räknas markanvändningen, d.v.s ytan som krävs för att producera 1 kWh grot på 1 år, ut för varje bestånd. Eftersom Örtoftaverket är ett kraftvärmeverk som producerar både värme och el krävs det allokering. Kvarnbäck (2024) allokerar 52% av bränslets energiinnehåll till produktionen av varmvatten för fjärrvärme vilket innebär att 52% av markanvändningen för varje bestånd är kopplat till produktionen av varmvatten i kraftvärmeverket. Sammantaget leder detta fram till studiens resultat som redovisas som biodiversitet-påverkan per 1 kWh producerat varmvatten.

I fallstudien fastställs det genom modellen att mängden död ved på hygget efter ett grotuttag har stor inverkan på den resulterande påverkan på biologisk mångfald, där en större mängd död ved direkt korrelerar till en lägre negativ påverkan. Kvarnbäck (2024) beskriver också att den största faktorn i modellen är antalet gamla träd, 150 år eller äldre, som finns inom området och att ytterst få av dessa identifierades i studien. Detta är något som inte belysts särskilt tydligt i övriga forskningsstudier som inkluderats i avsnitten ovan men som i denna modell bedöms vara den mest bidragande faktorn till hög potential för biologisk mångfald. I linje med övriga studier som presenterats i detta avsnitt anger modellen att uttag av grova träddelar påverkar biodiversiteten mer negativt än uttag av klena delar, samt att uttag av grot från lövträd har större påverkan än uttag av grangrot. I modellen klassificeras gran (*Picea abies*) som en icke inhemska art då studien utförts i områden som ligger utanför artens naturliga utbredningsområde, trots att granen räknas som en inhemska art på nationell nivå. Denna klassificeringen gör att gran bedöms ha ett försumbart bidrag till biodiversiteten i modellen. I norra delen av Skåne närmar sig studiens områden dock den sydliga gränsen för granens naturliga utbredningsområde och därför genomfördes en känslighetsanalys för granens klassificering. Resultatet för denna analys visar att endast bestånd med större volymer grot från gran med en diameter över 10 cm får en ökad påverkan på biodiversiteten när gran klassas som inhemska. När endast klenare grot

av gran plockas ut gör klassificeringen inte någon nämnvärd skillnad för biodiversitet-påverkan. (Kvarnbäck, 2024)

Tall är det trädslag som får sämst resultat i studien men det förklaras av dess medellånga omloppstid och låga grotvolym som ger sämre energiavkastning i kraftvärmeverket (Kvarnbäck, 2024) . Det gör att tallskog kräver större ytor för att producera samma mängd energi via grot än andra trädslag, vilket leder till högre biologisk påverkan.

5 Fallstudie - Krafringen Energi

Enligt både Skogsstyrelsen och Skogforsk studier finns det potential i stora delar av landet att plocka ut mer grot vid avverkningar för att tillgodose den ökade efterfrågan, utan att avvika från ett hållbart skogsbruk (Skogsstyrelsen, 2022b; Parklund, 2023). Detta kapitel zoomar in på elområde 4 och specifikt området kring Örtoftaverket, i Lunds kommun, för att undersöka om samma slutsats kan dras även för Krafringens skogsbränsleleverantörer. Fallstudien är baserad på data från föryngringsavverkningar som utförts av Södra, en av Krafringens bränsleleverantörer, där avverkningen genererat skogsbränsle i form av flisad grot till Örtoftaverket för el- och värmeproduktion.

Just elproduktion inom elområde 4 är en mycket viktig faktor i Sveriges omställning till ett förnybart elsystem då området har lägst självförsörjningsgrad på el i hela Europa med endast 15% (Svenska kraftnät, 2025). För att öka denna andel och minska beroendet av import från andra elområden har stora satsningar gjorts på både sol- och vindkraft och 2024 stod vindkraften för drygt 53% av områdets elproduktion med 5,9 TWh (Energiföretagen Sverige, 2025). En effekt av mer sol- och vindkraft är att behovet av planerbar balanskraft ökar och det är där som biobaserad kraftvärme kommer in (WSP, 2021). Kraftvärme utgör en väldigt användbar balanseringsresurs för energisystemet, speciellt i elområde 4 där vattenkraftproduktionen är låg och inte kan utnyttjas som balansering på samma sätt som i övriga elområden. En svårighet i kraftvärmeproduktionen är dock att efterfrågan på resurser från skogen ökar allteftersom fler användningsområden identifieras och kraven på mer hållbart producerade produkter accelereras. Detta, i kombination med Sveriges mål kring materialåtervinning, påverkar tillgången till hållbara biobränslen, inte bara för Krafringen utan även för många andra aktörer inom både industri- och energisektorn.

Ungefär hälften av bränslet i Krafringens Örtoftaverk utgörs av primära och sekundära skogsbränslen, d.v.s. rester från avverkningar (grot) samt biprodukter från skogsindustrin som sågspån, kutterspån och bark (Krafringen, 2023). Tillgången till skogsbränsle är fundamental för Krafringens verksamhet och ännu mer så om kraftvärmeverk 2 realiserar och produktionen nästan fördubblas. Krafringens roll som elproducent i elområde 4 är betydande och eftersom den till stor del är beroende av skogsbränslen är det av största vikt att förstå hur skogens resurser kan utnyttjas optimalt samtidigt som hänsyn tas till den målkonflikt som finns mellan skogsbränsleuttag för energiproduktion och miljö.

5.1 Avverkningsdata

Till fallstudien har Krafringens skogsbränsleleverantör Södra bidragit med data från 18 st avverkningstrakter runt om i södra Sverige där grotuttag skett och groten levererats till Krafringen. Datasetet innehåller bl.a. information om trakternas respektive trädslagsfördelning, avverkad volym rundvirke, medelstamvolym, flisad volym grot d.v.s. uttagen mängd grot, och datum för avverkning, skotning samt flisning. Även mätvärden för energimått, fukthalt och vikt är inkluderat i datasetet men används ej för beräkningar av bruttomängden, samt andel uttagen grot, eftersom de aktuella beräkningsmetoderna inte erfordrar de variablerna. I Tabell 5 presenteras den data som används i fallstudiens beräkningar, för fullständigt dataset se Appendix A.

Tabell 5: Mätvärden för avverkningstrakter gällande rundvirkesvolym, medelstamvolym, trädslagsfördelning, andel gran, flisad volym grot som levererats till Krafringen, samt datum för avverkning, skotning och flisning.

Traktnr.	Rundvirkesvolym [m ³ fub]	Medelstamvolym [m ³ fub]	Trädslagsförd. tall/gran/löv	Andel gran	Flisad volym [m ³ s]	Avverkad	Skotad	Flisad
1	1538	0,950	0/98/2	0,98	353	2023-10-01	2024-04-01	2024-10-14
2	835	0,566	6/90/4	0,90	253	2023-10-20	2024-04-17	2024-09-23
3	812	0,644	0/100/0	1,00	200	2024-03-18	2024-08-07	2024-09-12
4	647	0,511	0/98/2	0,98	199	2024-05-02	2024-08-16	2025-02-24
5	706	0,460	0/98/2	0,98	300	2024-05-28	2024-08-10	2024-09-12
6	1565	0,514	0/98/3	0,98	567	2024-06-28	-	2025-01-08
7	1316	0,928	0/100/0	1,00	372	2024-01-20	2024-05-28	2024-10-10
8	2865	0,673	1/97/2	0,97	496	2023-12-13	2024-06-28	2024-10-16
9	1126	0,470	1/98/1	0,98	409	2024-03-17	2024-12-27	2025-02-16
10	1650	0,967	0/100/0	1,00	261	2023-10-30	2024-07-20	2024-10-13
11	2128	0,720	0/100/0	1,00	488	2023-11-23	2024-10-09	2025-03-04
12	326	0,572	0/100/0	1,00	160	2023-09-20	2024-10-01	2025-03-04
13	779	0,443	16/77/7	0,77	435	2024-05-15	2024-07-31	2025-03-01
14	985	0,524	4/94/2	0,94	426	2024-04-30	-	2025-04-15
15	514	0,781	6/92/2	0,92	270	2023-10-15	2024-08-18	2025-01-08
16	207	0,574	0/100/0	1,00	115	2024-05-15	2024-08-06	2024-12-03
17	261	0,257	0/88/12	0,88	247	2024-08-01	2024-09-24	2024-10-30
18	375	0,259	1/96/2	0,96	158	2023-12-01	2024-07-15	2024-12-15

5.2 Beräkningsmodell

För att beräkna bruttomängden grot för respektive avverkningstrakt används en modell där avverkningsdata från skördare matas in och den totala bruttomängd grot som avverkningen bör resultera i räknas ut. Avverkningsvariablerna som används är avverkad volym rundvirke [$m^3\text{fub}$], medelstamvolym [$m^3\text{fub}$], samt andel gran i beståndet [%], vilket ger bruttomängden grot i enheten m^3s . Modellen är framtagen av Skogforsk som en del av projektet *Förbättrade grotprognoser för precisionsplanering* (Skogforsk, 2023c) som finansieras av Energimyndigheten via forskningsprogrammet Bio+ och projektparterna. Modellen har skapats utifrån ett dataset innehållande 84 st avverkningar, gjorda i södra Sverige med den nordliga gränsen dragen vid latitud $59,5^\circ$ vilket är strax norr om Stockholm och Karlstad. Anledning till den exakta gränsdragningen vid $59,5^\circ$ framgår ej men i tidigare rapporter som publicerats inom området delas landet in i tre regioner med gränsen mellan syd- och mellanregionen på latitud 60° (Möller m. fl., 2009; Hannrup m. fl., 2009). Denna indelningen görs för att anpassa beräkningsmodeller efter trädslagens olika utbredningsområden samt användningen av Marklunds ekvationer som utgör grunden för stora delar av de modeller som finns för skog och skogsbränsle (Marklund, 1988). Marklunds ekvationer innehåller beräkningar för andelen biomassa i olika trädslagsdelar för olika trädslag i olika vegetationszoner.

Modellen som används i detta arbete är ej ännu publicerad utan har delgivits rapportförfattaren via personlig kommunikation med Raul Fernandez Lacruz, forskare på Skogforsk inom skogsbränslelogistik (2025-04-29). Beräkningsmodellen har arbetats fram som en förenklad modell baserat på hprCM-beräknings-modulen (Siljebo m. fl., 2017), också framtagen av Skogforsk, som används idag men som kräver tillgång till hpr-filer (harvest production files) från skördare, fler avverkningsvariabler samt är mer tidskrävande (R. Fernandez Lacruz, personlig kommunikation, 2025-04-29). Med hprCM-filer för de 84 st avverkningarna inom det avgränsade området har den avverkade skogen återskapats och bruttomängden grot räknats ut. Dessa värden har sedan använts för att matcha den nya, förenklade modellen med en regressionsanalys där olika parametrar och variabler har testats för att få en så korrekt modell som möjligt. Exempelvis visade tester att valet av andel gran i beståndet gav en mycket mer korrekt modell jämfört med om andel tall eller andel lövträd användes istället. Detta beror på att gran är det trädslag som har störst påverkan på mängden grot vid en avverkning. Den nya modellen möjliggör beräkning av bruttomängden grot både före och efter avverkning på ett enkelt sätt tack vare dess få och enkla variabler, volym rundvirke [$m^3\text{fub}$], medelstamvolym [$m^3\text{fub}$], och andel gran [%], som skogsföretagen redan använder i sina utbytesprognoser. (R. Fernandez Lacruz, personlig kommunikation, 2025-04-29)

5.2.1 Ekvationer & variabler

Modellen resulterar i en ekvation med variablerna rundvirkesvolym, medelstamvolym, och andel gran, tillsammans med koefficienter från den linjära regressionen ger bruttomängden grot i m^3s och avser volym flisad grot. Denna ekvation presenteras nedan som Ekvation 1 och i Tabell 6 respektive 7 redovisas förkortningar och värden för variabler samt koefficienter som ingår i ekvation 1. (R. Fernandez Lacruz, personlig kommunikation, 2025-04-29)

$$\text{BruttoGROT} [m^3s] = a * RVV + b * MSV + c * AG + m \quad (1)$$

För att beräkna andelen uttagen grot för respektive trakt används Ekvation 2 där BruttoGROT beräknats fram enligt ovan och FlisadGROT är den mängd som tagits ut från avverkningstrakten, flisats och levererats

Tabell 6: Beräkningsmodellens variabler och förkortningar

Variabler	Förkortning
Rundvirkesvolym [m ³ fub]	RVV
Medelstamvolym [m ³ fub]	MSV
Andel gran [%]	AG

Tabell 7: Beräkningsmodellens koefficienter med värden.

