

# ENERGIOPTIMERA SKOGSBRUKET



RAPPORT 2012:13



tersundsskogarna markerade i grönt. © Lantmät

sskogarna uppvisar enligt PlanVis beräkninga  
är granen liksom granståndorerna dominerar  
e andel, ca. 5 % av tallförrådet, utgörs av cont  
3,14... år





# ENERGIOPTIMERA SKOGSBRUKET

FALLSTUDIER AV POTENTIALEN  
I SKOGSBRÄNSLEANPASSNINGAR

HAMPUS HOLMSTRÖM

PEDER WIKSTRÖM

LJUSK OLA ERIKSSON

ISBN 978-91-7381-094-4

© 2012 Svensk Fjärrvärme AB

## FÖRORD

Syftet med det här projektet har varit att ge underlag för bedömningar av hur bränsletillförsel från skogen till energisektorn kan utvecklas under olika förutsättningar. Det gäller framför allt pris, teknik och miljörestriktioner. Projektet har baserats på långsiktiga analyser av tre större skogsfastigheter med planeringssystemet Heureka PlanWise. Resultaten visar att det kan vara ekonomiskt intressant för skogsägare att i framtiden planera också för skogsbränsle och inte bara för de två traditionella, timmer och massaved.

Projektet har utförts av Hampus Holmström, Peder Wikström och Ljusk Ola Eriksson på Sveriges lantbruksuniversitet, SLU. En referensgrupp har varit knuten till projektet och kommit med värdefulla synpunkter under projektets gång. Gruppen har bestått av Karl Sandstedt Göteborg Energi, Jonas Vestun Jämtkraft, Peter Nyström ENA Energi samt Sofia Backéus, Anna Lundborg och Kalle Svensson alla från Energimyndigheten.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Energimyndigheten och fjärrvärmebranschen. Fjärrsyn ska stärka möjligheterna för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för det hållbara samhället till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtidens teknik.

Christian Schwartz  
Ordförande i Svensk Fjärrvärmes omvärldsråd

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns styrelse eller Svensk Fjärrvärme har tagit ställning till innehållet.

## SAMMANFATTNING

Idag är intresset för skogsbränsle större än vad det varit på många år. Möjligen får man gå tillbaka till förra årtusendets vargavintrar för att finna en motsvarande efterfrågan på skog avsett som bränsle för uppvärmning. Pågående klimatförändringar ställer krav på global nivå att samhällen i allt större utsträckning minskar användningen av fossila bränslen och istället ökar andelen av förnyelsebara energikällor. I Sverige finns högt ställda mål och visionära propositioner kring landets energiförsörjning och hur den på relativt kort tid ska växla över till mer klimatneutrala alternativ. För ett land som Sverige faller det sig naturligt att studera de möjligheter som här ges av våra många skogar. Förutom det uppenbara i att skog kan eldas för att ge värme kan den, nästan lika uppenbart, även användas vid elproduktion. Skogsprodukter används dessutom för framställning av drivmedel i en mängd olika former. Svenskt skogsbruk är dock, av olika anledningar, i stor utsträckning fokuserat på två sortiment; sågtimmer och massaved. I många situationer betraktas skogsbränslesortimentet ännu inte fullt jämställt med de övriga två, utan mer som en restprodukt som eventuellt tillvaratas vid timmer- och massavedsproduktionen. På så sätt etableras merparten av de skogliga produktionsplanerna – avverkningar planeras för att på bästa sätt tillvarata värdet av timret och massaveden. I föreliggande fallstudier undersöks effekter av att anpassa skogsbruket till tre sortiment; timmer, massaved och skogsbränsle, där samtliga betraktas som jämställda och i sammanhanget lika viktiga. Fallstudierna genomfördes för tre skogsinnehav i olika delar av landet; för Skellefteå Krafts skogar med tyngdpunkt i norra Västerbottens kustland, för Jämtkrafts skogar kring Östersund och för den produktionsinriktade delen av Göteborgs stadsskogar. Analyserna gjordes med Heureka PlanVis, ett nytt skogligt planeringssystem framtaget av SLU i samarbete med Skogforsk. En välkommen och efterfrågad nytta med Heureka är möjligheterna att anpassa de skogsskötselsystem som simuleras och avses analyseras. Studierna kunde på så sätt baseras på scenarier för dels ett konventionellt trakthyggesbruk, dels ett bränsleanpassat skogsbruk. I bägge fallen är den övergripande målsättningen att nuvärdesmaximera skogsbruket, under ett antal restriktioner (främst för att erhålla realistiska scenarier), emedan bränsleanpassningarna består i ett möjligt ökat uttag av skogsbränsle på ett om möjligt bättre sätt än vid trakthyggesbruket. Att planera för skogsbränsleuttag och anpassa skogsbruket även till skogsbränslet visade sig i föreliggande studie kunna leda till en viss lönsamhetsökning, i genomsnitt med 6 %, samtidigt som skogsbränsleuttaget mer än fördubblades (i genomsnitt med en 158 procentig ökning). Det bränsleanpassade skogsbruket gav dessutom upphov till ett ökat massavedsuttag, i genomsnitt med 14 %. Detta då bränsleanpassningarna här ledde till en viss lönsamhetsökning vid gallring, som i sin tur ledde till ett något mer gallrings-intensivt skogsbruk, i genomsnitt med 1.9 gallringar/omloppstid istället för trakt-hyggesbrukets 1.3 gallringar/omloppstid. Även omloppstiderna och uttagsvolymerna vid slutavverkning ökade något genom att bränsleanpassa skogsbruket.

## SUMMARY

At present, the focus upon forest fuel is much greater than it has been in the past times. There are great hopes and expectations of “green energy”, such as forest based products, not only for heating purposes but also for the production of electricity. The ongoing and troublesome climate changes are demanding immediate action, where mankind must decrease the use of fossil fuels and find alternatives based on renewable energy sources. The Swedish government has set environmental goals and is proposing ways to change the energy supply to less climate affecting alternatives, with a better balance regarding the emission and the sequestration of carbon. To a country like Sweden, it is natural to look for the possibilities in an abundant natural resource – the forests. With several ongoing research and development projects, the potential in the forest from an energy perspective seems great. However, Swedish forestry has to a large extent been focusing upon only two assortments; saw timber and pulpwood. In a number of different forest management planning situations the forest fuel is still not equal with the other two, but regarded as a residue after harvesting of timber and pulpwood. The extraction of harvest residues is seldom planned for. In the case studies performed in the current project, the outcome of adapting the forestry to three assortments; timber, pulpwood and forest fuel, and regarding these three as equally important, is presented. The value of each assortment is, of course, varying according to a real price list. Three case study areas; Skellefteå, Östersund and Göteborg, were analyzed with the decision support system Heureka PlanWise. One of the many advantages with Heureka PlanWise is the option to simulate different kinds of forest management systems. Hence the analyses could be made for both a traditional and a forest fuel-adapted forestry. In all scenarios the overall goal was to maximize the net present value of forestry, including a number of constraints (to derive realistic scenarios). The adaption to forest fuel consisted of possibilities to increase the forest fuel-harvest in a better way (more goal fulfilling) in comparison to the traditional forestry. The case studies showed that adaptations also to forest fuels could increase the profitability of forestry, on average by 6 %. At the same time and more significant the harvest of forest fuel was more than doubled, increasing on average by 158 %. Moreover, the forestry adapted to forest fuel gave rise to an increased harvest of pulpwood, on average by 14 %. This followed from an increased thinning intensity, with on average 1.9 thinnings per rotation instead of the 1.3 thinnings per rotation in the traditional forestry. Also the rotation ages and the harvested volumes in final felling, including both timber and pulpwood, increased to some extent by the forest fuel adaptations of the forestry.

# INNEHÅLL

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INLEDNING</b>   | <b>8</b>  |
| 1.1      | BAKGRUND   | 8         |
| 1.2      | SYFTE  | 11        |
| <b>2</b> | <b>MATERIAL OCH METOD</b>                                  | <b>12</b> |
| 2.1      | INITIALT SKOGSTILLSTÅND                                    | 12        |
| 2.2      | SKÖTSELFÖRUTSÄTTNINGAR                                     | 17        |
| 2.3      | EKONOMISKA FÖRUTSÄTTNINGAR                                 | 20        |
| <b>3</b> | <b>RESULTAT</b>  | <b>22</b> |
| 3.1      | JÄMFÖRELSE AV KONVENTIONELLT OCH BRÄNSLEANPASSAT SKOGSBRUK | 22        |
| 3.2      | LÄMPLIGA SKOGAR FÖR BRÄNSLEANPASSNING                      | 42        |
| 3.3      | KÄNSLIGHETSANALYS AVSEENDE SKOGSBRÄNSLEPRIS                | 44        |
| <b>4</b> | <b>DISKUSSION</b>  | <b>47</b> |
| 4.1      | SLUTSATS   | 50        |
| <b>5</b> | <b>REFERENSER</b>  | <b>51</b> |
|          | <b>BILAGA 1</b>  | <b>54</b> |

# 1 INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Bioenergins andel i värme- och elproduktionen ökar. Investeringarna för ny kraftvärme i fjärrvärmesystem fram till 2015 uppskattas till cirka 40 miljarder kronor och energiproduktionen beräknas öka med nästan 8 TWh, varav 60 % förväntas bli biobränslebaserad. Den planerade kraftproduktionen från traditionella biobränslen, såsom avverkningsrester i form av grenar och toppar (GROT) samt biprodukter från skogsindustrin, kan öka under perioden 2007-2015 från 2.8 TWh till 6.7 TWh. Med en verkningsgrad på 89 % behövs det år 2015 cirka 28.5 TWh biobränsle för el och värmeproduktion i kraftvärmesektorn (Anon. 2008a, 2008b). I nuläget tillvaratas minst 10 TWh skogsbränsle per år. I ett vidare perspektiv kommer trycket på marknaden för bioenergi att öka genom insatser på klimatområdet, t.ex. genom EU's Renewable Energy Directive, RED (EU 2009). En trolig konsekvens är att den internationella marknaden expanderar då många stater inom EU planerar för en betydande import av bioenergi (Bowyer 2010). Det finns således ett betydande tryck för att öka uttaget av skogsbränsle. Vad kan då göras för att öka uttaget samtidigt som lönsamheten i skogsbruket värnas och andra tjänster och produkter från skogen beaktas? T.ex. så har MINT-utredningen pekat på en rad olika sätt att öka produktionen i skogen (Larsson m.fl. 2009). Då skogsbränsleuttag är en funktion av de skogsskötselåtgärder som görs och de senare har konsekvenser på mycket lång sikt måste frågan studeras i ett långt tidsperspektiv. Vidare, för att kunna prioritera utvecklingsinsatser för skogsbränslesystem så är det nödvändigt att känna både tillgången på skogsbränslen och kostnadsstrukturen för att använda denna resurs på ett uthålligt sätt. Samtidigt på-verkar teknologi och kostnadsstruktur lönsamheten av olika skogliga skötselåtgärder. Skötsel, teknik och ekonomi betingar varandra i ett längre tidsperspektiv.

I senaste Skogliga konsekvensanalyser och virkesbalanser, SKA-VB 08 (Skogsstyrelsen 2008a), beräknades de årliga potentialerna för skogsbränslen i Sverige under perioden 2010-2019 för tre olika nivåer av ekologiska, tekniska och ekonomiska restriktioner. Nivå ett innebär inga restriktioner alls, d.v.s. den teoretiskt maximala potentialen när alla toppar, grenar, barr och stubbar tas tillvara. Dock görs inga uttag från avverkningsytor som faller inom reservat eller på s.k. hänsynsmark. Nivå två innebär normala ekologiska restriktioner och ett uttag av GROT och barrstubbar på 80 % av avverkningsarealen. Nivå tre innebär framförallt en sänkning av uttaget till 60 %, vilket för GROT ungefär motsvarar dagens tillvaratagandegrad vid praktisk drift (Nurmi 2007). Nivå ett innebär ett uttag på totalt 28.7 miljoner ton torr substans (TS) per år eller 141 TWh per år fördelat på 19.1 miljoner ton TS från förnygringsavverkning och 9.6 miljoner ton TS från gallring. Med hänsyn till restriktionerna i nivå tre blir det sammanlagda uttaget vid gallring och förnygringsavverkning 10.9 miljoner ton TS per år, 68 % av uttaget från slutavverkning och 32 % från gallring. Scenarierna baseras på förnygringsavverkningar på ca 170000 ha/år under perioden 2010-2019. Referensscenariot beskriver utvecklingen förutsatt nuvarande skogs-



skötsel, att det första delmålet i ”Miljökvalitetsmålet Levande skogar” uppfylls till år 2010 och att en förändring av klimatet sker enligt SWECLIM’s B2-scenario (Rummukainen m.fl. 2004).

Som komplement till SKA-VB 08 har Athanassiadis m.fl. (2009) genomfört en analys av marginalkostnader för skörd av GROT och stubbar från förnygringsavverkningar i Sverige. GROT kan tas ut till en lägre kostnad än stubbar vilket leder till att marginalkostnadskurvorna för GROT startar på en lägre nivå (600 kr/ton TS för GROT, 800 kr/ton TS för stubbar). Först vid en marginalkostnad på 850 kr/ton TS uppgår andelen stubbar till 10 % av sortimentsfördelningen med nuvarande skogs-skötsel och aktuellt skogstillstånd. Vid en marginalkostnad på 1100 kr/ton TS är sortimentsfördelningen så gott som lika för GROT och stubbar.

GROT är det skogsbränsle som i dagsläget är mest utnyttjat, men det finns ändå en stor potential kvar. Stubbar utgör en än större potential än GROT, och är i dagsläget nästan inte alls utnyttjat. Det finns många svårigheter med stubbhantering, men stora satsningar gällande såväl teknik som miljö genomförs för att tillgängliggöra denna potential. Det finns också betydande mängder skogsbränsle att hämta från unga täta röjningsbestånd (Nordfjell m.fl. 2008). Samtidigt är det en öppen fråga om förstagallringar i framtiden kommer att skördas enligt dagens norm (d.v.s. i huvudsak som massaved) eller som skogsbränsle i form av träddelar. Ett ökat utnyttjande som skogsbränsle i kombination med lämplig teknik kan således utgöra en del av lösningen på de problem som i dag förknippas med s.k. konfliktbestånd (avseende främst oröjda bestånd som är på väg att växa in i gallringsfasen då och där etablerad skötselmetod saknas).

Den tekniska utvecklingen rörande uttag av skogsbränsle i form av GROT, stubbar och helträd från unga täta bestånd är mycket snabb. Fortfarande kan skörd av primärt skogsbränsle betraktas som en mycket ung bransch där många tekniska innovationer ställs och ”kapplöper” mot varandra, och där man kan förvänta sig stora framsteg i tidsperspektivet 3-10 år (Thorsén & Björheden 2010).

De tekniska och ekonomiska förutsättningarna styr gentemot den skötsel som är ändamålsenlig. På regional nivå i ett klimatsammanhang har detta studerats av bl.a. Backéus m.fl. (2005, 2006). Med en tänkt marknad för utsläppsrätter tillämpad även på skogsmark påverkas skötseln, främst genom förlängda omloppstider, av ett ökat pris på atmosfäriskt kol. Eriksson m.fl. (2012) konstaterar att om ett ökat utnyttjande av timmer för byggnadsändamål (för att substituera bl.a. betong) leder till att prisrelationen mellan timmer och massaved förändras väsentligt till timrets fördel, så tenderar det ekonomiskt optimala skötselprogrammet för tall och gran att innebära längre omloppstid, fler gallringar och ett tätare planteringsförband jämfört med idag.

Förvaltning av skog tar sin utgångspunkt i ett långsiktigt perspektiv så att de volymer vi kan ta ut i dag i form av timmer, massaved och skogsbränsle är uthålliga. I det sammanhanget bör man även väga in de effekter som kan följa av näringsläckage (Högbom & Jakobson 2002). Även annan miljöpåverkan, t.ex. uppå den biologiska mångfalden, kan följa av GROT-uttag och stubbskörd.

Sammanfattningsvis kan man peka på följande när det gäller övergripande frågor kring bränsletillförsel med skogsråvara:

- Det finns många sätt på vilket man kan öka tillgång och tillgänglighet på skogsbränsle både på kort och på lång sikt genom skogliga åtgärder.
- Olika skogliga åtgärder är länkade till varandra på ett sätt som gör att deras lönsamhet endast kan bedömas utifrån en långsiktig analys. Åtgärderna sträcker sig över hela registret, från beståndsanläggning till slutavverkning.
- En bedömning av lönsamheten av skogliga åtgärder beror på vilket scenario som används vad gäller priser, teknikutveckling och regelverk.

Detta projekt utgår från skogsägarens perspektiv. Vilka skötselåtgärder kan en skogsägare vidta för att öka uttagen samtidigt som lönsamheten stärks? Vilket inflytande har olika priser och teknologier på skötseln och den långsiktiga försörjningen av ekosystemrelaterade produkter och tjänster? Genom att knyta frågorna till skogsägaren och dennes fastighet kan man skapa exempel för hur skogsbruket kan utvecklas. Ett skogsbruk där bränsle som sortiment spelar en viktigare roll har diskuterats bland fjärrvärmebolag under en längre tid, och t.ex. Skellefteå Kraft och Jämtkraft har förvärvat skogsfastigheter i detta syfte. Såväl fastigheterna i sig som ägarnas engagemang utgör värdefulla resurser för forskning kring dessa frågor.

Uttaget av bränsle från de svenska skogarna är ännu förhållandevis lågt, jämfört med de traditionella sortimenten massaved och sågtimmer (Skogsstyrelsen 2008a, Anon. 2008b). Det beror delvis på att bränslet, normalt i form av avverkningsrester, främjar andra nyttigheter om den kvarlämnas i skogen (Brännlund m.fl. 2010). Det rör sig t.ex. om nytta för biologisk mångfald, viss gödselverkan och risning för att minska körskadorna på mark vid sämre bärigheter. Många gånger handlar det dock om bristande kunskap, där försiktighetsprincipen förståeligt får gå före. Strategisk planering av svenskt skogsbruk har under lång tid gjorts för en effektiv användning av skogsresursen och då med hänsyn till två sortiment – sågtimmer och massaved. Det tredje sortimentet, skogsbränslet, har i planeringssammanhang oftast betraktats som en restprodukt, som eventuellt tas ut i samband med framförallt slutavverkning. Skogsbränslet har alltså historiskt sett inte spelat en aktiv roll i den strategiska planeringen, delvis beroende på att de tidigare använda skogliga planeringssystemen (t.ex. Indelningspaketet, Jonsson m.fl. 1993) inte hanterat skogsbränsle på ett sätt som optimerar skogsbruket utifrån uttagsmöjligheter av träddelar i tre olika sortiment.

I föreliggande projekt är avsikten att undersöka, genom fallstudier och analyser med Heureka PlanVis (Anon. 2010), hur anpassningar av skogsbruket kan öka uttaget av skogsbränsle med minsta möjliga negativa konsekvenser för övriga nyttigheter. En markant ökning av skogsbränsleuttagen kan sannolikt bara ske genom påtagliga anpassningar av skogsbruket. Genom att analyserna görs på existerande fastigheter finns det goda möjligheter att demonstrera vad man kan göra och vilka konsekvenser det kan få, i verkliga situationer som många skogsägare kan känna igen sig i.

Heureka PlanVis (Wikström m.fl. 2011) utvecklades inom ramen för forskningsprogrammet Heureka mellan åren 2000-2009. Det torde utgöra ett av världens mest kompetenta system för skoglig planering med 10 till 100 års planeringshorisont.

Långsiktsperspektivet möjliggör ett uthålligt skogsutnyttjande. Med PlanVis som ett i första hand beslutsstödande system besvaras frågor om när, var och hur skogarna bör skötas för att uppnå en så stor måluppfyllelse som möjligt. En viktig egenskap hos systemet är möjligheten att beskriva flera olika ekosystemrelaterade varor och tjänster. De som direkt är tillgängliga i Heureka-systemet är timmer, massaved, skogsbränsle, biodiversitet (t.ex. habitats lämplighet för ett antal arter), rekreation samt kväve- och kollagring i mark. Baserat på en beskrivning av det ingående tillståndet i skogen och en serie åtgärder i bestånden över tiden görs beräkningar med en uppsättning av modeller som beskriver utvecklingen av trädskiktet. På det sättet prognostiseras produktionen av varor och tjänster samt framtida skogstillstånd. I PlanVis finns inbyggt analysmetoder (baserat på linjärprogrammering) som gör det möjligt att söka de skötselåtgärder som utifrån en given problemställning är optimala. Det optimeringsproblem som ska lösas definieras av en målfunktion, med ett eller flera delmål, och ett antal restriktioner som villkorar strävan efter måluppfyllelse. Ett exempel på en restriktion är när andelen kalmark inte får vara för stor vid en godtycklig tidpunkt och när man inte får slutavverka för stor andel av innehavet under en viss tidsrymd. Andra exempel är budgetrestriktioner och jämnhetskrav på virkesflöden över tiden. Efter en optimering kan rapporter tas fram med hjälp av en inbyggd rapportgenerator. Denna möjliggör framtagandet av uppgifter för i princip alla variabler som systemet hanterar.

## 1.2 Syfte

Projektet syftar till:

- att ge underlag för bedömningar av hur bränsletillförseln från skogen till energisektorn kan utvecklas långsiktigt under olika scenarier,
- att lägga en grund för en lönsam strategi för skogsbruket som tar hänsyn till att vi långsiktigt kan förvänta oss att skogen levererar tre marknadsprissatta produkter – sågtimmer, massaved och skogsbränsle – till skillnad från enbart de två förstnämnda, samt
- att identifiera brister i befintlig modelluppsättning och påvisa utvecklingsbehov av modeller bättre anpassade till skogsbränsleanalyser.

Mer specifikt ska resultat tas fram, för tre olika typfastigheter som visar, under två olika scenarier:

- vilka skogliga åtgärder som i dag är motiverade med hänsyn till den långsiktiga lönsamheten och krav på ett uthålligt och miljöanpassat skogsbruk,
- vilken påverkan omfattningen av tillåten skogsbränsleskörd har på såväl rundvirke som skogsbränsle, samt
- vad resultatet blir i termer av ekonomi och volymer på lång sikt.

## 2 MATERIAL OCH METOD

Projektets genomförande utgår från tre centrala delar: skogliga indata, analysmodellen Heureka PlanVis samt en uppsättning scenarier. På denna grund görs de analyser som utgör projektets väsentliga resultat.

### 2.1 Initialt skogstillstånd

Tre skogsinnehav, tillhörande Skellefteå Kraft, Jämtkraft respektive Göteborgs stad, utgör projektets fallstudieområden. De ingående tillstånden påverkar skogarnas värde av ett konventionellt trakthyggesbruk, med de två huvudsortimenten sågtimmer och massaved, liksom möjligheterna till en ökad lönsamhet genom anpassningar av skogsbruket till ett ökat skogsbränsleuttag.

Skellefteskogarna, med tyngdpunkten i norra Västerbottens kustland men med delar i inlandet, utgörs av 2840 bestånd omfattande 9171 ha produktiv skogsmark, se figur 1.



Figur 1: Del av Skellefteskogarna markerade i grönt, ytterligare delar av innehavet finns norr och nordväst om kartvyn. © Lantmäteriet, i2012/107

Skellefteskogarna uppvisar ett medelförråd (enligt PlanVis beräkningar, efter simulering av enskilda träd-uppgifter från skogbruksplanens beståndsvisa medeltal) på 121 m<sup>3</sup>sk/ha, se tabell 1. Förrådet domineras av tall (73 %) vilket även är den dominerande ståndorten. Genomsnittliga, arealvägda ståndortsindex motsvarar en medelbonitet på 3.7 m<sup>3</sup>sk/ha o. år.