Koefficienter	Värde
m	195,705
a	0,698
b	-549,497
c	142,157

till Krafteringen som skogsbränsle, benämnd flisad volym i Tabell 5.

$$AndelGROT = \frac{FlisadGROT}{BruttoGROT} \quad [\%] \quad (2)$$

5.2.2 Rimlighetsanalys

En rimlighetsanalys nyttjas för att avgöra rimligheten av de resulterande värdena för andel uttagen grot och trakter med orimliga värden utesluts från fortsatta beräkningar och analys i studien. För uttagsandelen grot sätts den övre gränsen till 100% då det är orimligt att plocka ut mer grot än vad som producerats vid avverkningen, d.v.s. FlisadGROT kan ej vara större än BruttoGROT i Ekvation 2. Trakter där uttagsandelen överskrider 100% kan t.ex ha erhållit fel mätvärden vid datainsamlingen eller varit föremål för felaktiga mätningar. För att sådana typer av felkällor inte ska påverka studiens resultat och slutsatser exkluderas trakter vars värden inte uppfyller kraven i rimlighetsanalysen.

5.3 Grot-uttag hos bränsleleverantörer

I Tabell 8 presenteras resulterande värden för bruttomängd grot och andel uttagen grot för respektive avverkningstrakt. Bruttomängden grot varierar från 167 m³s till 1964 m³s för de 18 trakterna. Trakt 8 har det lägsta värdet för uttagsandel (andel grot) på 25% medan trakt 13 har högsta (rimliga) värdet på 72%. Trakt 15 erhåller en uttagsandel som är högre än 100% vilket enligt rimlighetsanalysens gränser exkluderar den trakten från fallstudiens fortsatta delar.

Tabell 8: Resultande värden för beräknad bruttomängd grot, samt andel uttagen grot för respektive avverkningstrakt.

Traktnr.	Bruttomängd Grot [m ³ s]	Andel Grot [%]
1	887	40%
2	595	42%
3	551	36%
4	506	39%
5	575	52%
6	1145	50%
7	746	50%
8	1964	25%
9	863	47%
10	958	27%
11	1428	34%
12	251	64%
13	605	72%
14	729	58%
15	256	105%
16	167	69%
17	362	68%
18	452	35%

5.4 Analys

Andelen grot som plockas ut från en avverkningstrakt kan bero på många olika parametrar. För att bevara biologisk mångfald får uttagsandelen inte överskrida 80% (Skogsstyrelsen, 2019b) men det finns även flertalet andra hänsynsregler som gör att uttagsandelen kan vara betydligt lägre än så. Det är positivt att ingen av de inkluderade trakterna överstiger 80% eftersom det visar att Skogsstyrelsens regler och rekommendationer följs. Förutsättningar för grot-uttag varierar mellan olika trakter och beror bl.a. på trädslagsfördelning, markfuktighet, skogens naturvärden, samt förekomsten av sjöar och vattendrag, skogliga impediment, jordbruksmark, och våtmarker i eller angränsande till avverkningsområdet. För att kunna dra välgrundade slutsatser gällande storleken på uttagsandelarna krävs därför en analys av fallstudiens ingående trakter utifrån deras förutsättningar för grot-uttag.

Som ett första steg i analysen kategoriseras avverkningstrakterna i tre kategorier baserat på deras resulterande uttagsandel. Intervallet för kategori 1 är 0–35% och tilldelas färgen orange, kategori 2 täcker intervallet 36–50% och har färgen gul, och kategori 3 har intervallet 51–100% och representeras av färgen grön. Efter den initiala kategoriseringen sorteras avverkningstrakterna efter deras datum för avverkning (Figur 6a), skotning (Figur 6b), respektive flisning (Figur 6c). Utifrån kategoriseringen samt de tre sorteringarna är det enklare att identifiera mönster i relationen mellan tidpunkt för de olika momenten och uttagsandelen, vilket nyttjas i kommande delar av analysavsnittet. Observera att trakt 6 respektive 14 inte har något datum för skotning i det ursprungliga datasetet och därmed inte kan sorteras i Figur 6b.

Traktnr	Avverkad	Andel (%)
12	2023-09-20	64%
1	2023-10-01	40%
2	2023-10-20	42%
10	2023-10-30	27%
11	2023-11-23	34%
18	2023-12-01	35%
8	2023-12-13	25%
7	2024-01-20	50%
9	2024-03-17	47%
3	2024-03-18	36%
14	2024-04-30	58%
4	2024-05-02	39%
13	2024-05-15	72%
16	2024-05-15	69%
5	2024-05-28	52%
6	2024-06-28	50%
17	2024-08-01	68%

(a) Trakter sorterade efter avverkningsdatum, inkl. uttagsandel.

Traktnr	Skotad	Andel (%)
1	2024-04-01	40%
2	2024-04-17	42%
7	2024-05-28	50%
8	2024-06-28	25%
18	2024-07-15	35%
10	2024-07-20	27%
13	2024-07-31	72%
16	2024-08-06	69%
3	2024-08-07	36%
5	2024-08-10	52%
4	2024-08-16	39%
17	2024-09-24	68%
12	2024-10-01	64%
11	2024-10-09	34%
9	2024-12-27	47%
14	-	58%
6	-	50%

(b) Trakter sorterade efter skotningsdatum, inkl. uttagsandel.

Traktnr	Flisad	Andel (%)
3	2024-09-12	36%
5	2024-09-12	52%
2	2024-09-23	42%
7	2024-10-10	50%
10	2024-10-13	27%
1	2024-10-14	40%
8	2024-10-16	25%
17	2024-10-30	68%
16	2024-12-03	69%
18	2024-12-15	35%
6	2025-01-08	50%
9	2025-02-16	47%
4	2025-02-24	39%
13	2025-03-01	72%
12	2025-03-04	64%
11	2025-03-04	34%
14	2025-04-15	58%

(c) Trakter sorterade efter flisningsdatum, inkl. uttagsandel.

Figur 6: Avverkningstrakter sorterade efter avverknings-, skotnings-, respektive flisningsdatum. Trakterna är indelade i tre kategorier baserat på uttagsandel; 0–35% = Orange, 36–50% = Gul, & 51–100% = Grön.

I Figur 6a går det exempelvis att avläsa att samtliga trakter i kategori 1 (orange) har avverkats mellan 30/10-2023 och 13/12-23 samt att trakterna i kategori 3 (grön) avverkats under månaderna april till september. Även i Figur 6b kan mönster identifieras, t.ex. är majoriteten av trakterna i kategori 1 skotade under juni och juli. För flisningen (Figur 6c) är det dock svårare att urskilja tydliga mönster baserat på datumsorteringen. Det ska dock nämnas att det senaste datumet för flisning är 15 april vilket är förenligt med Skogsstyrelsens riktlinjer, även om dessa framförallt gäller skogar med stor andel lövskog vilket fallstudiens trakter inte har.

En fullständig kartläggning av respektive trakts förutsättningar gällande positionering i förhållande till påverkande faktorer sträcker sig utanför omfattningen av denna studie. I nästföljande avsnitt görs dock en ansats till en mer ingående analys för ett urval av faktorer respektive trakter för att exemplifiera hur olika faktorer kan påverka grotuttaget.

5.4.1 Nederbördens påverkan

Enligt Skogsstyrelsens regler och rekommendationer för grot-uttag ska kör- och erosionsskador undvikas i så stor utsträckning som möjligt (punkt 1. avsnitt 3.2.1) och en förebyggande åtgärd är att köra på groten istället för att plocka ut den som skogsbränsle. Störst risk för körskador är det på blöt och fuktig mark, upp mot 60-70% av alla körskador sker på dessa marktyper och det är därför viktigt att planera vägar och rutter som ska användas vid avverkning och skotning till så bärig mark som möjligt (Skogssällskapet, 2022). Således är vädret, och framförallt, nederbörd en möjlig faktor som kan påverka grot-uttag vid en avverkning. I Tabell 9 redovisas registrerade mätvärden för nederbörd i mm per månad för de månader där någon form av avverkningsmoment utförts på fallstudiens trakter. Nederbörden är registrerad i smält form vid Försvarsmaktens väderstation Hästsveda som är kopplad till SMHIs stationsnät (SMHI, 2025). Hästsveda väderstation (56.2800° N, 13.9431° E) valdes ut som en representativ station för fallstudiens område då den är lokaliserad i nordöstra Skåne, i riktning mot Smålandsgränsen, samt eftersom den varit aktiv under de aktuella månaderna (mätstationen är sedan 1 maj 2025 inaktiv). Då nederbörd kan variera avsevärt mellan områden

och Hästsveda endast är en generaliserad mätpunkt, bör nedanstående analys betraktas som en övergripande uppskattning och illustration av nederbördens påverkan på avverkningstrakternas uttagsandel. Observera också att mätvärdena för nederbörd är en summa av respektive månads totala nederbörd, och visar därmed inte fördelningen över månadens dagar och inte heller de individuella regnens intensitet eller varaktighet.

Genom att jämföra de mönster som identifierades ur Figur 6 med mätvärdena för nederbörd, presenterade i Tabell 9, kan ett antal tolkningar göras. Perioden oktober till december 2023 när alla kategori 1-trakter (orange & 0–35% grotuttag) avverkades var nederbörden hög vilket med största sannolikhet innebär att mer grot behövde användas till vägar för att minimera körskador. Även kategori 2-trakterna 1 och 2 avverkades under oktober 2023, dock lite tidigare, och trakt 7, 9 och 3 avverkades januari till mars 2024 som också erhöll relativt stora mängder nederbörd, vilket kan vara en bidragande orsak till deras lägre uttagsandel och kategorisering som 2. Därutöver var juni och juli de regnigaste månaderna under 2024 och under denna period skotades 3 av 4 utav kategori 1-trakterna, vilket ytterligare stärker behovet av grot till vägar för skotaren. De två trakter med högst uttagsandel på 72 respektive 69% (trakt 13 och 16), samt trakt 5 med 52% avverkades under maj 2023 vilket var den näst torraste månaden. Dessa tre trakter, tillsammans med övriga kategori 1-trakter, skotades dock från slutet av juli till början av oktober då nederbörden var relativt stor, vilket skulle kunna indikera att avverkningen påverkas mer än skotningen av nederbörd när det kommer till uttaget av grot. Bristen av tydliga mönster för flisningen (Figur 6c) tolkas som att flisningen bör påverka uttagsandelen minst sett till nederbörd då den inte kräver körning över avverkningstrakten och därmed inte påverkar mängden grot som krävs för att undvika körskador. Korrelationen mellan nederbörd vid avverkning och uttagsandel går att identifiera men är trots allt svag, medan korrelationen mellan nederbörd vid flisning och uttagsandel bedöms vara obefintlig.

Samma mängd nederbörd på olika ställen kan innebära stora skillnader i hur stor utsträckning som nederbörden påverkar grot-uttaget. Därför är det viktigt att inte bara titta på aktuell nederbörd utan även markens grundförutsättningar för att motstå körskador.

5.4.2 Markfuktighetens påverkan

Precis som nederbörd varierar markens naturliga fuktighet mellan olika områden vilket i sin tur påverkar markens bärighet och risken för körskador. Ett blött område har t.ex. betydligt svårare att hantera större mängder nederbörd än ett torrt område. För att kunna dra någon slutsats kring om det går att öka grotuttaget från trakterna är det således viktigt att känna till hur fuktiga markerna är eftersom det har stor påverkan på hur mycket grot som används till stick- och bas-vägarna. För att göra denna analysen nyttjas markfuktighetskartor och korresponderande markfuktighetsdata för avverkningstrakterna som erhållits från Södra.

Tabell 9: Nederbördsmängd i mm per månad, registrerat vid Hästsveda väderstation. Mätvärdena är hämtade från SMHI opendata (SMHI, 2025)

Nederbörd [mm]	2023	2024	2025
Januari	-	81,1	71,3
Februari	-	72,9	10,8
Mars	-	39,9	19,3
April	-	67,2	-
Maj	-	13,3	-
Juni	-	121,4	-
Juli	-	121,3	-
Augusti	213,5	71,2	-
September	25,7	104,0	-
Oktober	176	93	-
November	68,2	37,5	-
December	95,9	96,7	-

I Tabell 10 presenteras ett antal av avverkningstrakternas markfuktighet som andel av avverkad yta inom fyra olika fuktighetsspann och i Tabell 11 visas basvägslängden för trakterna. För trakterna som ej finns inkluderade i tabellerna nedan (10 och 11) har datapunkterna inte gått att inhämta från Södra. Markfuktighet som andel av avverkad yta har tagits fram av Södras entreprenösutvecklare för grot och transport, Richard Bexell, via en okulär bedömning av markfuktighetskartor. Baserat på hur stor andel av det avverkade området som är blå-färgat på respektive karta har avverkningstrakterna delats in i de fyra olika spannen som redovisas i Tabell 10. Detta är inte något exakt mått men kan användas, gärna tillsammans med basvägslängd i Tabell 11, som en fingervisning för storleksmängden grot som kan behövas till vägar för att undvika körskador.