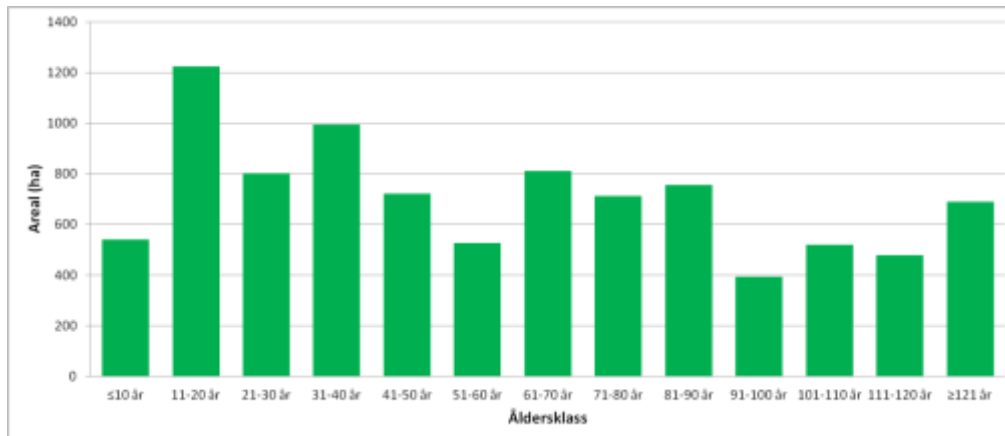
Tabell 1: Beskrivande uppgifter för Skellefteskogarna

|                               | Summa: | Medel: | Min:* | Max:* |
|-------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| Bestånd (st):                 | 2840   |        |       |       |
| Areal (ha):                   | 9171   | 3.2    | 0.1   | 80.1  |
| Volym (m <sup>3</sup> sk/ha): |        | 120.6  | 0.0   | 513.8 |
| Ålder (år):                   |        | 63.1   | 0.0   | 236.8 |
| DGV (cm):                     |        | 15.5   | 0.0   | 122.7 |
| HGV (m):                      |        | 12.7   | 0.0   | 42.8  |
| Stamantal (st/ha):            |        | 1407   | 0     | 37229 |
| Tall (%):**                   |        | 73.3   |       |       |
| Gran (%):**                   |        | 21.6   |       |       |
| Löv (%):**                    |        | 5.1    |       |       |
| SI Tall (m, H100):            | (79 %) | 18.4   | 10    | 29    |
| SI Gran (m, H100):            | (21 %) | 19.9   | 14    | 28    |

\*) På beståndsnivån.

\*\* ) Avseende volym.

Medelåldern är 63 år och åldersfördelningen framgår av figur 2.



Figur 2: Åldersklassfördelning för Skellefteskogarna (totalt 9171 ha)

Jämtkrafts skogar kring och norr om Östersund består av åtta fastighetskomplex (Axelås, Bringåsen 2:2 och 3:6, Faxnålden, Gåxsjö, Handog, Mo-Bringåsen och Österåsen) och utgörs av 370 bestånd med motsvarande 1712 ha skogsmark, se figur 3.



Figur 3: Östersundsskogarna markerade i grönt. © Lantmäteriet, i2012/107

Östersundsskogarna uppvisar enligt PlanVis beräkningar ett medelförråd på 95 m<sup>3</sup>sk/ha där granen liksom granståndorterna dominerar (57 % resp. 71 %), se tabell 2. En mindre andel, ca. 5 % av tallförrådet, utgörs av contortatall. Från SI-uppgifterna skattas medelboniteten till 3.4 m<sup>3</sup>sk/ha o. år.

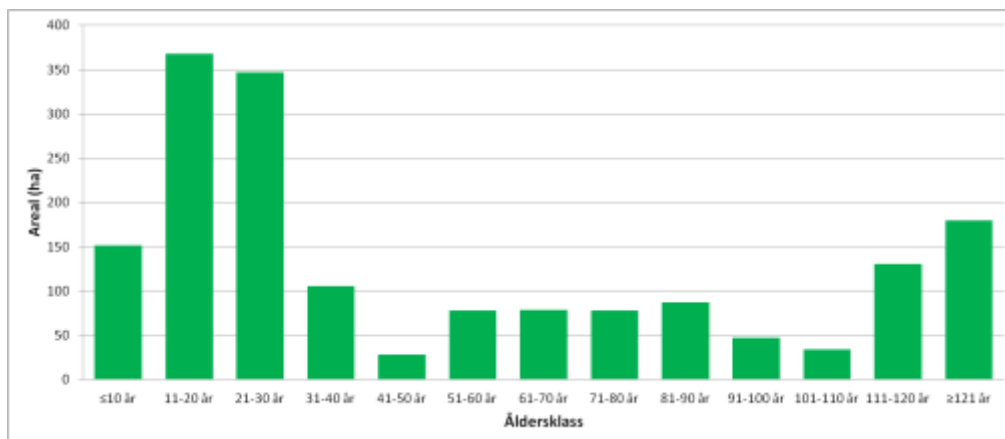
Tabell 2: Beskrivande uppgifter för Östersundsskogarna

|                               | Summa: | Medel: | Min:* | Max:* |
|-------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| Bestånd (st):                 | 370    |        |       |       |
| Areal (ha):                   | 1712   | 4.6    | 0.1   | 61.7  |
| Volym (m <sup>3</sup> sk/ha): |        | 94.8   | 0.0   | 327.4 |
| Ålder (år):                   |        | 64.4   | 0.0   | 160.2 |
| DGV (cm):                     |        | 13.3   | 0.0   | 27.8  |
| HGV (m):                      |        | 10.3   | 0.0   | 22.0  |
| Stamantal (st/ha):            |        | 1341   | 0     | 8658  |
| Tall (%):**                   |        | 24.2   |       |       |
| Gran (%):**                   |        | 57.0   |       |       |
| Löv (%):**                    |        | 18.8   |       |       |
| SI Tall (m, H100):            | (29 %) | 20.0   | 15    | 23    |
| SI Gran (m, H100):            | (71 %) | 17.7   | 14    | 22    |

\*) På beståndsnivån.

\*\*\*) Avseende volym.

Medelåldern är 64 år och åldersfördelningen framgår av figur 4.



Figur 4: Åldersklassfördelning för Östersundsskogarna (totalt 1712 ha)

Göteborgs stadsskogar, exklusive de delar som förvaltas av Park och natur, är indelat i sex block (Rödbo, Kärra, Torslanda, Bergum, Björsared och Göteborg Syd) som alla är förhållandevis tätortsnära, se figur 5.



Figur 5: Göteborgsskogarna markerade i grönt. © Lantmäteriet, i2012/107

Göteborgsskogarna består av 1354 bestånd med motsvarande 4216 ha skogsmark. Skogarna innehar förhållandevis höga sociala värden på grund av sin närhet till tätorten. Samtliga bestånd är målklassade; 16 % av arealen är klassad som NO, 25 % som NS, 20 % som PF och 39 % som PG, där klassningen indikerar iakttagande av en förhållandevis stor hänsyn till förekommande naturvärden. Bl.a. avses en rekreationsanpassad skogsskötsel bedrivs i NS- och PF-bestånden.

Göteborgsskogarnas medelförråd är enligt PlanVis beräkningar  $134 \text{ m}^3\text{sk/ha}$ , se tabell 3. Trots att granståndorterna dominerar (63 %) finns mer av både triviallöv och tall. Det kan antas vara en effekt av dels de skötselmässiga rekreationsanpassningarna, dels de stormar som drabbat sydvästra Sveriges granskogar relativt hårt. Ädellövet utgörs i huvudsak av ek med en mindre andel bok (och lind, lönn och ask). Medelboniteten uppskattas till  $8.7 \text{ m}^3\text{sk/ha o. år}$ .



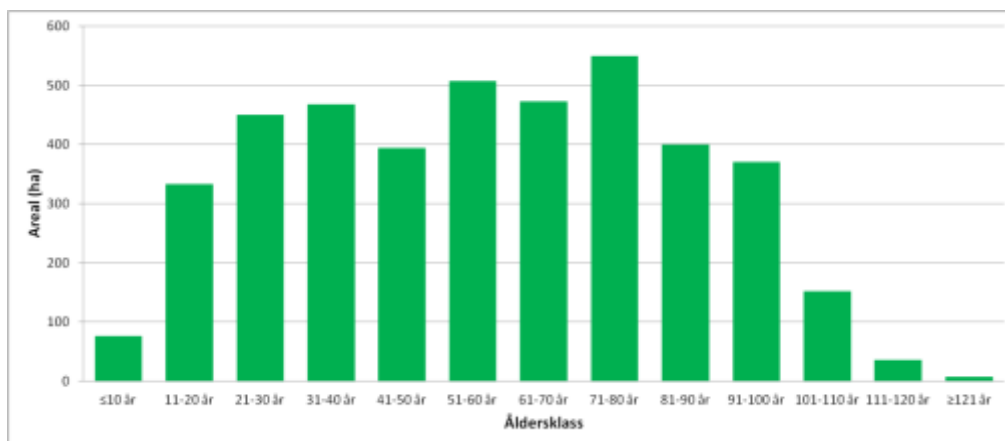
Tabell 3: Beskrivande uppgifter för Göteborgsskogarna

|                               | Summa: | Medel: | Min:* | Max:* |
|-------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| Bestånd (st):                 | 1354   |        |       |       |
| Areal (ha):                   | 4216   | 3.1    | 0.1   | 31.2  |
| Volym (m <sup>3</sup> sk/ha): |        | 133.6  | 0.0   | 509.6 |
| Ålder (år):                   |        | 55.9   | 0.0   | 129.3 |
| DGV (cm):                     |        | 20.3   | 0.0   | 88.0  |
| HGV (m):                      |        | 13.7   | 0.0   | 29.0  |
| Stamantal (st/ha):            |        | 2251   | 0     | 50180 |
| Tall (%):**                   |        | 32.2   |       |       |
| Gran (%):**                   |        | 20.1   |       |       |
| Löv exkl. ädellöv (%):**      |        | 33.4   |       |       |
| Ädellöv (%):**                |        | 14.3   |       |       |
| SI Tall (m, H100):            | (37 %) | 24.6   | 18    | 27    |
| SI Gran (m, H100):            | (63 %) | 30.1   | 25    | 34    |

\*) På beståndsnivån.

\*\*\*) Avseende volym.

Medelåldern är 56 år och åldersfördelningen framgår av figur 6.



Figur 6: Åldersklassfördelning för Göteborgsskogarna (totalt 4216 ha)

## 2.2 Skötsel­förutsättningar

Med datorprogrammet Heureka PlanVis analyserades två olika skötsel­system för de tre fallstudieområdena: ett konventionellt, trakthyggesbaserat skogsbruk (SB) och ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB). Dessa två system anpassades och analyserades för de tre fallstudieområdena på så sätt att samtliga sex scenarier eftersträvades vara realistiska och möjliga att tillämpa i det pågående skogsbruket.

Ett antal förutsättningar har varit gemensamt gällande i samtliga analyser och kan sammanfattas på följande punkter:

- Nuvärdesmaximering (Faustmann 1849) med 2 % kalkylränta.
- 100 års planeringshorisont, uppdelad på 20 5-årsperioder med resultat erhållna vid periodmitt (år 2.5, år 7.5, ..., år 97.5).
- Strävan efter en viss jämnhet avseende de periodvisa totala avverkningsvolymer, på så sätt att föreslagen avverkning i en viss period endast i undantagsfall får avvika med mer än 5 % (aldrig med mer än 10 %) i förhållande till föregående periods avverkningsförslag.
- Uppfyllande av förekommande lagar och restriktioner, främst med avseende på Skogsvårdslagens lägsta tillåtna ålder för förnygringsavverkning och högsta tillåtna areal med skog yngre än 20 år (Skogsstyrelsen 2006).
- Simulering av naturvårdshänsyn genom skötsel Anpassningar i de olika målklasserna.

Det konventionella skogsbruket karaktäriseras i analyserna av ”normalt förekommande” uttag av GROT i samband med slutavverkning av för skogsbränsleuttag lämpliga beståndstyper; areellt större objekt med förhållandevis god bärighet och med förhållandevis hög granandel. För de tre fallstudieområdena innebär detta, i genomsnitt över planeringshorisontens 100 år, skogsbränsleuttag på mellan 20 och 40 % av slutavverkningsarealen i varje 5-årsperiod.

För det bränsleanpassade skogsbruket simulerades ett bränsleuttag inte bara vid slutavverkning i en större omfattning (på mellan 50 och 80 % av slutavverkningsarealen) utan även vid gallringar och selektiva avverkningar. Fortfarande utgörs dock bränsleuttaget av GROT med normala grader av tillvaratagande av träddelarna grenar och toppar. Varken stubbskörd eller helträdsuttag (då hela träd och inte bara dess grenar och topp tas ut som skogsbränsle) vid röjning eller gallring simulerades i de föreliggande analyserna. Genom att simulera ett mer omfattande skogsbränsleuttag påverkas skogsbrukets ekonomi på ett mer påtagligt sätt i föreliggande analyser. Här planeras sålunda för ett kostnadseffektivt skogsbruk med hänsyn även till skogsbränsle, lika viktigt som massaveds- och timmersortimenten.

Heureka PlanVis består av två viktiga komponenter där den ena är en skötselprogramgenerator som genererar ett stort antal alternativa skötselprogram till varje bestånd. Vid analyser av flera olika skötselssystem kan man generera flera alternativa skötselprogram för varje skötselssystem och på så sätt ställa dessa mot varandra, i sökandet efter en skötselstrategi eller ”plan” som i så stor utsträckning som möjligt är måluppfyllande på analysområdesnivån. Den andra viktiga delen av PlanVis är optimeringsmodellen som, med linjärprogrammering och programmeringsspråket ZIMPL (Koch 2004, 2009), hjälper användaren att matematiskt formulera och lösa optimeringsproblem.

Skellefteskogarna delades in i sju skogsdomäner med specifika inställningar för varje domän av hur skogsskötseln utfördes, se tabell 4. För sex av de sju domänerna (2-7 nedan) simulerades två olika skötselssystem, ett konventionellt skogsbruk (SB) och ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB).

Tabell 4: Skötselinställningar för Skellefteskogarna

| Domän | Definition (skogstyp)  | Skogsskötselsystem  |
|-------|--|---|
| 1     | NO-målklassade bestånd, 298 st. och 656 ha.  | Lämnas till fri utveckling, d.v.s. utan några skogsbruksåtgärder.   |
| 2     | NS-målklassade bestånd, 61 st. och 120 ha.   | Sköts med ett kontinuitetsskogsbruk utan respektive med skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).  |
| 3     | PF-målklassade bestånd, 252 st. och 528 ha.  | Sköts med förstärkt naturvårdshänsyn genom viss överhållning och självföryngring utan respektive med skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).   |
| 4     | Bestånd klassade som "Tärtortsnära", 83 st. och 249 ha.  | Sköts med viss överhållning och självföryngring med ett mer begränsat GROT-uttag respektive med ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).                                   |
| 5     | Större PG-bestånd (>0.6 ha) där markfuktighetsklassen är friskfuktig eller torrare och där virkesförrådet består av minst 10 % gran, 252 st. och 799 ha. | Sköts med ett mer begränsat GROT-uttag respektive med ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).   |
| 6     | Talldominerade PG-bestånd på tallståndorter med ståndortsindex sämre än T18, 375 st. och 1295 ha.  | Sköts med självföryngring med ett mer begränsat GROT-uttag respektive med ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).   |
| 7     | Övriga PG-målklassade bestånd, 1519 st. och 5523 ha.   | Sköts med ett konventionellt skogsbruk, d.v.s. ett mer begränsat GROT-uttag, respektive med ett bränsleanpassat skogsbruk, d.v.s. ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB). |

Östersundsskogarna delades in i fyra skogsdomäner med specifika inställningar av den skogsskötsel som simulerades, se tabell 5. För tre av de fyra domänerna (2-4 nedan) simulerades både SB och BASB.

Tabell 5: Skötselinställningar för Östersundsskogarna

| Domän | Definition (skogstyp)  | Skogsskötselsystem  |
|-------|--|---|
| 1     | NO-målklassade bestånd, 32 st. och 67 ha.  | Lämnas till fri utveckling, d.v.s. utan några skogsbruksåtgärder.   |
| 2     | NS-målklassade bestånd, 7 st. och 17 ha.   | Sköts med ett kontinuitetsskogsbruk utan respektive med skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).  |
| 3     | Större PG-bestånd (>4.6 ha) där markfuktighetsklassen är frisk eller torr och där virkesförrådet domineras av gran, 51 st. och 502 ha. | Sköts med ett mer begränsat GROT-uttag respektive med ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).   |
| 4     | Övriga PG-målklassade bestånd, 280 st. och 1126 ha.  | Sköts med ett konventionellt skogsbruk, d.v.s. ett mer begränsat GROT-uttag, respektive med ett bränsleanpassat skogsbruk, d.v.s. ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB). |

Göteborgsskogarna delades in i sex skogsdomäner med specifika inställningar av den skogsskötsel som simulerades, se tabell 6. För fem av de sex domänerna (2-6 nedan) simulerades både SB och BASB.

Tabell 6: Skötselinställningar för Göteborgsskogarna

| Domän | Definition (skogstyp)  | Skogsskötselsystem  |
|-------|--|---|
| 1     | NO-målklassade bestånd, 239 st. och 669 ha.  | Lämnas till fri utveckling, d.v.s. utan några skogsbruksåtgärder.   |
| 2     | NS-målklassade bestånd där virkesförrådet domineras av barrträdslag, 87 st. och 248 ha.  | Sköts med ett kontinuitetsskogsbruk utan respektive med skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).  |
| 3     | NS- och PF-målklassade bestånd där virkesförrådet domineras av lövträdslag, 372 st. och 1027 ha.   | Sköts med viss överhållning, visst lövgynnande och självföryngring utan respektive med skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).   |
| 4     | Övriga PF-målklassade bestånd, 183 st. och 633 ha.   | Sköts med viss överhållning och självföryngring med ett mer begränsat GROT-uttag respektive med ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).                                   |
| 5     | Större PG-bestånd (>0.5 ha) där markfuktighetsklassen är friskfuktig eller torrare och där virkesförrådet domineras av gran, 182 st. och 557 ha. | Sköts med ett mer begränsat GROT-uttag respektive med ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB).   |
| 6     | Övriga PG-målklassade bestånd, 291 st. och 1081 ha.  | Sköts med ett konventionellt skogsbruk, d.v.s. ett mer begränsat GROT-uttag, respektive med ett bränsleanpassat skogsbruk, d.v.s. ett mer omfattande skogsbränsleuttag (SB resp. BASB). |

### 2.3 Ekonomiska förutsättningar

För de ekonomiska beräkningarna behövdes ett antal uppgifter utöver den 2 %-iga kalkylräntan, som användes för samtliga tre fallstudieområden i analyserna av de två skötselsystemen. Med uppgifter i Norra Skogsägarnas prislistor från år 2011 (Anon. 2011a, 2011b), tillsammans med Heureka-systemets apteringsmodeller, beräknades intäkterna vid avverkning. Motsvarande utgifter beräknades enligt Skogforsks kostnadsfunktioner (Skogforsk 2011). De viktigare priserna och kostnaderna som användes i analyserna sammanfattas i tabell 7.

Tabell 7: Priser och kostnader

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| <b>Skogsbränslepris:</b>                   | 380 kr/ton TS                 |
| <b>Massavedspris, löv exkl. björk:*</b>    | 201-268 kr/m <sup>3</sup> fub |
| <b>Massavedspris, björk:*</b>              | 335 kr/m <sup>3</sup> fub     |
| <b>Massavedspris, barr:*</b>               | 335 kr/m <sup>3</sup> fub     |
| <b>Sågtimmerpris, tall:**</b>              | 274-905 kr/m <sup>3</sup> to  |
| <b>Sågtimmerpris, gran:***</b>             | 270-568 kr/m <sup>3</sup> to  |
| <b>Skotningskostnad, skogsbränsle:****</b> | 186 kr/ton TS                 |
| <b>Avverkningskostnad:*****</b>            | 700 kr/tim <sub>G15</sub>     |
| <b>Skotningskostnad:*****</b>              | 525 kr/tim <sub>G15</sub>     |

\*) Minsta toppdiameter: 5 cm.

\*\*) Fyra kvalitetsklasser, minsta toppdiameter: 12 cm.

\*\*\*) Två kvalitetsklasser, minsta toppdiameter: 12 cm.

\*\*\*\*) Vid terrängtransportavstånd: 300 m.

\*\*\*\*\*) Vid slutavverkning och gallring.

## 3 RESULTAT

PlanVis är ett optimerande system, vilket innebär att ett visst bestånd kommer att erhålla det skötselprogram som är optimalt med avseende på uppsatta mål och restriktioner för skogsbruket på fallstudieområdet. Alternativa skötselprogram för både ett konventionellt trakthyggesbruk och ett bränsleanpassat skogsbruk har genererats för alla bestånd i respektive fallstudieområde. Således kommer det bästa alternativet för varje bestånd att väljas som ger upphov till högsta möjliga måluppfyllelse för hela fastigheten. Det innebär att det finns bestånd med sådant skogstillstånd där det bästa brukningssättet, under de givna förutsättningarna, är konventionellt trakthyggesbruk emedan det finns andra bestånd där ett bränsleanpassat skogsbruk är att föredra. Att förhållandena mellan de olika brukningssätten varierar beroende på aktuellt fallstudieområde beror på att de uppvisar olika ingående skogstillstånd och olika produktionsförutsättningar.

Heureka PlanVis är först och främst ett beslutsstödjande planeringssystem som verkar på strategisk nivå i den skogliga planeringsprocessen. De faktiska värdena som återges är i stor utsträckning avhängiga inte bara skattningarna av det ingående skogstillståndet utan även alla de förutsättningar som varit nödvändiga för analysens genomförande. Det gör de relativa värdena – skillnaderna mellan de två simulerade skogsbrukssystemen för de tre fallstudieområdena – väl så intressanta som de absoluta talen.

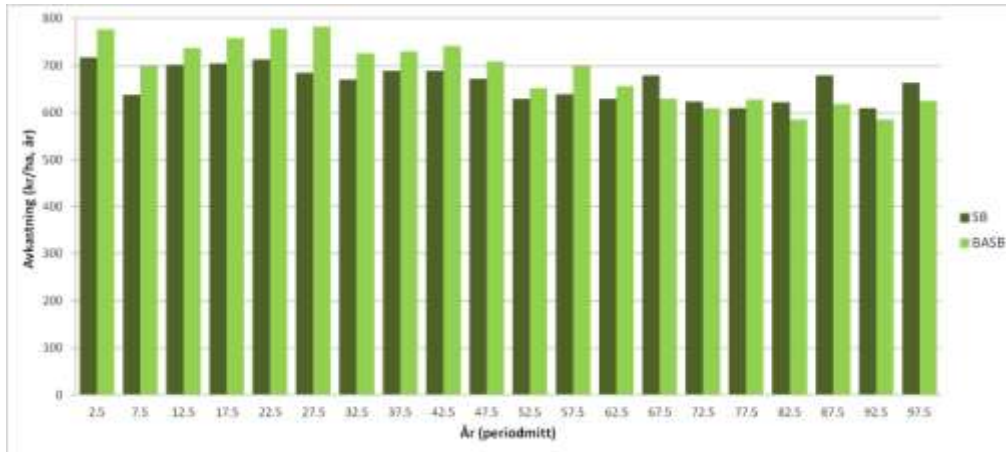
### 3.1 Jämförelser av konventionellt och bränsleanpassat skogsbruk

Nuvärden, vid 2 % kalkylränta och ett nuvärdesmaximerande skogsbruk inklusive ett visst jämnhetskrav avseende de periodvisa avverkningsvolymerna, naturvårdshänsyn samt skogsvårdslagens krav, presenteras i Tabell 8. Skogsbränsleanpassningar ökar nuvärdet för de tre fallstudieområdena med i genomsnitt 5.8 %.