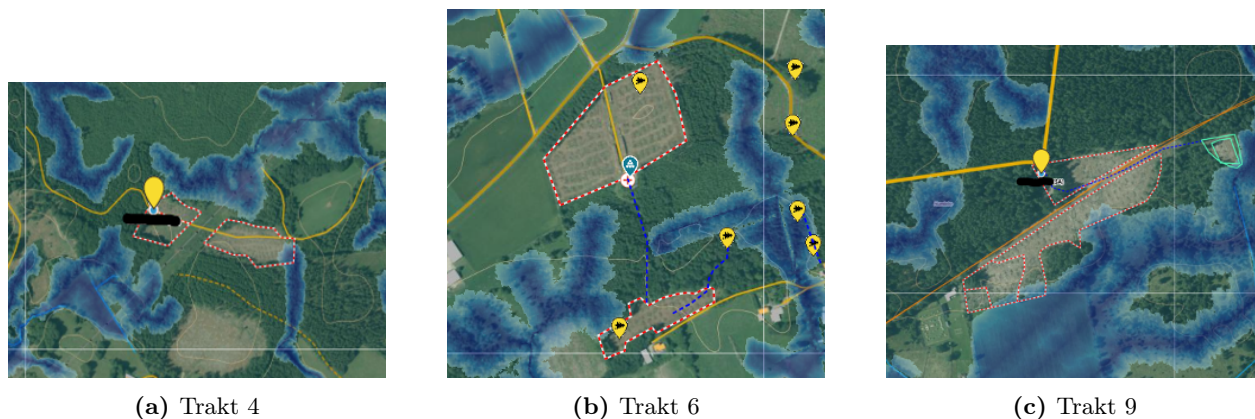
Tabell 10: Markfuktighet som andel av avverkad yta för ett antal avverkningstrakter.

Traktnr.	0 - 25 %	26 - 50 %	51 - 75 %	76 - 100 %	Grotuttag
2	X	-	-	-	42%
4	X	-	-	-	39%
6	X	-	-	-	50%
9	X	-	-	-	47%
11	X	-	-	-	34%
12	-	-	X	-	64%
13	X	-	-	-	72%
14	-	X	-	-	58%
16	X	-	-	-	69%
17	X	-	-	-	68%
18	X	-	-	-	35%

Tabell 11: Basvägslängd för ett antal avverkningstrakter.

Traktnr.	0 - 50 m	50 - 100 m	100-200 m	200 - 400 m	400+ m	Grotuttag
2	-	X	-	-	-	42%
4	X	-	-	-	-	39%
6	X	-	-	-	-	50%
9	X	-	-	-	-	47%
11	-	-	X	-	-	34%
12	-	-	-	X	-	64%
13	-	-	-	-	X	72%
14	-	X	-	-	-	58%
16	-	-	-	X	-	69%
17	-	-	-	-	X	68%
18	-	X	-	-	-	35%

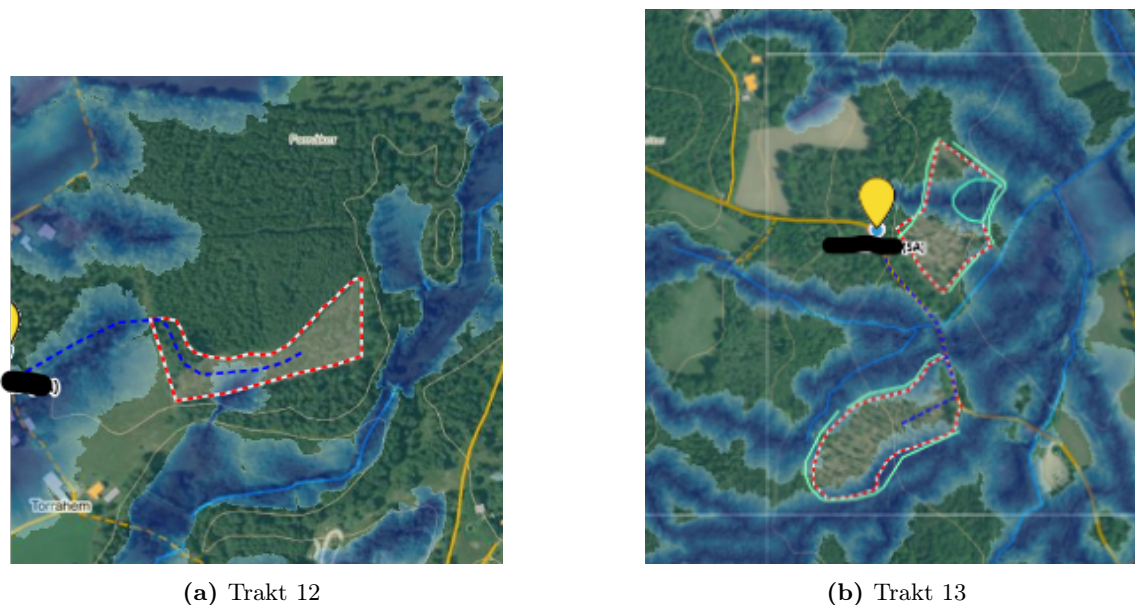
Trakt 4, 6 och 9 ligger alla i de lägsta intervallen för både markfuktighet som andel avverkad yta och för basvägslängd. Samtidigt har ingen av dessa tre avverkningstrakter en uttagsandel för grot på över 50% vilket kan uppfattas som motsägelsefull mot påståendet att högre markfuktighet leder till ett mindre grot-uttag. I praktiken är det dock inte ett så linjärt samband. I Figur 7 presenteras markfuktighetskartor för trakt 4, 6 och 9, avverkningsområdena är avgränsade med röd-vit streckad linje och markfuktigheten är högre ju blåare färgen på kartan är. Dessa tre är utvalda för en mer ingående jämförelse då samtliga tre ligger i samma intervall både för markfuktighet och basvägslängd. Det ska poängteras att de olika markfuktighetskartorna inte har samma skala och därför inte är direkt jämförbara. I appendix B finns samtliga markfuktighetskartor som erhållits presenterade.



Figur 7: Markfuktighetskartor för trakt 4, 6 och 9.

Varken avverkningstrakt 4, 6 eller 9 har något större blått område enligt markfuktighetskartorna, vilket korrelerar med deras kategorisering i de lägsta intervallen i Tabell 10. Därmed kan inte markfuktigheten anses som den mest bidragande faktorn till de medelhöga uttagsandelarna för grot utan det är med största sannolikhet andra faktorer som dragit ner uttagsandelen för respektive trakt.

Ur tabellerna ovan kan det även avläsas att trakt 12 har högst markfuktighet sett till andel av avverkad yta samt en av de högsta basvägslängderna. Trots detta har trakt 12 en uttagsandel på 64% vilket gör den till en kategori 3-trakt. Likaså ligger trakt 13 i det högsta spannet för basvägslängd samtidigt som det är trakten med högst uttagsandel på 72%. Trakt 13 har dock låg markfuktighet sett till yta vilket kan betyda att de blöta partierna är mer koncentrerade vilket gör det enklare att planera körvägarna så de undviker dessa partier trakten basvägar därmed kunnat läggas på mark med hög bärighet. Detta bekräftas vid analys av trakt 13 markfuktighetskarta som presenteras i Figur 8b.



Figur 8: Markfuktighetskartor för trakt 12 och 13.

För trakt 12 visar sig markfuktigheten framförallt som någon form av vattendrag, mest troligen en bäck med låg spridning av markvatten runt om (strecket är isolerat utan blåa partier runt om), se Figur 8a. För skogsmaskinerna kan det då enkelt anläggas en provisorisk körväg över bäcken för att undvika körskador. Skogspartiet med blått inom trakt 12 är endast ljusst färgat vilket indikerar lägre markfuktighet och bör därmed inte medföra någon signifikant påverkan på grotuttaget med tanke på den höga uttagsandelen. Som kan ses i Figur 8b består trakt 13 av två områden som åtskils av ett mycket blött parti. Inom de avverkade områdena är det dock inte så mycket blått förutom ett koncentrerat område som då kan undvikas att köra på vilket troligtvis är förklaringen till varför uttagsandelen fortfarande kan vara hög trots höga siffror för markfuktighet.

För trakt 10 erhöles inga siffror för markfuktigheten men det är en intressant karta att studera, speciellt då trakten har en av de absolut lägsta uttagandelarna på 27%. I Figur 9 presenteras markfuktighetskartan för trakt 10 och det kan ur den urskiljas att båda områdena innehåller blåa partier. Speciellt det lilla området till vänster har större delen av sin yta blåmarkerad och det större området till höger delas av ett vattendrag. Skillnaden mellan vattendragen i trakt 10 och 12 är att det i trakt 10 har en större spridning av fuktigheten runt om vattendragets gränser vilket kan bidra till den större påverkan i trakt 10.

Som tidigare nämnt kan olika marker hantera nederbörd på olika sätt vilket också påverkar hur uttagsandelen influeras. Detta är inte något som direkt syns på markfuktighetskartorna men genom en jämförelse med datumsorteringen i Figur 6 kan andra perspektiv belysas. Trakt 10 både avverkades och skotades under en blöt period medan motsvarande för trakt 13 utfördes under torrare månader. Det innebär t.ex. att vattendraget i trakt 10 möjligen kan ha haft en större spridning av vattnet under avverknings- och skotningsperioden på grund av det extra vatten. Jämförelsen med datum visar också att trots att båda trakterna visar blöta partier på markfuktighetskartorna så går det inte att exakt utskilja hur de påverkas av extra nederbörd från kartorna.

Sammantaget indikerar denna analys att det inte är tillräckligt att endast titta på markfuktighetskartor för att avgöra potentiell uttagsandel då markens förutsättningar samverkar med andra faktorer. Likaså krävs en mer fördjupad kunskap kring trakternas individuella utformning i verkligheten för att verkligen kunna dra exakta slutsatser kring mönster mellan markfuktighetskartornas utseende, vad det motsvarar ute i skogen, och vilken påverkan det kan tänkas få på grotuttaget. En sådan fördjupad analys har tyvärr inte varit möjlig att genomföra inom arbetets ramar. Betydelsen av markfuktighetskartor i förarbetet för att planera rutter under avverkning och skotning bör dock inte underskattas då de fortfarande kan ge tydliga indikationer på områden som bör undvikas.



Figur 9: Markfuktighetskarta för trakt 10.

5.4.3 Annan möjlig påverkan

Andra möjliga faktorer som påverkar hur stort grotuttag som kan göras från en avverkningstrakt är t.ex. närhet till våtmarker eller vattendrag, eventuellt angränsande till jordbruksmark, samt förekomst av forn- eller kulturlämningar inom området då det innebär att skyddszoner måste etableras mot eller runt dessa för att undvika att skada markerna eller objekten.

Ytterligare en annan faktor är trädslagsfördelning. Flertalet källor som studerats i litteraturstudien (Jönsson m. fl., 2021; Ranius m. fl., 2018; de Jong m. fl., 2017; Kvarnbäck, 2024; de Jong m. fl., 2013) fastställer att grov död ved är av allra största vikt för bevarandet av biologisk mångfald. Den största mängden grov grot kommer från lövträd, men även tall, vilket innebär att trakter med större andel av dessa trädarter kan få en lägre uttagsandel för grot om man tar hänsyn till detta vid uttag. I Tabell 5 kan trädslagsfördelningen för fallstudiens avverkningstrakter utläsas där framförallt trakt 13 och 17 sticker ut med högre andel löv och/eller tall. Vid jämförelse med beräkningsresultaten för uttagsandel i Tabell 8 bekräftas dock inte detta samband mellan trädslagsfördelning och uttagsandel då de två trakterna har bland de högsta uttagsandelarna. En förklaring till detta kan vara att det i Skogsstyrelsens regler och rekommendationer antas att de 20% som måste sparas täcker in tillräckligt med grov grot. Det saknas dock praxis inom skogsbruket att föra detaljerade förteckningar av fördelningen mellan grov och klen grot och man vet därför inte hur mycket av den viktiga grova groten som faktiskt plockas ut (Börjesson, 2025). Om Förnybartdirektivet skulle komma att ändra klassificeringen för om grov grot anses hållbart eller ej till mer striktare riktlinjer förväntas dock uttagsandelen från trakter med större andel tall och löv påverkas negativt. För att det ska bli praktiskt möjligt att skilja på de två kategorierna krävs det således också nya metoder inom skogsbruket.

5.5 Potentiell ökning av grotuttag

Utifrån Skogsstyrelsens regler och rekommendationer för uttag av grot (Skogsstyrelsen, 2019b) i kombination med analysen av påverkan från nederbörd och markfuktighet, samt andra möjliga påverkansfaktorer, som t.ex. trädslagsfördelning, bedöms uttagsandelen för fallstudiens trakter kunna öka. Skogforsks analys av potential för ökat grotuttag, Figur 2, kan användas för att uppskatta den ökning som är möjlig även för fallstudiens trakter. Detta görs genom att använda deras bedömning för Skåne samt Kronobergs län (sydvästra Småland) gällande överskott samt total potential av grot som bedöms finnas i området, se avsnitt 3.3.3. Beräkningarna görs genom att dividera överskottet (Figur 2c) med nuvarande uttag (Figur 2a) för respektive län enligt Ekvation 3 och i Tabell 12 presenteras de aktuella värdena för länen.

Tabell 12: Värden för överskott samt nuvarande uttag av grot per år för Skåne respektive Kronobergs län (Parklund, 2023).