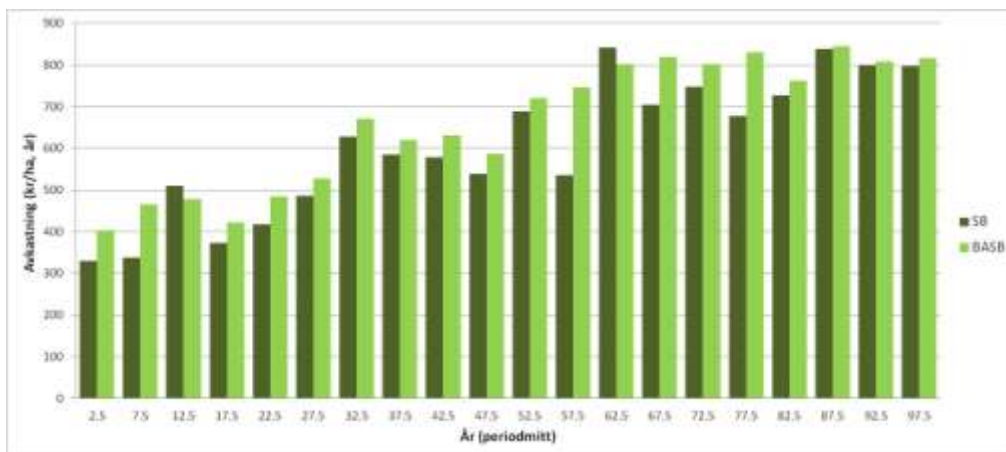
Tabell 8: Nuvärden i kr/ha vid ett konventionellt, trakthyggesbaserat skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena Skellefteå, Östersund respektive Göteborg

|      | Skellefteskogarna |          | Östersundsskogarna |          | Göteborgsskogarna |          |
|------|-------------------|----------|--------------------|----------|-------------------|----------|
| SB   | 34725             |          | 28126              |          | 46131             |          |
| BASB | 36397             | (+4.8 %) | 30687              | (+9.1 %) | 47747             | (+3.5 %) |

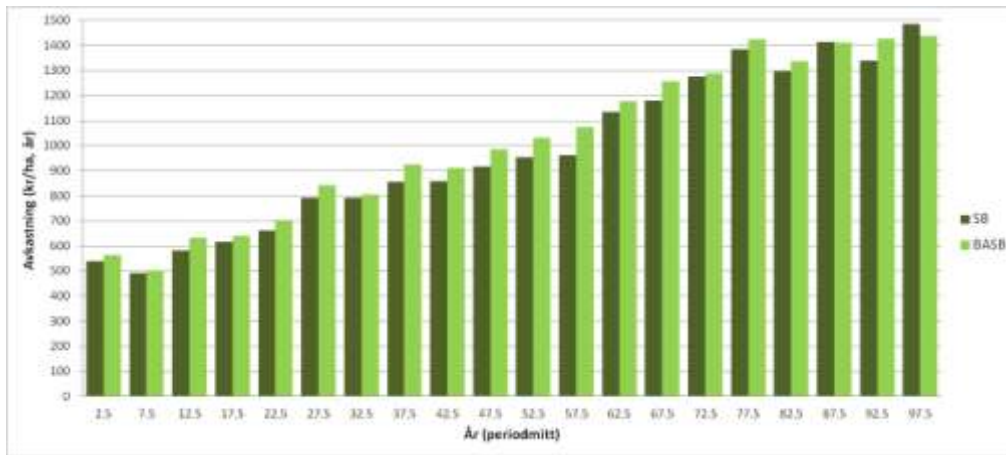
Periodvisa nettoavkastningar vid två olika skogsbruk för de tre områdena presenteras i figur 8, 9 och 10 (se även bilaga 1, tabell 1). Man kan notera att nettoavkastningarna ökar relativt jämnt över tiden för Östersundsskogarna och Göteborgsskogarna medan det för Skellefteskogarna tenderar till att vara de första 5-årsperioderna som ger ett ökat netto för att sedan minska något.



Figur 8: Årlig nettoavkastning i mitten av 20 st. femårsperioder vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för Skelleftekogarna

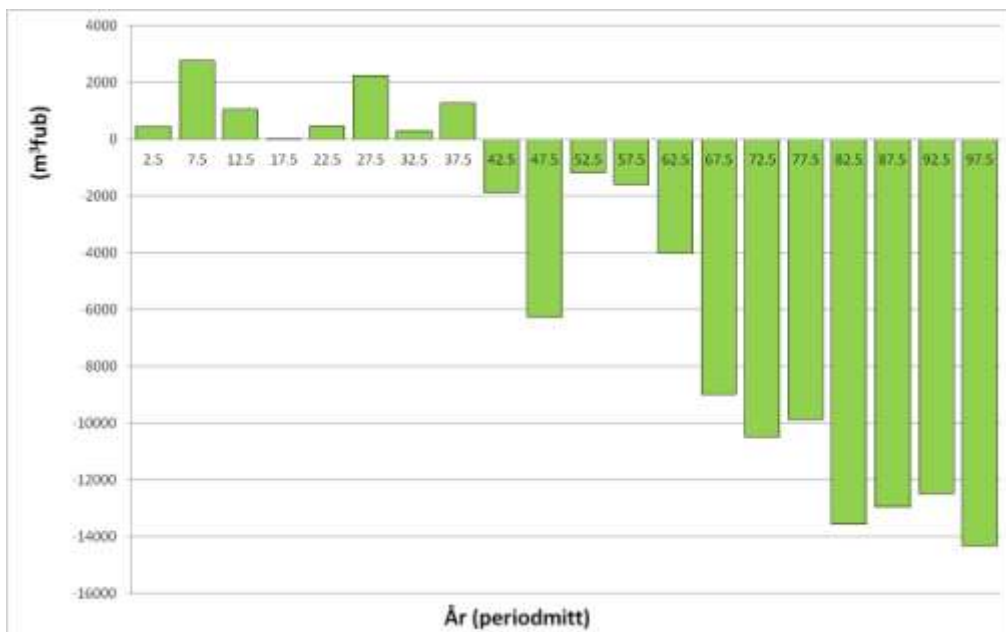


Figur 9: Årlig nettoavkastning i mitten av 20 st. femårsperioder vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för Östersundskogarna



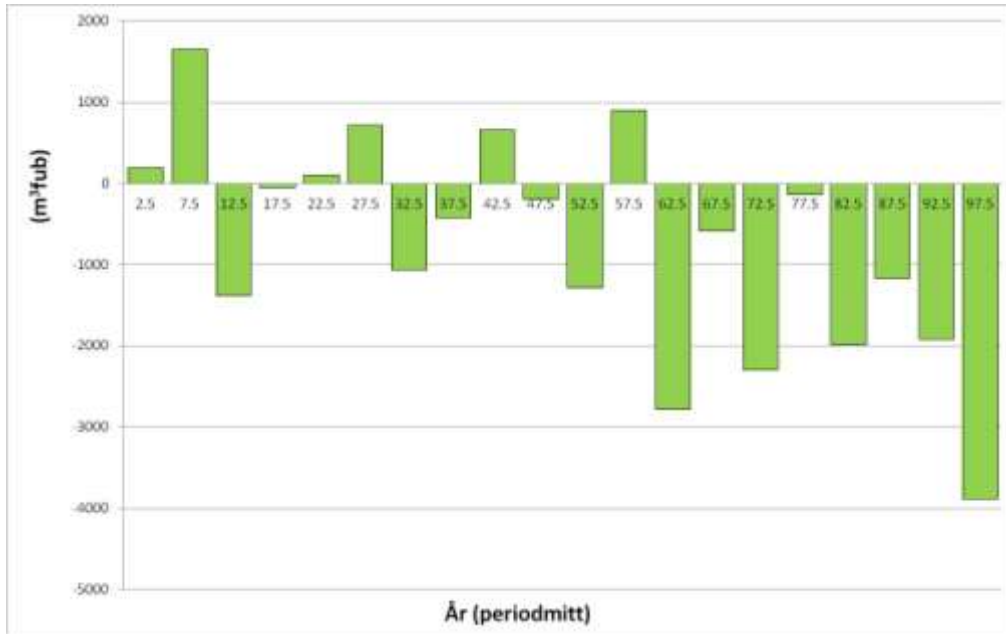
Figur 10: Årlig nettoavkastning i mitten av 20 st. femårsperioder vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för Göteborgsskogarna

Differensen mellan de periodvisa sågtimmervolymerna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 11, 12 och 13 (se även bilaga 1, tabell 2). Skogsbränsleanpassningar minskar uttaget av sågtimmer med i genomsnitt 8.3 % (-10.6 %, -10.0 % resp. -4.2 %). Det finns en tydlig tendens för samtliga fallstudieområden att det minskade sågtimmerutbytet uppstår först i den senare delen av den 100-åriga planeringshorisonten.

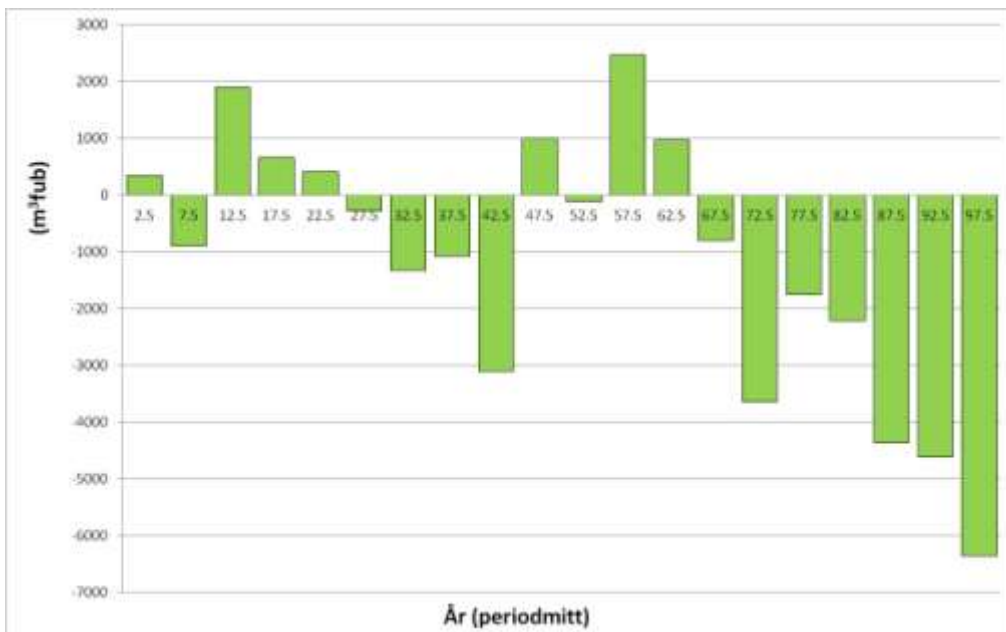


Figur 11: Differens avseende sågtimmeruttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna



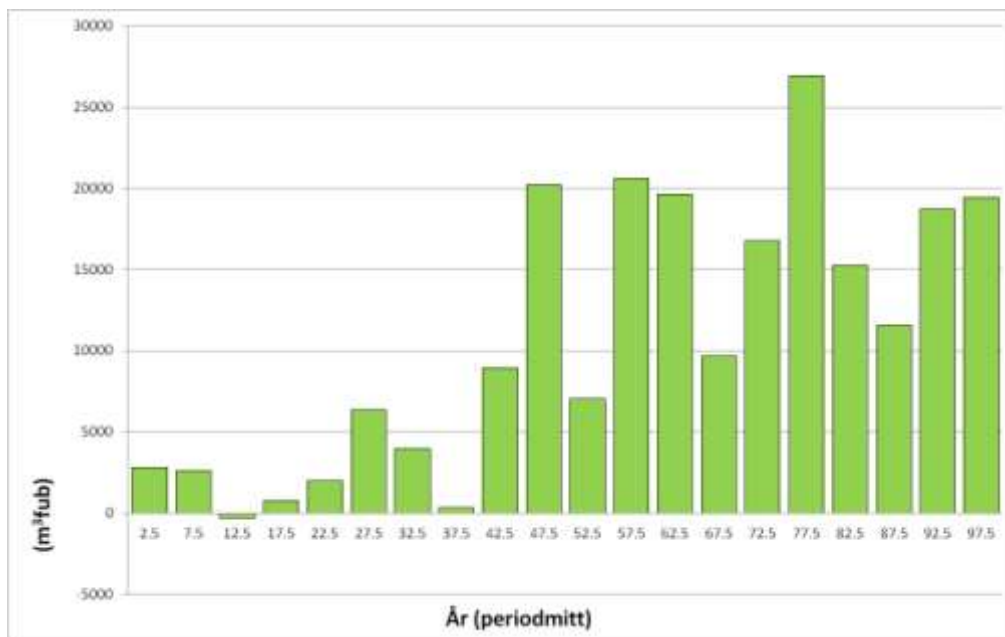


Figur 12: Differens avseende sågtimmeruttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna

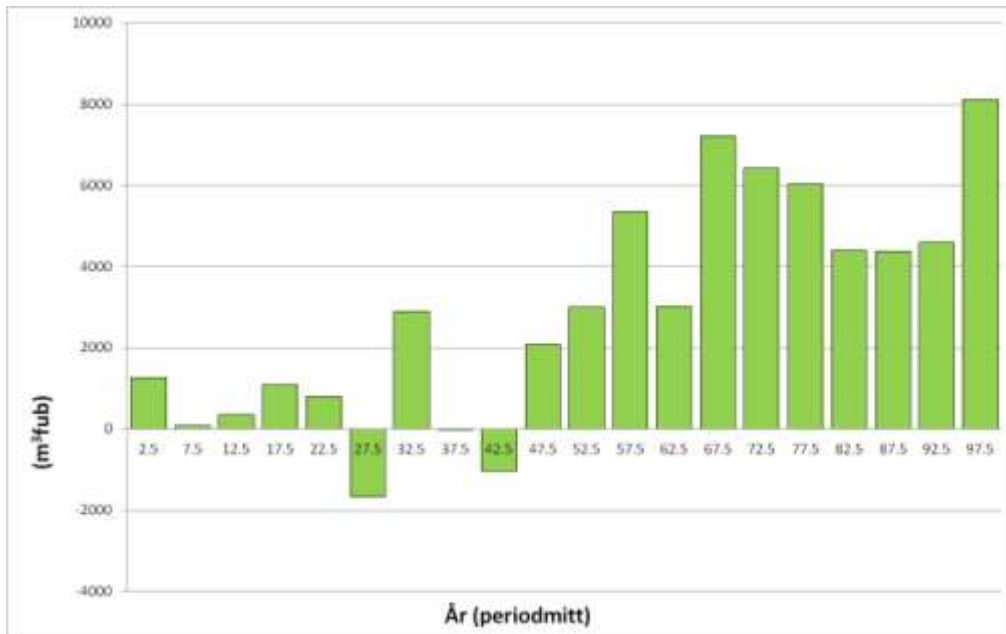


Figur 13: Differens avseende sågtimmeruttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

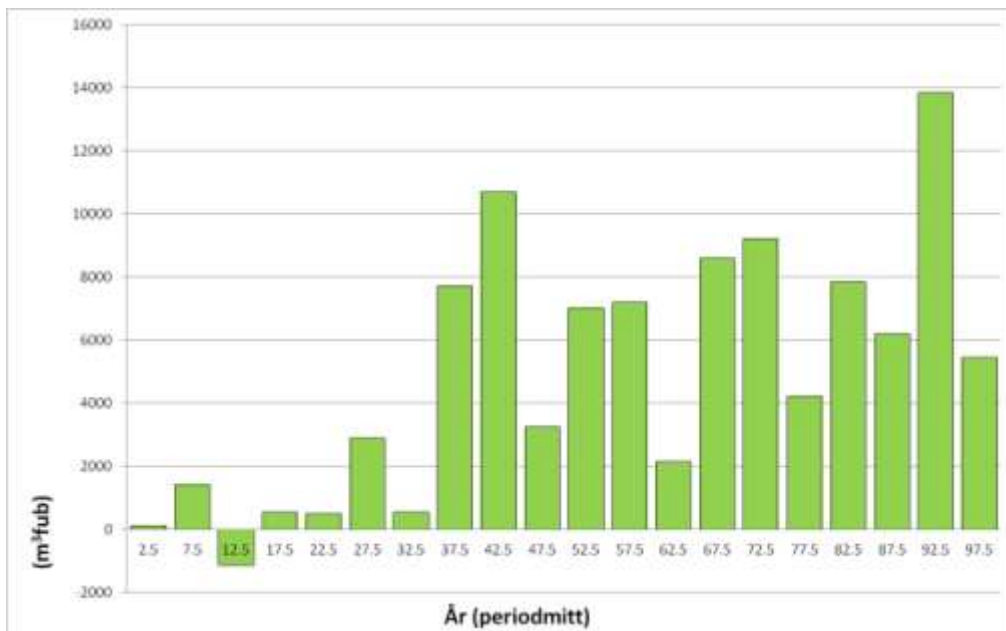
Differensen mellan de periodvisa massavedsvolymerna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 14, 15 och 16 (se även bilaga 1, tabell 3). Skogsbränsleanpassningar ökar uttaget av massaved med i genomsnitt 13.5 % (12.8 %, 19.3 % resp. 8.3 %). Liksom för sågtimmerutbytet är skillnaderna i massavedsutbytet mest markerade under den senare delen av planeringshorisonten.



Figur 14: Differens avseende massavedsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna

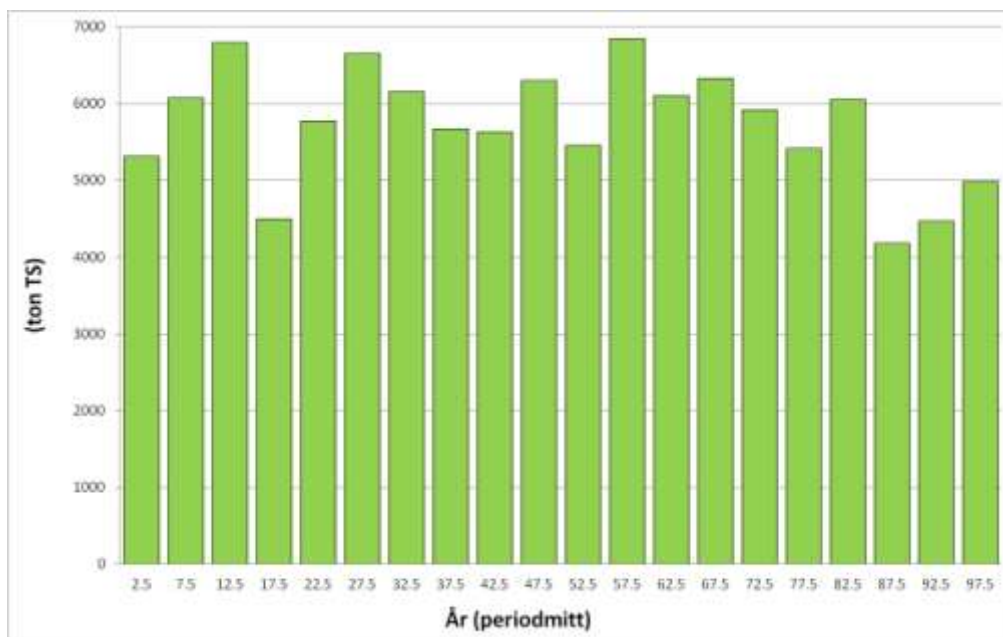


Figur 15: Differens avseende massavedsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna

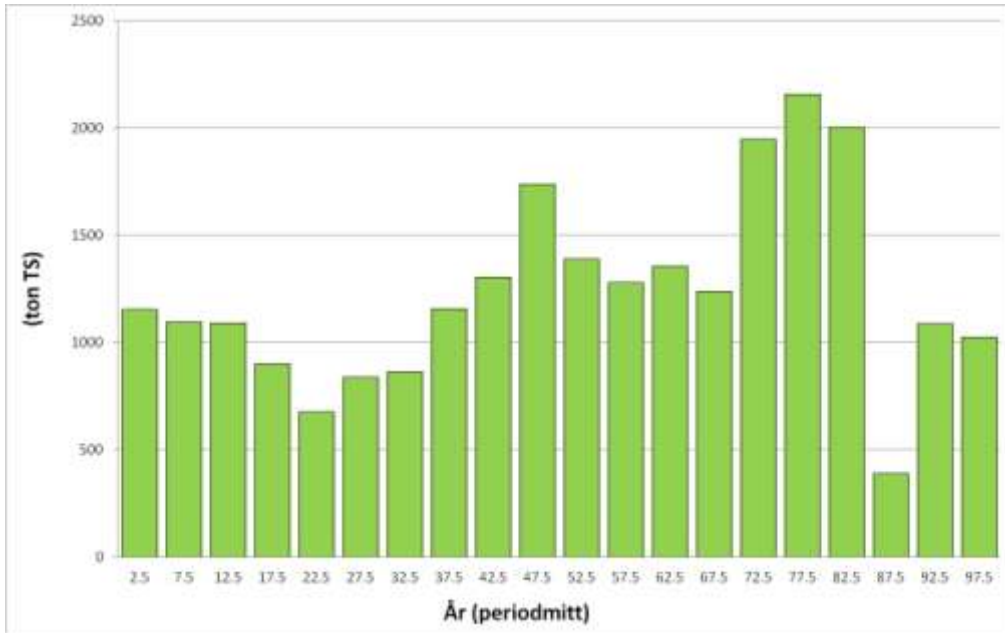


Figur 16: Differens avseende massavedsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

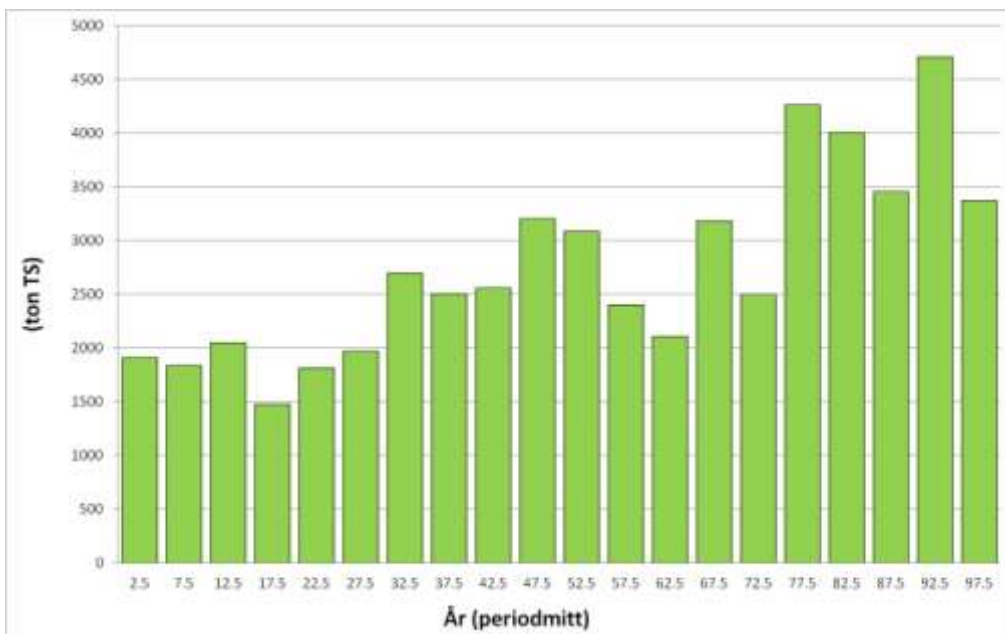
Differensen mellan de periodvisa skogsbränslemängderna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 17, 18 och 19 (se även bilaga 1, tabell 4). Skogsbränsleanpassningar ökar uttaget av skogsbränsle med i genomsnitt 158 % (226 %, 156 % resp. 92 %). Ökningen är påtaglig över hela planeringshorisonten för samtliga fallstudieområden.