	Nuvarande uttag [GWh]	Överskott [GWh]
Skåne län	368	96
Kronobergs län	490	69

$$\text{Potentiell ökning [\%]} = \frac{\text{Överskott}}{\text{Nuvarande uttag}} \quad (3)$$

Beräkningarna resulterar i att en potentiell procentuell ökning på 26,1% i Skåne, respektive 14,1% i Kronobergs län bedöms vara rimlig. Eftersom Kraftringens bränsleleverantörer är lokaliserade i båda länen räknas ett genomsnittligt värde, representativt för båda länen, fram enligt Ekvation 4.

$$\text{Genomsnittlig ökning [\%]} = \frac{\text{Överskott (Skåne + Kronoberg)}}{\text{Nuvarande uttag (Skåne + Kronoberg)}} = \frac{\text{Totalt överskott}}{\text{Totalt nuvarande uttag}} \quad (4)$$

Det resulterande värdet för den potentiella procentuella ökningen för de två länen blir således 19,2%, vilket nyttjas i fallstudiens fortsatta delar. Detta är en grov uppskattning baserat på en genomsnittlig ökningspotential över ett större område med låg geografisk upplösning i mindre delområden som inte tar hänsyn till varje trakts individuella förutsättningar. Det ska dock poängteras att uttagsandelen för en enskild trakt aldrig får överstiga 80% enligt Skogsstyrelsens regler och rekommendationer (Skogsstyrelsen, 2019b) vilket innebär att trakter som redan har en hög uttagsandel inte kan höja sin uttagsandel med den genomsnittliga andel som beräknats fram ovan. För de aktuella trakterna höjs uttagsandelen istället endast upp till 80%. Ökningen beräknas enligt Ekvation 5a, nytt uttag enligt Ekvation 5b och ny andel beräknas enligt samma princip som i Ekvation 2 där det nya uttaget ersätter FlisadGROT i ekvationen.

$$\text{Ökning [m}^3\text{s]} = 0,192 * \text{Flisad volym (Tabell 4)} \quad (5a)$$

$$\text{Nytt uttag [m}^3\text{s]} = 1,192 * \text{Flisad volym (Tabell 4)} \quad (5b)$$

Appliceras siffran för genomsnittlig procentuell ökning på fallstudiens trakter enligt ekvationerna ovan erhålls siffrorna som presenteras i Tabell 13 för potentiell ökning, resulterande nytt uttag samt uttagsandel för grotuttag.

Tabell 13: Resultande ökning, totalt nytt uttag samt ny uttagsandel av grot för respektive avverkningstrakt utifrån en procentuell ökning på 19,2%.

Traktnr.	Ökning [m ³ s]	Nytt uttag [m ³ s]	Ny andel [%]
1	67,8	421	47%
2	48,6	302	51%
3	38,4	238	43%
4	38,2	237	47%
5	57,6	358	62%
6	109	676	59%
7	71,4	443	59%
8	95,2	591	30%
9	78,5	488	57%
10	50,1	311	32%
11	93,7	582	41%
12	30,7	191	76%
13	83,5	519	86%
14	81,8	508	70%
16	22,1	137	82%
17	47,4	294	81%
18	30,3	188	42%

I Tabell 13 kan det urskiljas att tre trakter, nummer 13, 16 samt 17, erhåller en uttagsandel högre än 80% när den genomsnittliga ökningen på 19,2% appliceras och därmed kräver de tre trakterna en individuell korrigering. Korrigeringen görs genom att låsa uttagsandelen till 80% enligt Skogsstyrelsens riktlinjer och Ekvation 5b, 5a och 2 nyttjas omvänt för att avgöra vad det innebär i nytt uttag och volymmässig ökning samt vad det motsvarar i procentuell ökning för de tre trakterna. I Tabell 14 redovisas resultaten för dessa beräkningar.

Tabell 14: Korrigering av uttagsandel, nytt uttag och volymökning samt motsvarande procentuell ökning för avverkningstrakt 13, 16 och 17.

Traktnr.	Fast andel [%]	Korrigerat nytt uttag [m ³ s]	Ökning efter korrigering [m ³ s]	Andel ökning [%]
13	80%	484	49,4	11%
16	80%	134	18,5	16%
17	80%	290	42,6	17%

Efter korrigering för de tre trakterna blir de slutgiltiga resultaten för volymmässig ökning, totalt nytt uttag, och ny uttagsandel för samtliga avverkningstrakter så som presenteras i Tabell 15.

Tabell 15: Resultande ökning, totalt nytt uttag samt ny uttagsandel av grot för respektive avverkningstrakt efter korrigering för maxuttag på 80%

Traktnr.	Ökning [m ³ s]	Nytt uttag [m ³ s]	Ny andel [%]
1	67,8	421	47%
2	48,6	302	51%
3	38,4	238	43%
4	38,2	237	47%
5	57,6	358	62%
6	109	676	59%
7	71,4	443	59%
8	95,2	591	30%
9	78,5	488	57%
10	50,1	311	32%
11	93,7	582	41%
12	30,7	191	76%
13	49,4	484	80%
14	81,8	508	70%
16	18,5	134	80%
17	42,6	290	80%
18	30,3	188	42%

Utifrån dessa värden kan den totala ökningen av grot som bedöms vara både hållbart och praktiskt möjligt grovt uppskattas till 1002 m³s genom att summera värdena i kolumn 2 "Ökning" i Tabell 15. Volymen i m³s kan sedan konverteras till energimåttet GWh genom att använda omvandlingstal. Energiinnehållet i grot varierar med fukthalt samt skiljer sig åt mellan olika träarter. Generellt brukar omvandlingstal från stjälpvolym till energiinnehåll ligga inom spannet 0,7–1,0 (Skogskunskap, 2016), därför används att 1 m³s = 0,85 MWh som ett medeltal för omvandling i denna studie. Det innebär att den totala ökningen på 1001,8 m³s motsvarar 851,5 MWh = 0,85 GWh grot.

Avverkningsstrakterna som inkluderats i denna fallstudie antas här vara ett representativt urval av trakter som levererar skogsbränsle i form av grot till Krafringen. Totalt sett är det ett betydligt större antal trakter hos flertalet olika skogsägare och skogsbolag som kontinuerligt levererar grot till kraftvärmeverket. Varje år använder Krafringen ungefär 125 GWh grot i Örtoftaverket för el- och värmeproduktion (H. Edh & O. Bengtsson, personlig kommunikation, 2025-05-12). Om den genomsnittliga ökningen på 19,2% appliceras på Krafringens årliga grotanvändning skulle det motsvara en ökning på cirka 24 GWh grot. Detta antagande förutsätter att all ökning skulle gå till Krafringen och inte levereras till andra kunder. Krafringens årliga användning utgör ungefär 15% av det nuvarande grotuttaget i regionen men det behöver inte innebära att den siffran förblir densamma om uttaget skulle komma att öka. I hela regionen ökar tillgången till grot med 165 GWh (överskotten i Tabell 12 summerade) vilket är mer än en fördubbling av Krafringens nuvarande årliga mängd. Om det antas att andra aktörer inom regionen gör litet anspråk på denna grot innebär det en betydligt större tillgång till primära skogsbränslen för Krafringen. Detta visar att om planerna på ytterligare ett kraftvärmeverk i Örtofta förverkligas kommer Krafringen troligtvis kunna tillgodose sitt ökade behov av primära skogsbränslen från leverantörer inom regionen, förutsatt att den ökade potentialen realiserar.

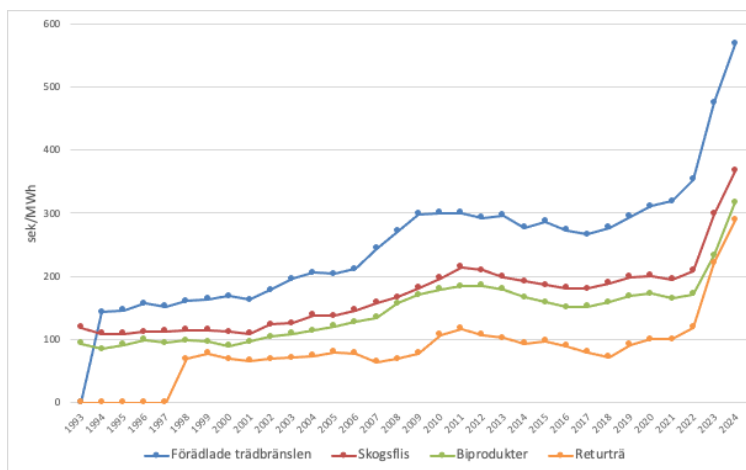
5.6 Realisering av potentialen

Ökningen som beräknas fram i avsnitt 5.5 kan realiserar genom att bl.a. anpassa avverkning och skotning efter rådande väderlek, optimera körsträckor, samt öka noggrannheten vid uttaget. Det framgår i fallstudiens analys att nederbörden har en viss påverkan på uttagsandelen grot. Genom att förlägga avverkningar under torrare perioder skulle grotuttaget möjligtvis kunna öka och risken för körskador minskas utan att det går ut över uttagsandelen. Korrelationen mellan uttagsandel och nederbörd vid avverkning var dock svag och hur stor påverkan anpassning efter väderlek hade haft är svår att kvantifiera. Markens naturliga fuktighet är svårare att kringgå än väderleken eftersom blöta områden alltid kommer vara blöta, men den förebyggande åtgärden att anpassa sig efter nederbörden kan bidra till att markerna åtminstone inte är blötare än normalt. Dikning är en åtgärd som kan minska markfuktigheten genom att leda bort överflödigt vatten men detta är förbjudet i stora delar av södra Sverige då det kan påverka det lokala ekosystemet negativt (Skogsstyrelsen, 2025). Istället krävs det mer fokus på analys och klassificering av markens bärighet innan avverkningen sker för att kunna planera körsträckorna till områden med högst markbärighet, något som Södra (och flertalet andra skogsbolag) redan gör.

Södra tillämpar något som de kallar markskoningsgaranti vilket innebär att de garanterar till markägare att inga allvarliga körskador ska uppstå vid gallring eller slutavverkning (Södra, 2020). Allvarliga körskador på basvägar klassas som skador med ett djup på minst 25 cm under en 50 m lång sammanhängande sträcka, dessutom ska även branschgemensam miljöpolicy efterlevas enligt garantin. För att planera körsträckor och förebygga markskador klassificeras marken inom avverkningsområdet av en skogsinspektör i en av tre bärighetskategorier: bra bärighet (1), normal bärighet (2), eller dålig bärighet (3). Utifrån klassificeringen planeras avverkningen så att förarna i så stor utsträckning som möjligt håller sig till de bästa markerna. Om det ändå skulle uppstå skador som bedöms som allvarliga är Södra ansvariga för att åtgärda och restaurera den påverkade marken. Detta bidrar till att optimera uttaget av grot. (Södra, 2020)

Ytterligare en viktig faktor till ett ökat incitament för ökat grotuttag är priserna. En ökad efterfrågan leder till ett ökat pris på groten till skogsägarna (Fältskog, 2024; Södra, 2024) vilket i sin tur gör att grotuttag prioriteras vid avverkningar. Samtidigt leder de ökade priserna till högre kostnader för kraftvärmeverket vilket kan sänka efterfrågan något, men detta balanseras när utbud och efterfrågan ihop skapar ett marknadsmässigt

pris. I Figur 10 visas prisstatistik för olika trädbränslen till värmeverk för åren 1993 till 2024. Grotpriserna har stadigt ökat sedan datainsamlingen startades, minus en liten dipp under 2016 – 2017, och det syns tydligt vilken stor prisutveckling som skett de senaste åren.



Figur 10: Prisstatistik för; förädlad trädbränsle = pellets; skogsflis = flisade avverkningsrester (grot), flisad rundved m.m.; biprodukter = spån, bark m.m.; returträ = återvunnet trä, RT-flis, m.m. för åren 1993 – 2024 (Energimyndigheten, 2025)

Grotens ökande pris skapar också incitament för skogsägare samt skogsbolag att vara extra noggranna vid avverkningar för att säkerställa att så mycket grot som möjligt, inom regelverkets rekommendationer, tas ut. Högre grotpriser ökar även lönsamheten för grotuttag där transportsträckorna är längre. Det ökar möjligheten att realisera ett större uttag i mellersta och norra Sverige där en stor potential ej utnyttjas p.g.a. att det har varit oekonomiskt att frakta grotten från skogen till terminaler och slutkunder.

Den ökade efterfrågan på grot kommer troligen att leda till att åtminstone delar av den beräknade potentialen realiserar vilket kommer öka utbudet av skogsbränsle i framtiden. Det kan leda till en avtrappning av prishöjningarna som sker just nu vilket är positivt för kraftvärmeverken som då får en lägre kostnad. En lägre kostnad för Krafringen och Örtoftaverket innebär att de kan producera el och värme billigare vilket ökar deras incitament att faktisk producera mer om efterfrågan finns. Med de stora fluktuationerna i elpriset som varit i elområde 4 de senaste åren har elpriset också blivit en allt mer drivande faktor i driften av kraftvärmeverket. Ett exempel är sommaren 2022 då Krafringen valde att starta upp Örtoftaverket rekordtidigt för att öka elutbudet och därmed stabilisera elpriset (Bioenergitidningen, 2022). Även i dessa fall kommer det vara marknaden, baserat på utbud och efterfrågan, som kommer avgöra hur stor förändring det blir i priserna och därmed i vilket utsträckning de kommer påverka realiseringen av ett ökat grotuttag.

Arbetets litteraturstudie belyser vikten av att skogsbruk och grotuttag anpassas efter rådande bestämmelser gällande biologisk mångfald om ett ökat grotuttag ska vara möjligt. Samtidigt visar också Kvarnbäckens modell (Kvarnbäck, 2024) att bättre metoder för att urskilja de viktigaste substraten krävs för att säkerställa att dessa bevaras på hygget. Utvecklad identifiering och bevaring av de substrat och levnadsmiljöer som har störst inverkan på biodiversiteten möjliggör även att ett större uttag av grot kan ske utan negativ påverkan. Utifrån litteraturstudien kan påverkan på just biologisk mångfald tolkas som ett av de största argumenten mot ett ökat grotuttag och forskningen är i detta fall enig att negativ påverkan är en trolig konsekvens om inte skogsbruksmetoderna klarar av att säkerställa bevarandet av de viktiga levnadsmiljöerna. Skogsindustrin

arbetar utefter ett flertal regler som Skogsstyrelsen fastställt, se avsnitt 3.2.1, men ett tillägg som hade förbättrat arbetet med biodiversitet i samband med ett ökat grotuttag är att kunna skilja på grov respektive klen grot, precis som Kvarnbäck nämner i sitt arbete.

Sammantaget är det flera faktorer som påverkar drivkrafterna till att realisera ett ökat grotuttag ur svenska skogar inklusive strävan efter ett minskat fossilberoende och effektiv användning av inhemska resurser.

5.7 Potentiell besparing av växthusgasutsläpp

I följande avsnitt görs en mycket approximativ uppskattning av den besparing av växthusgasutsläpp som kan följa ett ökat uttag av grot genom en jämförelse av livscykelutsläpp för el producerad i Örtoftaverket och genom andra elproduktionsslag. Beräkningarna är överslagsberäkningar, baserade på antaganden och förenklingar och de resulterande värdena bör således inte ses som exakta utan mer som en indikation på storleksordning. Endast besparing av växthusgasutsläpp från ökad elproduktion inkluderas i detta arbete då framförallt behovet av mer förnybart producerad el är stort inom elområde 4, men även Sverige i stort. Klimatvinster från ökad värme- och ångproduktion beaktas således ej men kan antas ha ytterligare positiva effekter.

5.7.1 Krafteringen & Örtoftaverket

Under 2024 producerade Örtoftaverket 95,4 GWh el, 488 GWh värme och 101 GWh produktionsånga (B. Svensson, personlig kommunikation, 2025-05-20). För att uppskatta den genomsnittliga elverkningsgraden, η_{el} , för kraftvärmeverket används mängden producerad el tillsammans med mängden bränsle som använts i Ekvation 6.

$$\eta_{el} = \frac{P_{el, ut}}{P_{bränsle, in}} \quad (6)$$

Bränslemängden för Örtoftaverket under 2024 uppgick totalt till 647 GWh (J. Rubensson, personlig kommunikation, 2025-05-22) varav drygt 46% utgjordes av skogsflis (grot) och resterande 54% var RT-flis. Elverkningsgraden för verket under 2024 blir således 0,1474, eller 14,7% utifrån Ekvation 6. Om det antas att all extra grot används i verket under samma förhållanden skulle den ökade grotmängden på 24 GWh från hela leverantörsområdet motsvara en ökning på 3,54 GWh el från produktionen. Dessutom hade bränsleökningen även resulterat i större värme- och ångproduktion från verket. Att utesluta klimatnytta från värmen och ångan påverkar dock inte jämförelsen av livscykel-utsläpp mellan el från Örtoftaverket och andra elproduktionsslag då det totala klimatavtrycket från produktionen allokerats mellan de olika produktionsströmmarna.

El som producerats i Örtoftaverket har ett koldioxidavtryck ur livscykelperspektiv, även kallat emissionsfaktor, på 13,8 g CO₂-ekv/kWh (Krafteringen Energi AB, 2023) vilket kan jämföras med andra energislags emissionsfaktorer. Denna emissionsfaktor gäller dock för el som producerats enligt ovanstående förutsättningar, d.v.s. med ungefär 46% grot och 54% RT-flis vilket skapar en osäkerhet i följande jämförelser. Vidare inkluderar inte emissionsfaktorn för el från Örtoftaverket förändringar av kolbalansen i skogen eller påverkan på biodiversitet då systemgränsen i EPD:n (Environmental Product Declaration) där emissionsfaktorn beräknats är dragen efter att groten hämtats ur skogen. Det innebär också att effekten av själva uttaget av grot, inklusive förändringar till följd av ett ökat uttag, inte redovisas i klimatavtrycket och således ej heller finns inkluderat i efterföljande jämförelser. I Tabell 16 redovisas emissionsfaktorer för ett urval av energislag.

Tabell 16: Emissionsfaktorer för el från Örtoftaverket, vindkraftverk, solceller samt för nordisk elmix.

Energislager	Emissionsfaktor [g CO ₂ -ekv/kWh]	Källa
El Örtoftaverket	13,8	(Krafringen Energi AB, 2023)
El vindkraft	12	(Naturskyddsföreningen, 2024)
El solceller	17,6 - EU prod. 29,9 - Kina prod.	(Müller m. fl., 2021)
Nordisk elmix	90,4	(Sandgren & Nilsson, 2021)

Emissionsfaktorn för energislagen varierar beroende på storlek på produktionen, livslängden, lokala väderförhållanden (för sol- och vindkraft), vilka beräkningsmetoder som används, samt vart systemgränser dras. Således kan olika rapporter och EPD:er (Environmental Product Declaration) presentera olika resultat. För vindkraft anger t.ex. Naturskyddsföreningen att det genomsnittliga värdet är 12 g CO₂-ekv/kWh medan en miljövarudeklaration gjord på en av Vattenfalls vindkraftsparker anger 14,2 g CO₂-ekv/kWh för den aktuella parken (Krafringen, 2023). Jämförelser mellan energislagen i denna studie har således framförallt syftet att illustrera storleksordningen för potentiella besparingar av växthusgasutsläpp och avser ej strikta värden för enskilda produktionsplatser.

Emissionsfaktorerna för solceller är hämtade ur Müller m. fl. (2021) och gäller för monokristallina, ensidiga, kisel solceller som producerats i Kina respektive inom EU. I beräkningarna antas solcellernas livstid vara 25–30 år och solinstrålningen som används är 1391 kWh/(m²yr) vilket är ett befolkningsviktat genomsnitt för Europa. Att prioritera det ökade uttaget av grot inom hela Krafringens leverantörsområde och användning av den till el- och värmeproduktion skulle leda till en besparing av växthusgasutsläpp på upp till 57 000 kg CO₂-ekv årligen jämfört med solceller som producerar samma mängd el under ett år (om solcellerna produceras i Kina). Jämfört med el från solceller producerade i EU erhålls en besparing av växthusgasutsläpp på 13 500 kg CO₂-ekv. Dessutom skulle den extra producerade värmen även den kunna substituera andra värmekällor och spara ytterligare koldioxidutsläpp, detta inkluderas dock inte i detta arbetet p.g.a. avgränsningar. Baserat på medeltalet för vindkraftens emissionsfaktor skulle det ökade grotuttaget inte ge någon signifikant besparing av växthusgasutsläpp i genomsnittsfallet. I jämförelse med vissa specifika vindkraftsparker skulle dock en besparing, eller en förlust, kunna identifieras.

Nordisk elmix avser den medelvärdet som används i Norden och värdet på 90,4 g CO₂-ekv/kWh är framtaget som ett genomsnitt av 2016, 2017 och 2018 års värden (Sandgren & Nilsson, 2021). Vid en första tolkning framstår värdena som gamla och därmed inte de mest representativa men så sent som maj 2024 hänvisar Naturvårdsverket i sin guide *Värden för att beräkna utsläppsminskning* (Naturvårdsverket, 2024d) till dem och således anses de vara tillräckligt relevanta även för denna studie. Vid jämförelse med emissionsfaktorn för nordisk elmix erhålls en potentiell besparing av växthusgasutsläpp på 271 000 kg CO₂-ekvivalenter. Den besparingen är mer än 10 gånger större än Krafringens årliga utsläpp av fossila växthusgasutsläpp för hela verksamheten (scope 1,2 & 3 enligt GHG-protokollet) (Krafringen, 2024b).

5.7.2 Sverige

En liknande överslagsberäkning kan göras för Sverige, då används Skogforsks resultat i deras bedömning av potentiellt ökat grotuttag (Parklund, 2023) som presenteras som överskott i Figur 2c i avsnitt 3.3.3. Den ökade mängden grot för hela Sverige som presenteras där är 13 736 GWh vilket, antaget att allt används i kraftvärmeverk med samma förutsättningar som Örtoftaverket, skulle innebära ungefär 2025 GWh mer el.

Det motsvarar en genomsnittlig elförbrukning hos 100 000 svenska villor under ett år (E.ON Energilösningar, 2024). Om denna ökade elproduktionen skulle ersätta el från solceller producerade i Kina, där majoriteten av alla solceller produceras (Müller m. fl., 2021), motsvarar det en besparing av växthusgasutsläpp på 32 600 ton CO₂-ekvivalenter. Motsvarande siffra för jämförelse med el från solceller tillverkade i EU är cirka 7 700 ton CO₂-ekvivalenter.

Skulle elen från grot istället ersätta den genomsnittliga elen i den nordiska elmixen skulle besparingen av växthusgasutsläppen uppgå till 155 000 ton CO₂-ekvivalenter vilket, för att sätta det i perspektiv, ungefär motsvarar 0,35% av hela Sveriges totala växthusgasutsläpp (Naturvårdsverket, 2024b). Beräkningarna är som tidigare nämnts ungefärliga och baserade på antaganden men belyser trots allt den stora skillnaden mellan el från skogsbränslen och den genomsnittliga nordiska elen. I Tabell 17 återfinns alla resultat för en samlad presentation.

5.7.3 Samlade resultat

Tabell 17: Sammanställning över resultat för ökad grot, elproduktion och besparingar av växthusgasutsläpp per år.

	Ökning grot [GWh]	Ökning el prod. [GWh]	Besp. växthusgaser Solceller - Kina [kg CO ₂ -ekv]	Besp. växthusgaser Solceller - EU [kg CO ₂ -ekv]	Besp. växthusgaser Nordisk elmix [kg CO ₂ -ekv]
Kraftringen	24	3,54	57 000	13 500	271 000
Sverige	13 736	2025	32 600 000	7 700 000	155 000 000

6 Diskussion

Att öka grotuttaget ur svenska skogar, utan negativ påverkan på miljö och biologisk mångfald, är ett sätt att optimera en av Sveriges viktigaste resurser i en tid med ökade behov av mer förnybar och hållbart producerad råvara. Resursoptimeringen skulle inte bara innebära en ökad vinst för värdekedjans aktörer utan det skulle också bidra med klimatnytta för hela landet.

Beräkningarna i fallstudien visar att det finns en konkret potential att öka uttaget av grot från de analyserade avverkningstrakterna utan att överskrida de hållbarhetsgränser som anges i Skogsstyrelsens riktlinjer. Detta resultat ligger i linje med de nationella analyser som presenteras i SKA22 (Skogsstyrelsen, 2022b) och i analysen från Skogforsk (Parklund, 2023) där ett ökat grotuttag bedöms möjligt. Samtidigt identifierades praktiska begränsningar i fallstudien, såsom markfuktighet och väderförhållanden, som påverkar när och hur groten kan plockas ut. Dessa faktorer är mycket viktiga att inkludera i planeringen då de i praktiken kan begränsa realiseringen av den teoretiska potentialen. Även om tekniska verktyg som förbättrade grotpotentialmodeller och bärighetsklassningar kan främja ett mer effektivt uttag krävs det fortsatt samverkan mellan skogsägare, skogsbolag, energibolag och myndigheter för att säkerställa att grotuttaget sker med hänsyn till lokala förutsättningar.