Figur 17: Differens avseende skogsbränsleuttag,  $\Delta = \text{mängd}_{\text{BASB}} - \text{mängd}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna

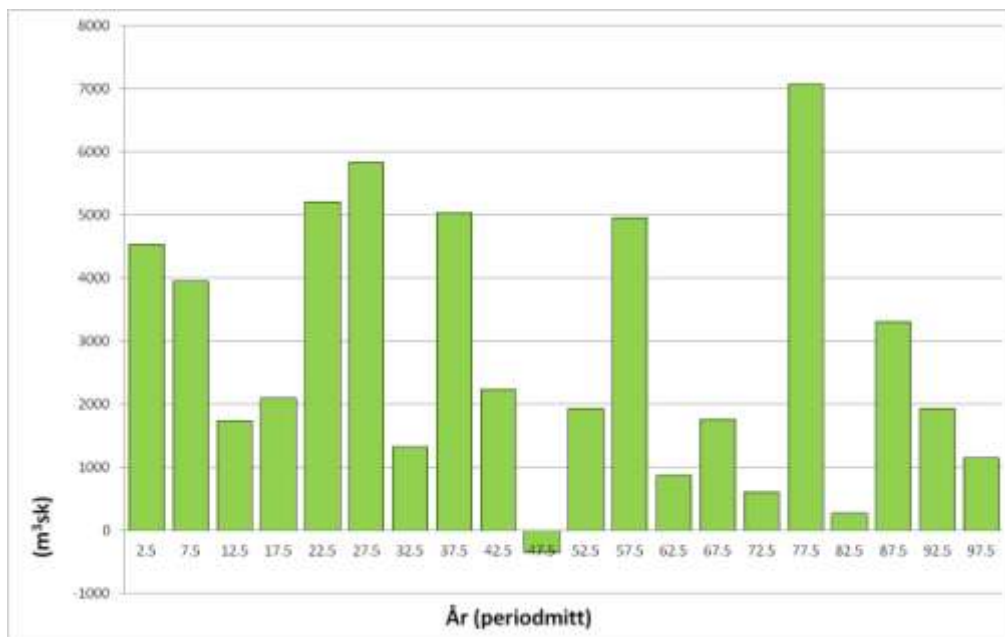


Figur 18: Differens avseende skogsbränsleuttag,  $\Delta = \text{mängd}_{\text{BASB}} - \text{mängd}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna

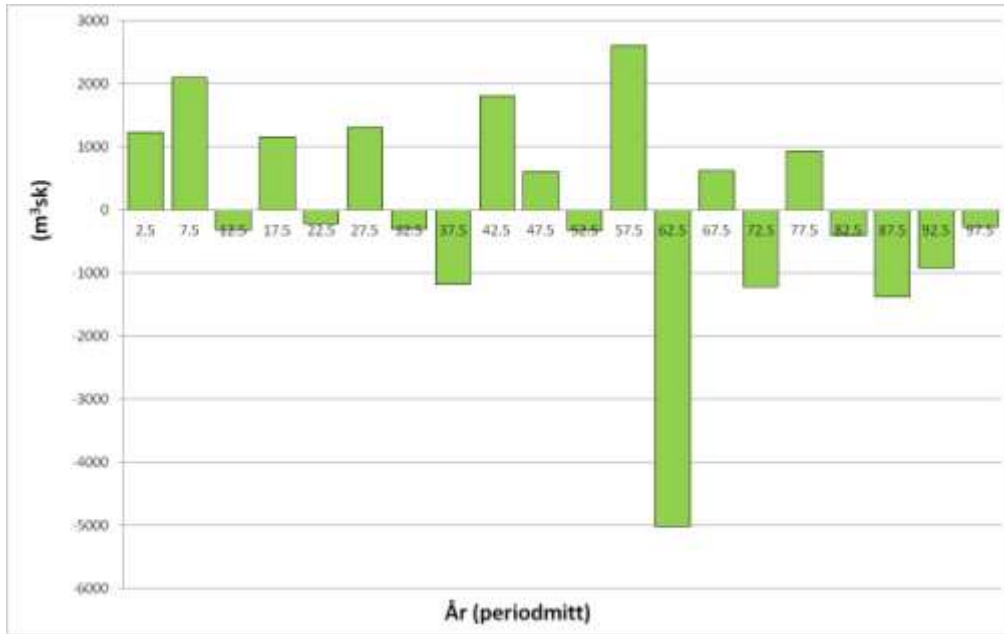


Figur 19: Differens avseende skogsbränsleuttag,  $\Delta = \text{mängd}_{\text{BASB}} - \text{mängd}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

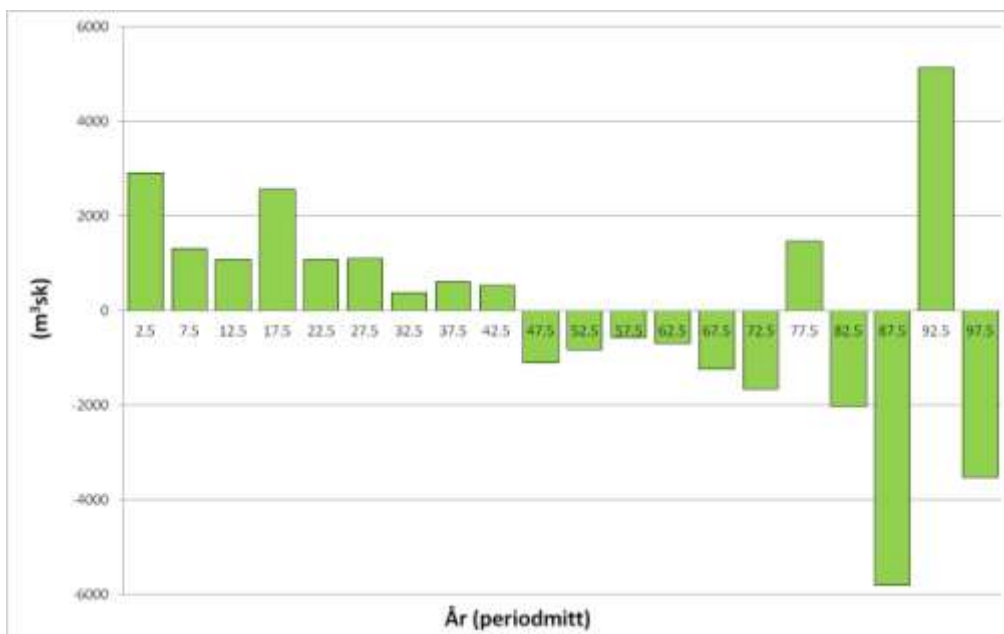
Differensen mellan de periodvisa slutavverkningsvolymerna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 20, 21 och 22 (se även bilaga 1, tabell 5). Skogsbränsleanpassningar ökar uttaget vid slutavverkning med i genomsnitt 0.9 % (2.3 %, 0.2 % resp. 0.1 %). Uttaget vid slutavverkning påverkas således marginellt av dessa anpassningar.



Figur 20: Differens avseende slutavverkningsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna

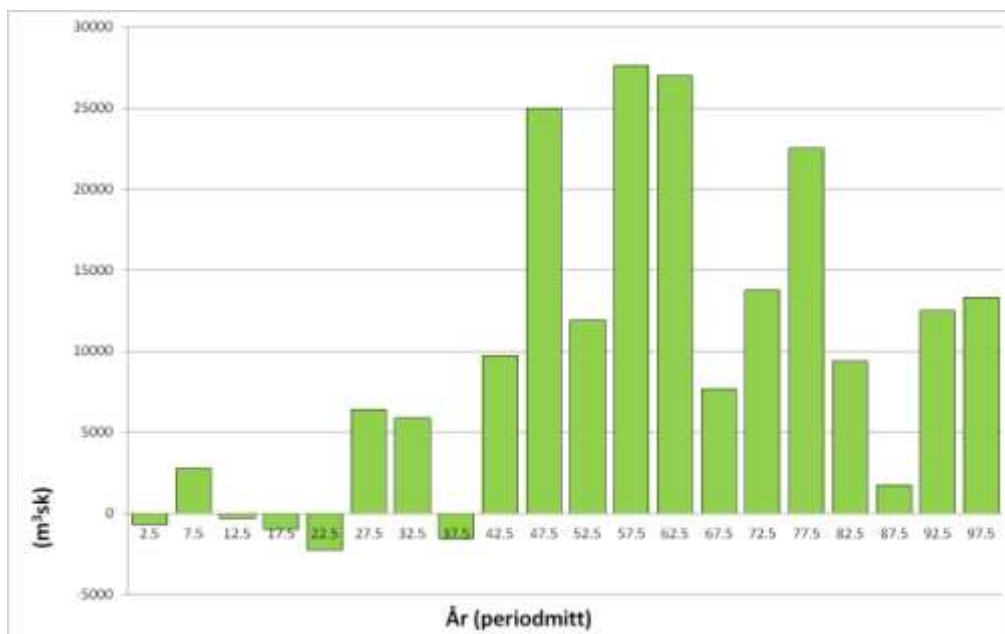


Figur 21: Differens avseende slutavverkningsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna



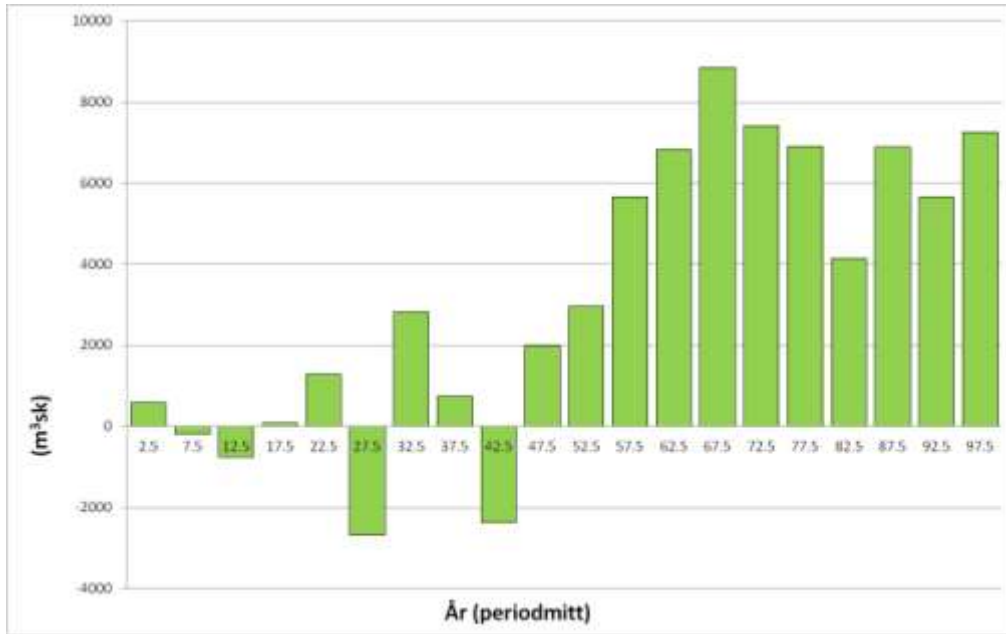
Figur 22: Differens avseende slutavverkningsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

Differensen mellan de periodvisa gallringsvolymerna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 23, 24 och 25 (se även bilaga 1, tabell 6). Skogsbränsleanpassningar ökar uttaget vid gallring med i genomsnitt 30.4 % (25.3 %, 48.5 % resp. 17.5 %). I jämförelse med anpassningarnas påverkan på uttaget vid slutavverkning påverkas gallringsuttaget desto tydligare. Redan här kan man ana att ett sådant ökat uttag i samband med gallring inte enbart beror på en högre gallringsstyrka (m.a.p. grundyteuttaget vid gallring) utan även en ökad gallringsintensitet (m.a.p. antalet gallringar per omloppstid).