Klimatnytta från en förändring som ökat grotuttag är inte alltid helt enkel att kvantitativt sätta ett mått på då det kan ske i flera steg och på olika sätt. Den mest självklara klimatnyttan är dock ökningen av råvara som kan användas i förnybar energiproduktion och som substitut till andra, ofta fossilbaserade, produkter. Om hela uttaget i Sveriges fulla grotpotential skulle realiseras hade troligen inte all extra grot gått till kraftvärmeproduktion, utan kanske även till nya energibärare som t.ex. biodrivmedel eller till biokemikalier. Dessutom hade energiproduktionen skett i ett flertal olika produktionsanläggningar som alla har olika verkningsgrad och produktionsmönster. Oavsett osäkerheten belyser dock dessa överslagsberäkningar den nytta ett ökat uttag av grot kan göra om den används inom energisektorn. Mer förnybar el till energisystemet möjliggör utfasningen av kraftslag som släpper ut mer växthusgaser per producerad kilowattimme än det biobaserade kraftvärmeverket, samtidigt som en ökning i elproduktion även kan främja elektrifieringen av t.ex. transport- och industrisektorn. Dessutom kan det ökade grotuttaget bidra till stabilare elförsörjning i elområde 4 tack vara Krafringens placering vilket inte bara är en viktig fråga klimatmässigt för att undvika importerad el med högre klimatavtryck från kontinenten utan även en viktig samhällsnytta för elområdets invånare. I rapportens beräkningar inkluderas ej nyttan av ökad produktion av värme men även den kan antas föra med sig substitutionseffekter som bidrar till en ökad klimatnytta. Likaså kan användningen av groten inom andra sektorer medföra en positiv klimatpåverkan genom alternativ lagring och substitution.

Ett ökat grotuttag behöver inte direkt innebära att mer el produceras utan resursoptimeringen bör istället ses som en möjliggörare för ökad el- och värmeproduktion, eller annan energiproduktion. I Krafringens fall kan ett ökat grotuttag innebära stora fördelar ur ett klimatnyttaperspektiv med tanke på planerna för ytterligare ett kraftvärmeverk i Örtofta. Med realiseringen av kraftvärmeverk 2 kommer behovet av bränsle hos Krafringen att öka och då kan mer grot ha en direkt koppling till mer producerad el. Framförallt kan det innebära att Krafringen inte behöver vidga sitt leveratörsområde i samma utsträckning för att tillgodose det ökade behovet. Detta är klimatpositivt då längre transporter innebär större utsläpp, speciellt då stora delar av fordonsflottan fortfarande är fossilbaserad.

Optimering av grotuttaget utifrån rådande forskning kring biologisk mångfald innebär att särskild hänsyn behövs för att detta skulle bidra till klimatnytta på flera sätt. Kvarlämnandet av grövre träddelar innebär inte bara en positiv påverkan på den biologiska mångfalden, som är mycket viktig för motståndskraften mot klimatförändringar, utan även på systemets kolbalans då de grövre träddelarna tar längre tid att brytas ned och därmed fungerar som en mellanlång alternativ lagring av kol. Likaså visar forskningen att en skog med hög biologisk mångfald har ett bättre skydd mot skadeangrepp vilket på sikt innebär större tillväxt och därmed högre koldioxidinbindning. Ett viktigt teoretiskt bidrag i litteraturstudien är Kvarnbäckers modell för att kvantifiera påverkan på biodiversitet vid grotuttag. Trots att modellen inte används direkt i beräkningarna i detta arbetets fallstudie illustrerar den ett metodisk angreppssätt som kan integreras i framtida strategier för att realisera ett ökat grotuttag. Det faktum att flera trakter som analyserades i fallstudien hade en låg uttagsandel trots att påverkan från markfuktighet och nederbörd bedömdes låg antyder att fler faktorer, som t.ex. hänsyn till biologisk mångfald, spelar in. Kvarnbäckers modell kan bidra till mer informationsbaserade beslut om var och hur grotuttaget ska utformas och på så vis bidra till att det teoretiskt möjliga grotuttaget kan ske i praktiken utan negativ påverkan på biodiversitet.

En ökning av grotuttag från svenska skogar medför både en klimatnytta i form av minskade fossila utsläpp och en resursoptimering av redan avverkad biomassa. Samtidigt tydliggör både litteratur- och fallstudie att detta inte är en obegränsad resurs utan grotens ekologiska värden måste vägas mot dess värde som råvara inom energiproduktion och andra sektorer. Balansgången mellan klimatnytta från energiproduktion med grot och påverkan på biologisk mångfald, markens långsiktiga produktivitet och andra ekosystemtjänster kräver ett helhetsperspektiv där bioenergiproduktionen är en del av ett större system. En hållbar strategi bör således inte endast fokusera på att maximera uttaget utan även på ramverk och åtgärder som säkerställer att skogen kan fortsätta leverera en variation av ekosystemtjänster även i framtiden. I slutändan handlar det om att optimera brukandet av en begränsad resurs, snarare än att maximera användandet.

7 Slutsatser

Både litteratur- och fallstudien visar att det finns potential att öka grotuttaget från svenska skogar med marginell påverkan på miljö och ekosystemtjänster. För Krafringen skulle detta innebära en ökad tillgång till bränsle och möjligheter att effektivisera sin resursanvändning ytterligare för att möta framtidens energibehov och samtidigt bidra med klimatnytta genom substitution av energikällor med högre klimatavtryck. Studien belyser också att grot inte är en obegränsad resurs och att uttaget måste ske med hänsyn till avverkningstraktens lokala förhållanden gällande biologisk mångfald, markens långsiktiga produktionsförmåga, samt andra ekosystemtjänster.

Vidare illustrerar fallstudien att väderförhållanden, markfuktighet och logistiska förutsättningar har viss påverkan på det faktiska grotuttagets storlek vilket understryker behovet av utvecklade grotmodeller och arbetsmetoder. Behovet av metoder för att kvantifiera och således kunna bevara biodiversitet bedöms också öka i takt med att ett större grotuttag blir verklighet.

I ett större perspektiv utgör ett ökat grotuttag snarare en möjliggörare än en garanti för ökad klimatnytta. För att uppnå en långsiktigt hållbar användning av grot som resurs krävs att klimat- och biodiversitetsmål betraktas som sammanlänkande och att framtidens skogsbruk inte enbart optimeras för råvaruproduktion, utan även för resiliens, kolinlagring, och biologisk mångfald.

Referenser

- Bioenergitidningen (26 aug. 2022). *Rekordtidig uppstart av Örtoftaverket möjliggör mer el med biobränsle i södra Sverige*. Hämtad: 2025-05-15. URL: <https://bioenergitidningen.se/rekordtidig-uppstart-av-ortoftaverket-mojliggor-mer-el-med-biobransle-i-sodra-sverige/>.
- Biometria (u.å.). *Om oss*. Hämtad: 2025-02-17. URL: <https://www.biometria.se/om-biometria/om-oss/>.
- Björheden, R. (2019). *Det svenska skogsbrukets klimatpåverkan: Upptag och utsläpp av växthusgasen koldioxid*. Tekn. rapport. Skogforsk.
- Bruun, O. (febr. 2021). *Skogen, klimatet och den biologiska mångfalden*. Tekn. rapport. Sweden: Naturskyddsföreningen.
- Börjesson, P. (2025). *Förändringar i tillförselpotential av långsiktigt hållbar skogsbiomassa*. Tekn. rapport IMES/EESS Rapport Nr 140. Lund: Miljö- och energisystem, LTH, Lunds universitet. URL: https://lucris.lub.lu.se/ws/portalfiles/portal/218093319/Tillfo_rselpotential_av_skogsbiomassa_-_Rapport_Nr_140_2025_.pdf.
- Börjesson, P., Björnsson, L., (Eds.) (2024). *Perspektiv på bioenergi: Biomassans framtida roll i en föränderlig värld*. 133. Lunds universitet, Avdelningen för miljö- och energisystem.
- Cálix, M., Alexander, K., Nieto, A., Dodelin, B., Soldati, F., Telnov, D., Vazquez-Albalade, X., Aleksandrowicz, O., Audisio, P., Istrate, P., Jansson, N., Legakis, A., Liberto, A., Makris, C., Merkl, O., Mugerwa Pettersson, R., Schlaghamersky, J., Bologna, M., Brustel, H., Buse, J., Novák, V., Purchart, L. (2018). *European Red List of Saproxylic Beetles*. Tekn. rapport. Hämtad: 2025-04-08. Brussels, Belgium: IUCN. URL: <https://portals.iucn.org/library/node/47296>.
- Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, K., Robert, N., Cazzaniga, N., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo Cano, J. I., Mubareka, S. (2021). *The use of woody biomass for energy production in the EU*. Tekn. rapport JRC122719. European Commission: Joint Research Centre. DOI: 10.2760/831621.
- Cowie, A. L., Berndes, G., Bentsen, N. S., Brandão, M., Cherubini, F., Egnell, G., George, B., Gustavsson, L., Hanewinkel, M., Harris, Z. M., Johnsson, F., Junginger, M., Kline, K. L., Koponen, K., Koppejan, J., Kraxner, F., Lamers, P., Majer, S., Marland, E., Nabuurs, G.-J., Pelkmans, L., Sathre, R., Schaub, M., Smith, C. T. J., Soimakallio, S., Van Der Hilst, F., Woods, J., Ximenes, F. A. (16 april 2021). "Applying a science-based systems perspective to dispel misconceptions about climate effects of forest bioenergy". *GCB Bioenergy* 13.8, s. 1210–1231. DOI: 10.1111/gcbb.12844. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcbb.12844>.
- de Jong, J., Akselsson, C., Berglund, H., Egnell, G., Gerhardt, K., Lönnberg, L., Olsson, B., Stedingk, H. von (2013). *Konsekvenser av ett ökat uttag av skogsbränsle – En syntes från Energimyndighetens bränsleprogram 2007–2011. Sammanfattning av syntesrapporten*. Tekn. rapport ER 2013:16. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- de Jong, J., Akselsson, C., Egnell, G., Löfgren, S., Olsson, B. A. (1 jan. 2017). "Realizing the energy potential of forest biomass in Sweden – How much is environmentally sustainable?" *Forest Ecology and Management* 383, s. 3–16. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.06.028.

- de Jong, J., Akselsson, C., Karlsson, P.-E., Suominen, T., Jasinevičius, G. (2021). *Assessing forest biomass use in south Sweden – Development of methods for sustainability analysis*. Tekn. rapport. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU). URL: https://www.slu.se/globalassets/ew/org/centrb/cbm/dokument/ovrig-forskning/j-de-jong-final-report_41954_1.pdf.
- E.ON Energilösningar (22 april 2024). *Normal elförbrukning i villa – Få kontroll på årsförbrukningen*. Hämtad: 2025-05-22. URL: <https://www.eon.se/el/guider-tips/villa>.
- Egnell, G. (1 jan. 2011). "Is the productivity decline in Norway spruce following whole-tree harvesting in the final felling in boreal Sweden permanent or temporary?" *Forest Ecology and Management* 261.1, s. 148–153. DOI: 10.1016/j.foreco.2010.09.045.
- Energiföretagen Sverige (30 mars 2023). *Inga skärpta krav för skogsbränslen i energisektorn*. Hämtad: 2025-02-07. URL: <https://www.energi.se/artiklar/2023/mars-2023/inga-skarpta-krav-for-skogsbranslen-i-energisektorn/>.
- Energiföretagen Sverige (27 mars 2025). *Svensk elproduktion och installerad effekt 2024 – en regional översikt*. Hämtad 2025-04-28. URL: <https://www.energiforetagen.se/medlemsportalen/medlemsnyheter/2025/mars/svensk-elproduktion-och-installerad-effekt-2024--en-regional-oversikt2/>.
- Energimyndigheten (21 juni 2023). *Sveriges energi- och klimatmål*. Hämtad: 2025-01-30. URL: <https://www.energimyndigheten.se/klimat/klimat/sveriges-energi--och-klimatmal/>.
- Energimyndigheten (26 sept. 2024). *Lagen om hållbarhetskriterier*. Hämtad: 2025-03-10. URL: <https://www.energimyndigheten.se/klimat/hallbarhetskriterier/hallbarhetslagen/>.
- Energimyndigheten (mars 2025). *Trädbränsle och torvpriser, per år exklusive skatt, från och med 1993, kronor/MWh fritt förbrukare, löpande priser*. Hämtad: 2025-05-19. URL: https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Energimyndighetens_statistikdatabas/Energimyndighetens_statistikdatabas_Officiell_energistatistik_Tradbransle_och_torvpriser/2_EN0307_2.px/.
- European Union (2023). *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources – Article 29: Sustainability and greenhouse gas emissions saving criteria for biofuels, bioliquids and biomass fuels*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32023L2413#d1e1884-86-1>.
- Europeiska unionens råd (31 jan. 2025). *Fit for 55: LULUCF – Land use, land use change and forestry*. Hämtad: 2025-03-04. URL: <https://www.consilium.europa.eu/sv/infographics/fit-for-55-lulucf-land-use-land-use-change-and-forestry/>.
- Fernandez Lacruz, R., Eriksson, A., Parklund, T., Davidsson, A., Eliasson, L. (2023). *Marginalkostnadskurvor för skoglig biomassa*. (1174-2023). Hämtad: 2025-02-17. Skogforsk. URL: https://www.skogforsk.se/cd_20231120102108/contentassets/b1364291500a4e069d02452168831509/ap-1174-2023-marginalkostnadskurvor-for-skoglig-biomassa.pdf.
- Fossilfritt Sverige (2021). *Biostrategi för fossilfri konkurenskraft*. Hämtad: 2025-01-30. URL: <https://fossilfritt Sverige.se/wp-content/uploads/2021/11/Fossilfritt-Sveriges-biostrategi.pdf>.

- Fältskog, J. (30 okt. 2024). *Grot – nu växer efterfrågan*. Hämtad: 2025-05-19. URL: <https://www.skogen.se/nyheter/grot-nu-vaxer-efterfragan/>.
- Föreningen Skogen (2000). *Skogsencyklopedin - Trädbränsle*. Hämtad: 2025-02-04. URL: <https://www.skogen.se/glossary/tradbransle/>.
- Hannrup, B., Möller, J. J., Larsson, W., Malm, J., Wilhelmsson, L. (2009). *Utvärdering av ett system för beräkning och geografisk visualisering av avverkade kvantiteter skogsbränsle*. Tekn. rapport 694. Uppsala: Skogforsk.
- Hanssen, K. H., Floistad, I. S., Granhus, A., Sjøgaard, G. (2017). "Harvesting of Logging Residues Affects Diameter Growth and Pine Weevil Attacks on Norway Spruce Seedlings". *Scandinavian Journal of Forest Research* 33.1, s. 40–49. DOI: 10.1080/02827581.2017.1315957.
- International Organization for Standardization (2 nov. 2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines (ISO 14044:2006)*.
- IPBES (2019). *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES Secretariat. ISBN: 978-3-947851-20-1. URL: [https://www.ipbes.net/system/files/2021-06/2020%20IPBES%20GLOBAL%20REPORT\(FIRST%20PART\)_V3_SINGLE.pdf](https://www.ipbes.net/system/files/2021-06/2020%20IPBES%20GLOBAL%20REPORT(FIRST%20PART)_V3_SINGLE.pdf).
- Jacobson, S., Högbom, L., Ring, E., Nohrstedt, H. Ö. (2016a). "The distribution of logging residues and its impact on seedling establishment and early plant growth in two Norway spruce stands". *Scandinavian Journal of Forest Research* 32.2, s. 134–141. DOI: 10.1080/02827581.2016.1194456.
- Jacobson, S., Pettersson, F., Sikström, U. (2016b). *Tillväxteffekter av asktillförsel på skogsmark med varierande bördighet*. Tekn. rapport 2016:328. Energiforsk. URL: <https://energiforskmedia.blob.core.windows.net/media/22062/tillvaxteffekter-av-asktillforsel-pa-skogsmark-energiforskrapport-2016-328.pdf>.
- Johannesson, T., Valund, T., Eliasson, L. (2023). *Uttag av grot som skogsbränsle*. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). URL: <https://www.slu.se/contentassets/67d4894e46e648e5afd6830936e11ffe/utbildningsmaterial-skogsbransle-slutversion-230523.pdf>.
- Jönsson, A., Akselsson, C., Ekroos, J. (2021). *Dragkampen om skogen*. CEC Rapport Nr. 7. Centrum för miljö- och klimatvetenskap, Lunds Universitet. URL: <https://www.cec.lu.se/sv/sites/cec.lu.se/sv/files/2021-10/Dragkamp%20cec%20nr%207%20tillg%C3%A4nglighetsanpassad.pdf>.
- Kraftringen (2023). *Hållbarhetsrapport 2023*. URL: https://www.kraftringen.se/globalassets/kraftringen/media/dokument-gammalt/rapport/hallbarhetsrapport_2023.pdf.
- Kraftringen (17 maj 2024a). *Dom om nytt kraftvärmeverk i Örtofta vinner laga kraft*. Hämtas: 2025-02-03. URL: <https://www.kraftringen.se/pressnyheter/2024-q2/240517-dom-om-nytt-kraftvarmeverk-i-ortofta-vinner-laga-kraft/>.
- Kraftringen (2024b). *Hållbarhetsrapport 2024*. URL: https://www.kraftringen.se/globalassets/kraftringen/media/dokument-ny-sajt/rapporter/hallbarhetsrapporter/hallbarhetsrapport-2024.pdf?t_id=_FfjidXD2S2CzhNdGtaQRg%3d%3d&t_uuid=Eprtr5s5RDK-QuFJeHAg5Q&t_q=h%C3%A5llbarhetsrapport&

_t_tags=language%3asv%2candquerymatch&t_hit.id=Kraftringen_CMS12_Models_Media_DocumentFile/_167b8de3-4257-4130-81e7-3a03018b4b6b&t_hit.pos=4&t_id=FfjidXD2S2CzhNdGtaQRg%3d%3d&t_uuid=E7UFAj1HRn20CLQRXz2nwg&t_q=h%C3%A5llbarhetsrapport&t_tags=siteid%3a45b282a6-f992-4b2c-a162-f41facc7daf4%2clanguage%3asv%2candquerymatch&t_hit.id=Kraftringen_CMS12_Models_Media_DocumentFile/_167b8de3-4257-4130-81e7-3a03018b4b6b&t_hit.pos=4.

Kraftringen (u.å). *Örtoftaverket - lokalproducerad el och fjärrvärme från hjärtat av Skåne*. Hämtad: 2025-02-03. URL: <https://www.kraftringen.se/om-kraftringen/om-oss/vara-anlaggningar/ortoftaverket/>.

Kraftringen Energi AB (17 mars 2023). *Environmental Product Declaration: Electricity from cogeneration plant in Örtofta*. Hämtad: 2025-04-28. URL: <https://api.environdec.com/api/v1/EPDLibrary/Files/42cba046-6481-42ab-2475-08db259f9365/Data>.

Kvarnbäck, A. (aug. 2024). "Biodiversity Impact Assessment of Logging Residue Removal: Applying the Biodiversity Potential Method to Kraftringen's Logging Residue Fuel". Master thesis. Lund University, Environmental och Energy Systems Studies, LTH.

Lundmark, T. (2017). "Hyggesfritt skogsbruk och klimatet". *Hyggesfritt skogsbruk: Erfarenheter från Sverige och Finland*. Vol. 2017:1. Future Forests Rapportserie. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet (SLU), s. 71–74.

Luoranen, J., Viiri, H. (jan. 2012). "Soil Preparation Reduces Pine Weevil (*Hylobius abietis* (L.)) Damage on Both Peatland and Mineral Soil Sites One Year after Planting". *Silva Fennica* 46, s. 151–162. DOI: 10.14214/sf.71.

Marklund, L. (1988). *Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige*. Tekn. rapport Rapport 45. 73 s. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, Institutionen för skogstaxering.

Müller, A., Friedrich, L., Reichel, C., Herceg, S., Mittag, M., Neuhaus, D. H. (15 sept. 2021). "A comparative life cycle assessment of silicon PV modules: Impact of module design, manufacturing location and inventory". *Solar Energy Materials and Solar Cells* 230, s. 111277. DOI: 10.1016/j.solmat.2021.111277.

Mäkinen, H., Smolander, A. (15 mars 2025). "Effects of logging residue on the growth and properties of the humus layer in Scots pine and Norway spruce stands". *Forest Ecology and Management* 580. DOI: 10.1016/j.foreco.2025.122526.

Möller, J. J., Hannrup, B., Larsson, W., Barth, A., Arlinger, J. (2009). *Ett system för beräkning och geografisk visualisering av avverjade kvantiteter skogsbränsle baserat på skördardata*. Tekn. rapport 677. Uppsala: Skogforsk.

Naturskyddsföreningen (5 mars 2024). *Vanliga frågor om vindkraft*. Hämtad: 2025-05-15. URL: <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vanliga-fragor-om-vindkraft/>.

Naturvårdsverket (15 dec. 2023). *Varför är biologisk mångfald viktigt?* Hämtad 2025-04-24. URL: <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/biologisk-mangfald/varfor-ar-biologisk-mangfald-viktigt/>.

- Naturvårdsverket (17 dec. 2024a). *Skog, utsläpp och upptag av växthusgaser*. Hämtad 2025-04-15. URL: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-utslapp-och-upptag-i-skogen/>.
- Naturvårdsverket (17 dec. 2024b). *Sveriges utsläpp och upptag av växthusgaser*. Hämtad: 2025-05-22. URL: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/sveriges-utslapp-och-upptag-av-vaxthusgaser/>.
- Naturvårdsverket (17 dec. 2024c). *Tillväxt och avverkningar i skogen*. Hämtad: 2025-03-14. URL: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/skog/skog-tillvaxt-och-avverkningar/>.
- Naturvårdsverket (24 maj 2024d). *Värden för att beräkna utsläppsminskning*. Tekn. rapport. Hämtad: 2025-05-19. Naturvårdsverket. URL: <https://www.naturvardsverket.se/4999d1/globalassets/ammen/klimatomställning/klimatklivet/dokument/klimatklivet-varden-for-att-berakna-utslappsminskning.pdf>.
- Naturvårdsverket (17 dec. 2024e). *Växthusgaser: Nettoutsläpp och nettoupptag från markanvändning*. Hämtad: 2025-03-04. URL: <https://www.naturvardsverket.se/data-och-statistik/klimat/vaxthusgaser-nettoutslass-och-nettoupptag-fran-markanvandning/>.
- Ortiz, C. A., Lundblad, M., Lundström, A., Stendahl, J. (nov. 2014). "The effect of increased extraction of forest harvest residues on soil organic carbon accumulation in Sweden". *Biomass and Bioenergy* 70, s. 230–238. DOI: 10.1016/j.biombioe.2014.08.030.
- Parklund, T. (14 april 2023). *Hur mycket GROT lämnas kvar i skogen?* Kunskapsartikel 22-2023. Hämtad: 2025-02-14. Skogforsk. URL: <https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/kunskapsartiklar/2023/hur-mycket-grot-lamnas-kvar-i-skogen/>.
- Ranius, T., Hämäläinen, A., Egnell, G., Olsson, B., Eklöf, K., Stendahl, J., Rudolphi, J., Sténs, A., Felton, A. (1 mars 2018). "The effects of logging residue extraction for energy on ecosystem services and biodiversity: A synthesis". *Journal of Environmental Management* 209, s. 409–425. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.12.048.
- Sandgren, A., Nilsson, J. (2021). *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export*. Tekn. rapport 2021:4. Hämtad: 2025-05-15. Stockholm: Naturvårdsverket. URL: <https://www.smed.se/luft-och-klimat/4708>.
- Siljebo, W., Möller, J. J., Hannrup, B., Bhuiyan, N. (2017). *hprCM – modul för beräkning av trädegenskaper och skogsbränslekvantiteter baserat på skördardata*. Tekn. rapport 944. Uppsala: Skogforsk.
- Skogforsk (2023a). "Bränsleuttag – inte alltid klimatsmart". *Tidningen Vision* 1. Hämtad: 2025-04-03. URL: <https://www.skogforsk.se/kunskapsbanken/tidningen-vision/2023/vision-nummer-1-2023/bransleuttag-inte-alltid-klimatsmart/>.
- Skogforsk (2023b). *Faktasammanställning Skogsbränsle*. Hämtad: 2025-02-04. URL: https://www.skogforsk.se/cd_20231116162027/contentassets/3cac6b78890d467bb033cac1bac7df28/faktasammanstallning-grot_20231025_press.pdf.

Skogforsk (2023c). *Förbättrade grotprogno­ser för precisionsplanering*. Projektnr: 2023-01054. Hämtad 2025-04-10. URL: <https://www.skogforsk.se/projekt/forbatttrade-grotprogno­ser-for-precisionsplanering/>.

Skogforsk (u.å.). *Om Skogforsk*. Hämtad 2025-04-10. URL: <http://skogforsk.se/om-skogforsk/>.

Skogsindustrierna (21 okt. 2024). *LULUCF-förordningen*. Accessed: 2025-03-10. URL: <https://www.skogsindustrierna.se/prioriterade-fragor/klimat/lulucf/>.

Skogskunskap (9 juni 2016). *Kunskap Direkt Skogsbränsle*. URL: https://www.skogskunskap.se/contentassets/d7f8c00573ef4f71b395aa132a8298d8/kunskap_direkt_skogsbransle_original.pdf.

Skogskunskap (28 nov. 2024a). *Hur snabbt växer skogen?* Hämtad: 2025-04-02. URL: <https://www.skogskunskap.se/aga-skog/fakta-om-skogen/hur-snabbt-vaxer-skogen/>.

Skogskunskap (17 okt. 2024b). *Snyttbagge*. Hämtad: 2025-03-31. URL: <https://www.skogskunskap.se/skota-barrskog/skador-pa-skogen/insektsangrepp/snyttbagge/>.

Skogsstyrelsen (febr. 2018). *Skogens ekosystemtjänster – status och påverkan*. 2017/13. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2017/rapport-201713-skogens-ekosystemtjanster---status-och-paverkan.pdf>.

Skogsstyrelsen (2019a). *Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder*. (2019:13). URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-2019-13-regler-och-rekommendationer-for-skogsbransleuttag-och-kompensationsatgarder---kunskapsunderlag.pdf>.

Skogsstyrelsen (2019b). *Vägledning - Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder*. (2019:14). URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-20222021202020192018/rapport-2019-14-regler-och-rekommendationer-for-skogsbransleuttag-och-kompensationsatgarder.pdf>.

Skogsstyrelsen (2022a). *Skogliga konsekvensanalyser 2022 - syntesrapport*. (2022:11).

Skogsstyrelsen (2022b). *Skogliga konsekvensanalyser 2022 - virkesbalanser*. (2022:10).

Skogsstyrelsen (4 jan. 2023a). *Bioenergi från skogen*. Hämtad: 2025-02-04. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/miljo-och-klimat/bioenergi-fran-skogen/>.

Skogsstyrelsen (2023b). *Skogsvårds­lagstiftningen - gällande regler 1 september 2022*. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/lag-och-tillsyn/skogsvardslagen/skogsvardslagstiftningen-2022.pdf>.

Skogsstyrelsen (16 sept. 2024a). *Skogsbränsle*. Hämtad: 2025-02-04. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/skogsbransle/>.

Skogsstyrelsen (2024b). *Underlag för kostnadseffektivt genomförande av förnybartdirektivet - slutredovisning*. (2024:09). URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/rapporter/rapporter-2024/rapport-2024-09-underlag-for-kostnadseffektivt-genomforande-av-fornybartdirektivet.pdf>.

- Skogsstyrelsen (14 mars 2025). *Dikning*. Hämtad: 2025-05-14. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/bruka-skog/dikning/>.
- Skogsstyrelsen, Bergh, J., Egnell, G., Lundmark, T. (2020). *Skogsskötselserien – Skogens kolbalans och klimatet*. Utg. av C. Fries. Skogsstyrelsens förlag. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotselserien-21-skogens-kolbalans-och-klimatet-2020.pdf>.
- Skogsstyrelsen, SLU, Skogsindustrierna, LRF Skogsägarna (2012). *Skogsskötselns grunder och samband*. URL: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/mer-om-skog/skogsskotselserien/skogsskotselserien-1-skogsskotselns-grunder-och-samband.pdf>.
- Skogssällskapet (26 april 2022). *Avverka utan spår – är det möjligt?* Hämtad: 2025-05-07. URL: <https://www.skogssallskapet.se/kunskapsbank/artiklar/2022-03-18-avverka-utan-spar---ar-det-mojligt.html>.
- SMHI (2025). *Nederbörds mängd – Månadsvis summering, station 63160*. Hämtad: 2025-05-07. URL: <https://www.smhi.se/data/hitta-data-for-en-plats/ladda-ner-vaderobservationer/precipitationMonthlySum/63160>.
- Smolander, A., Saarsalmi, A., Tamminen, P. (2015). "Response of soil nutrient content, organic matter characteristics and growth of pine and spruce seedlings to logging residues". *Forest Ecology and Management* 357, s. 117–125. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.07.019.
- Strengers, B., Matthews, R., Berndes, G., Cowie, A., Laganière, J. (okt. 2024). *On the Science of Carbon Debt*. Tekn. rapport 4907. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. URL: <https://www.pbl.nl/en/publications/on-the-science-of-carbon-debt>.
- Svenska kraftnät (10 mars 2025). *Så säkrar Svenska kraftnät elförsörjningen i södra Sverige*. Hämtad 2025-04-28. URL: <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/sa-sakrar-svenska-kraftnat-elforsorjningen-i-sodra-sverige/>.
- Sveriges Miljömål (u.å.). *Nedfall av kväve till barrskog*. 2025-04-16. URL: <https://sverigemiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>.
- Sveriges miljömål (31 mars 2023). *Generationsmålet*. Hämtad: 2025-03-04. URL: <https://sverigemiljomal.se/miljomalen/generationsmalet/>.
- Södra (30 juni 2020). *Allt bättre markskoning visar undersökningar*. Hämtad: 2025-05-14. URL: <https://www.sodra.com/sv/se/skog-medlem/aktuellt/sodrakontakt/nyhetsartiklar/2020/nummer-2/allt-battare-markskoning-visar-undersokningar/>.
- Södra (28 febr. 2024). *God efterfrågan på skogsråvara till biobränsle*. Hämtad: 2025-05-19. URL: <https://www.sodra.com/sv/se/om-sodra/pressrum/pressmeddelanden/god-efterfragan-pa-skogsravara-till-biobransle/>.
- Södra (u.å.). *Våra verksamheter*. Hämtad 2025-04-10. URL: <https://www.sodra.com/sv/se/om-sodra/vara-verksamheter/>.

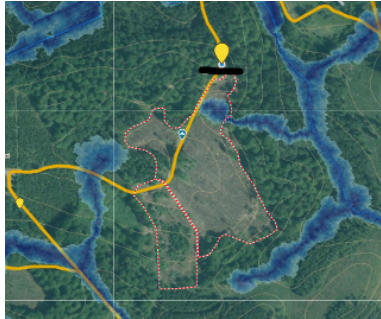
- Wikberg, P.-E., Josefsson Ortiz, C., Markström, M., Lundblad, M. (2023). *Scenarier för utveckling av upptag och utsläpp av växthusgaser från LULUCF-sektorn*. Tekn. rapport 557. Sveriges lantbruksuniversitet (SLU).
- Wikipedia contributors (30 dec. 2024). *Förna*. Hämtad 2025-03-19. URL: <https://sv.wikipedia.org/wiki/F%C3%B6rna>.
- Vítková, L., Bače, R., Kjučukov, P., Svoboda, M. (1 dec. 2018). "Deadwood management in Central European forests: Key considerations for practical implementation". *Forest Ecology and Management* 429, s. 394–405. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.07.034.
- WSP (17 dec. 2021). *Lösningar för balansering i elsystemet samt kraftvärmens förutsättningar - en studie om potential, utsläpp, hinder, incitament och styrmedel*. Tekn. rapport 10325251. På uppdrag av Naturvårdsverket och Energimyndigheten.

Appendix A - Skogsdata

Tabell 18: Fullständigt dataset med avverkningsdata för beräkningar, levererat av Södra.

Traktnr	Virkesordernr	Rundvirkesv. (m ³ fub)	Medelstamv. (m ³ fub)	Tall	Gran	Löv	Tall/Gran/Löv	Flisad volym (m ³ s)	MWh	FH	ton	ton TS	Avverkad	Grotskot	Flisad
1	90046765	1538	0,950	0,00	0,98	0,02	0/98/2	353	340	49,0	137,8	70	2023-10-01	2024-04-01	2024-10-14
2	90045424	835	0,566	0,06	0,90	0,04	6/90/4	253	250	34,7	76,7	50	2023-10-20	2024-04-17	2024-09-23
3	90077784	812	0,644	0,00	1,00	0,00	0/100/0	200	192	27,4	52,0	38	2024-03-18	2024-08-07	2024-09-12
4	90077571	647	0,511	0,00	0,98	0,02	0/98/2	199	205	29,5	58,4	41	2024-05-02	2024-08-16	2025-02-24
5	90077776	706	0,460	0,00	0,98	0,02	0/98/2	300	294	31,8	83,4	57	2024-05-28	2024-08-10	2024-09-12
6	90119134	1565	0,514	0,00	0,98	0,03	0/98/3	567	501	42,6	171,8	99	2024-06-28	-	2025-01-08
7	90079965	1316	0,928	0,00	1,00	0,00	0/100/0	372	372	36,5	114,7	73	2024-01-20	2024-05-28	2024-10-10
8	90075137	2865	0,673	0,01	0,97	0,02	1/97/2	496	463	39,4	153,1	93	2023-12-13	2024-06-28	2024-10-16
9	90120833	1126	0,470	0,01	0,98	0,01	1/98/1	409	339	39,4	118,4	72	2024-03-17	2024-12-27	2025-02-16
10	90075110	1650	0,967	0,00	1,00	0,00	0/100/0	261	243	42,7	85,8	49	2023-10-30	2024-07-20	2024-10-13
11	90120817	2128	0,720	0,00	1,00	0,00	0/100/0	488	-	-	-	-	2023-11-23	2024-10-09	2025-03-04
12	90096908	326	0,572	0,00	1,00	0,00	0/100/0	160	139	50,2	59,5	30	2023-09-20	2024-10-01	2025-03-04
13	90085078	779	0,443	0,16	0,77	0,07	16/77/7	435	401	36,0	128,2	82	2024-05-15	2024-07-31	2025-03-01
14	90117409	985	0,524	0,04	0,94	0,02	4/94/2	426	416	27,8	115,2	83	2024-04-30	-	2025-04-15
15	90109120	514	0,781	0,06	0,92	0,02	6/92/2	270	227	43,4	85,1	48	2023-10-15	2024-08-18	2025-01-08
16	90108744	207	0,574	0,00	1,00	0,00	0/100/0	115	102	40,0	35,7	21	2024-05-15	2024-08-06	2024-12-03
17	90102029	261	0,257	0,00	0,88	0,12	0/88/12	247	192	38,8	64,4	39	2024-08-01	2024-09-24	2024-10-30
18	90093046	375	0,259	0,01	0,96	0,02	1/96/2	158	145	49,0	56,8	29	2023-12-01	2024-07-15	2024-12-15

Appendix B - Markfuktighetskartor



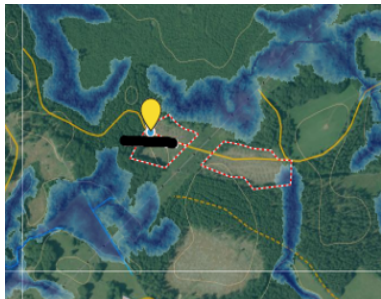
(a) Trakt 1



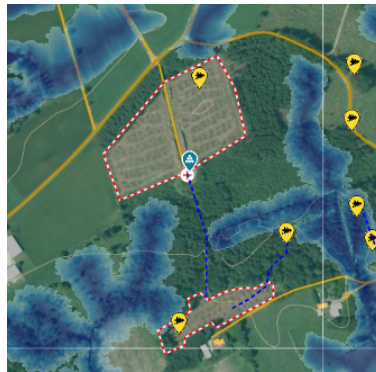
(b) Trakt 2



(c) Trakt 3



(a) Trakt 4



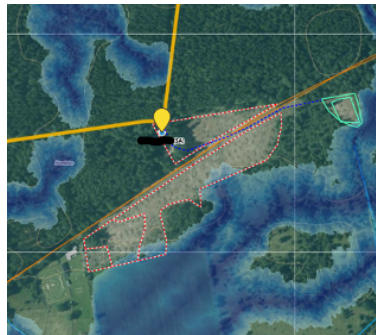
(b) Trakt 6



(c) Trakt 7



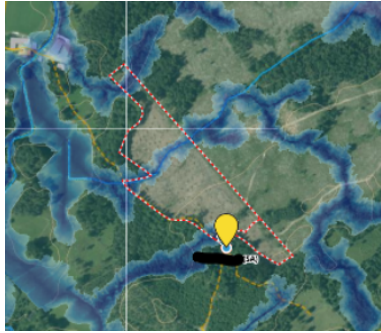
(a) Trakt 8



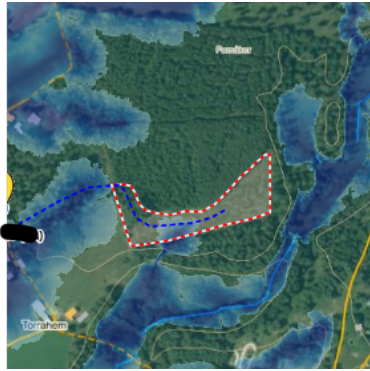
(b) Trakt 9



(c) Trakt 10



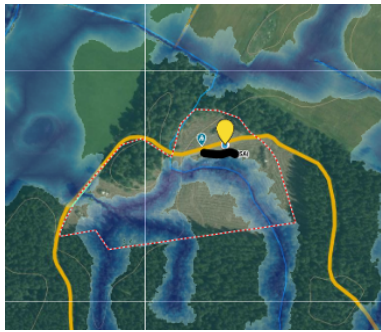
(a) Trakt 11



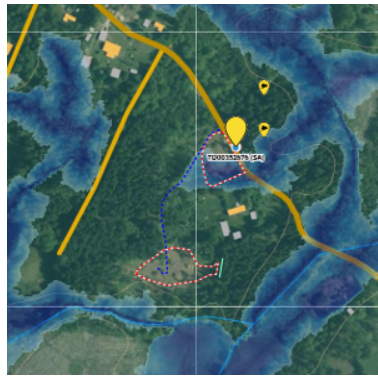
(b) Trakt 12



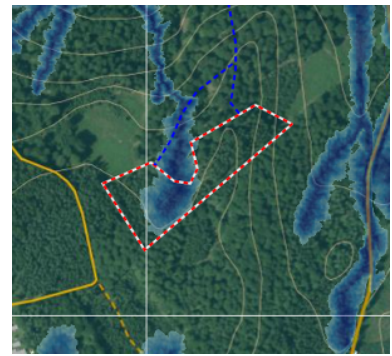
(c) Trakt 13



(a) Trakt 14



(b) Trakt 16



(c) Trakt 17



Figur 16: Trakt 18