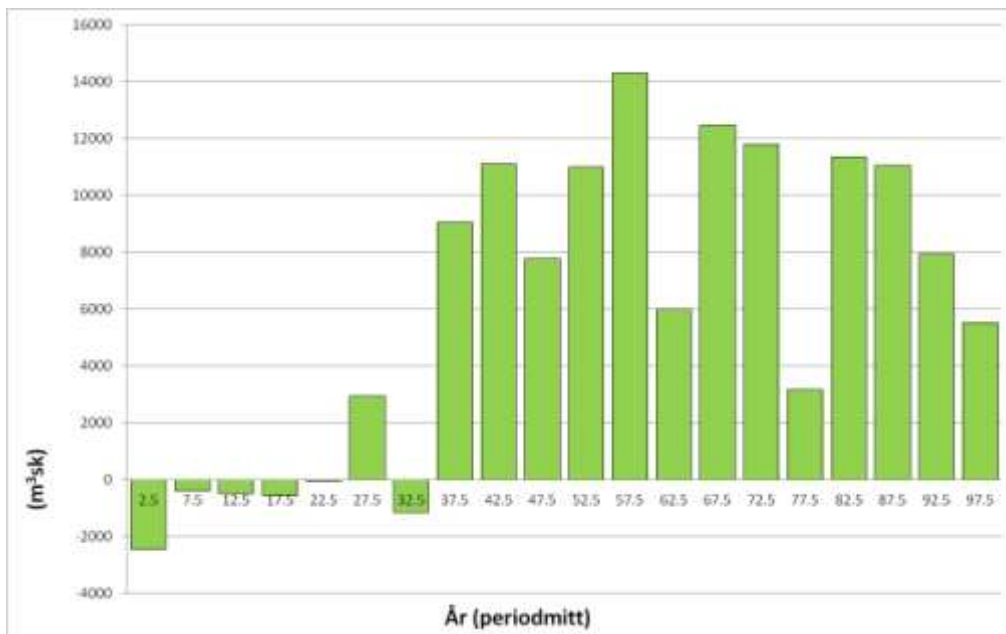


Figur 23: Differens avseende gallringsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skelleftekogarna



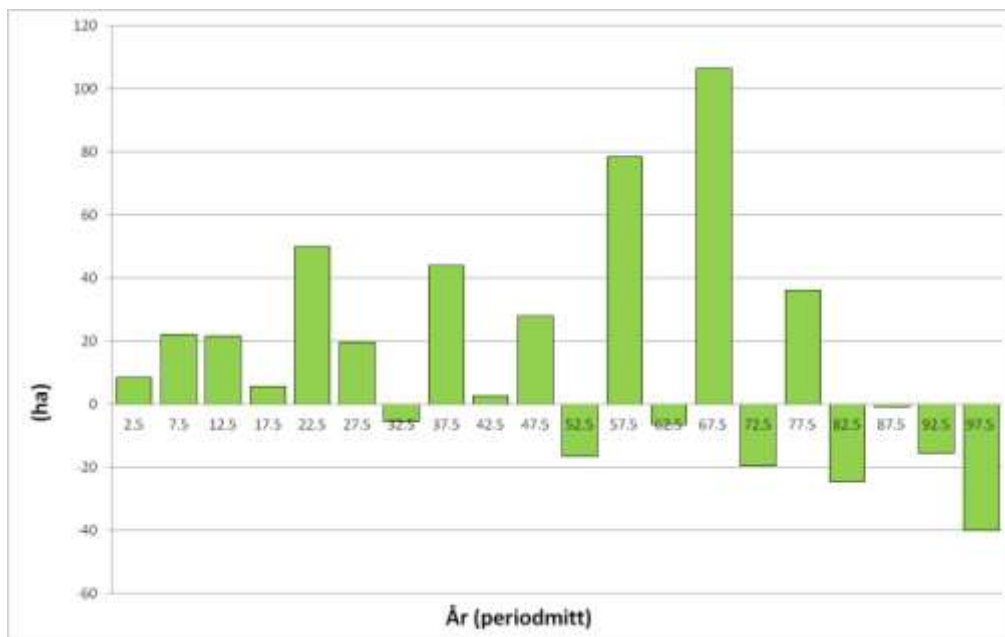


Figur 24: Differens avseende gallringsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna

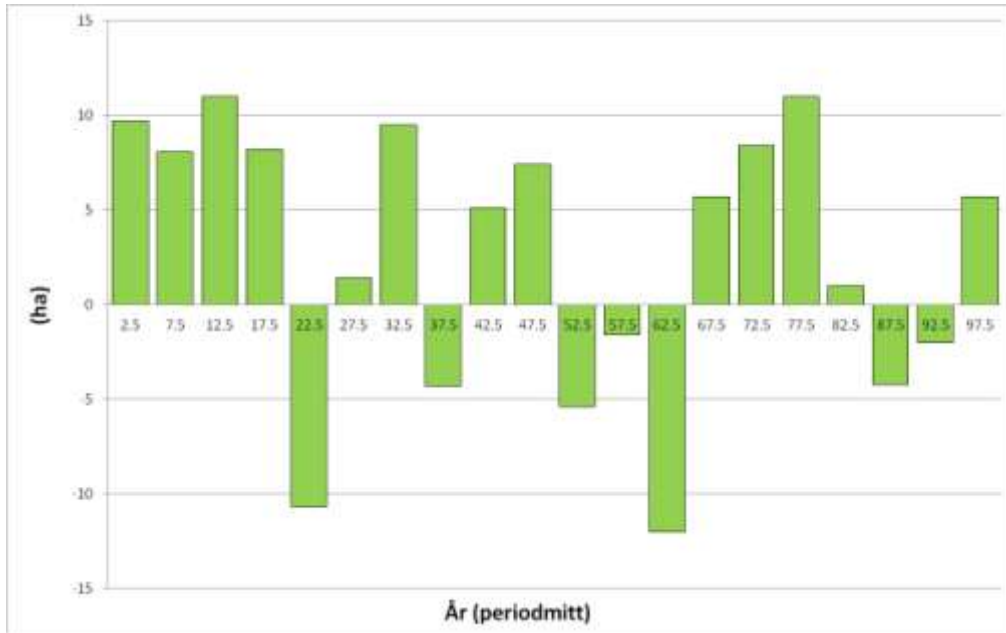


Figur 25: Differens avseende gallringsuttag,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

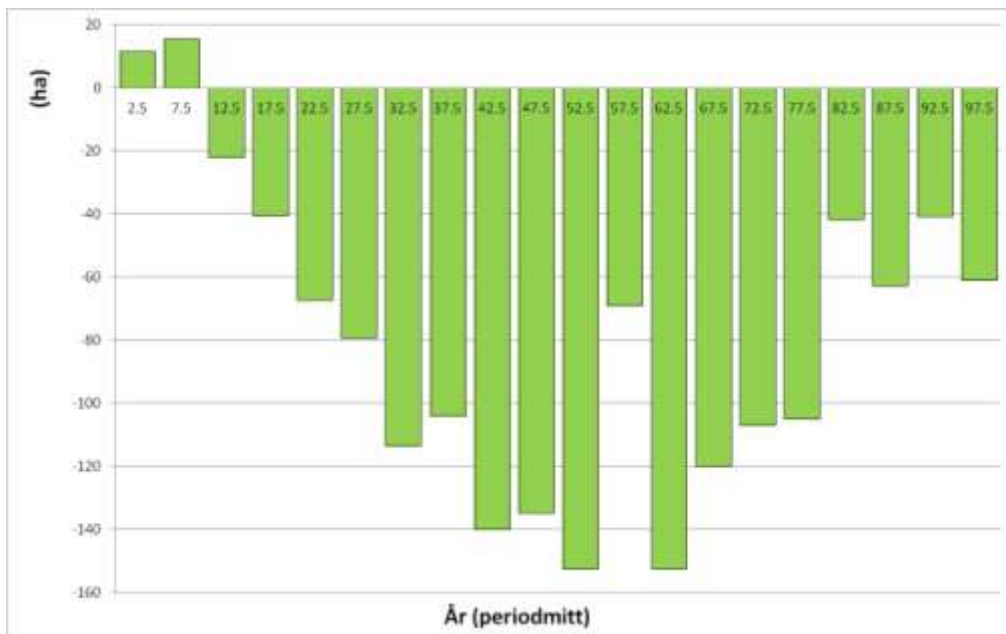
Differensen mellan de periodvisa slutavverkningsarealerna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 26, 27 och 28 (se även bilaga 1, tabell 7). Skogsbränsleanpassningar minskar de slutavverkade arealerna med i genomsnitt 7.3 % (2.6 %, 3.3 % resp. -27.8 %). Den s.k. årsytan minskar således i samband med anpassningarna, indikerande en viss förlängning av omloppstiderna.



Figur 26: Differens avseende slutavverkningsareal,  $\Delta = yta_{BASB} - yta_{SB}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna

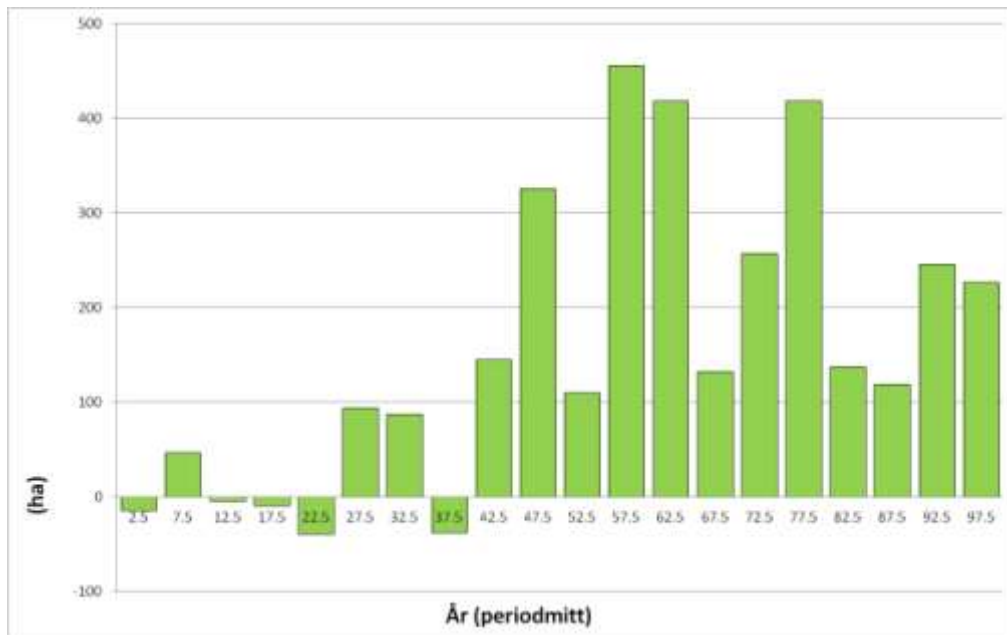


Figur 27: Differens avseende slutavverkningsareal,  $\Delta = y_{ta_{BASB}} - y_{ta_{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna

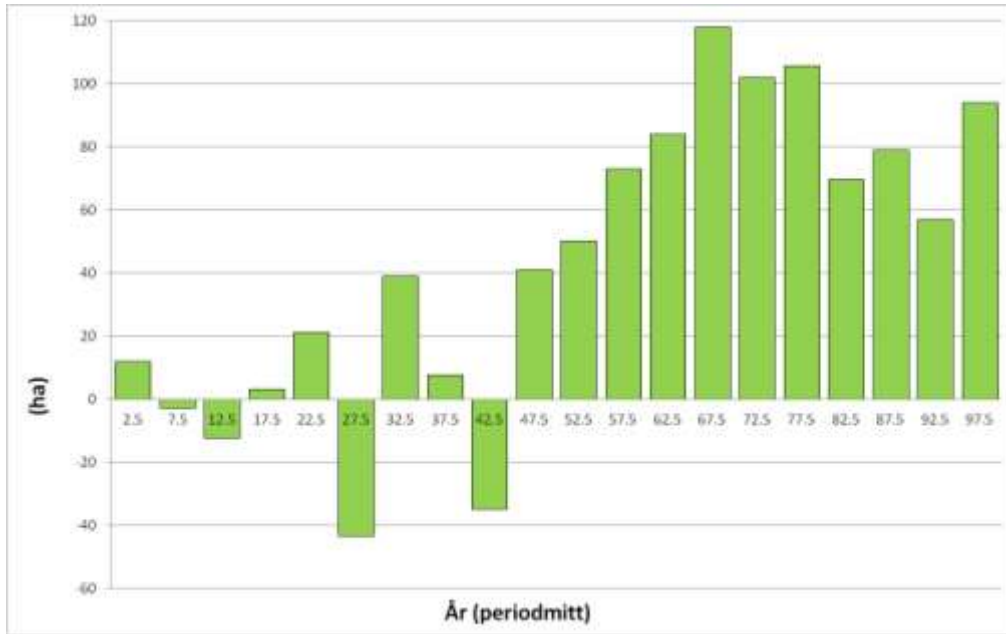


Figur 28: Differens avseende slutavverkningsareal,  $\Delta = y_{ta_{BASB}} - y_{ta_{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

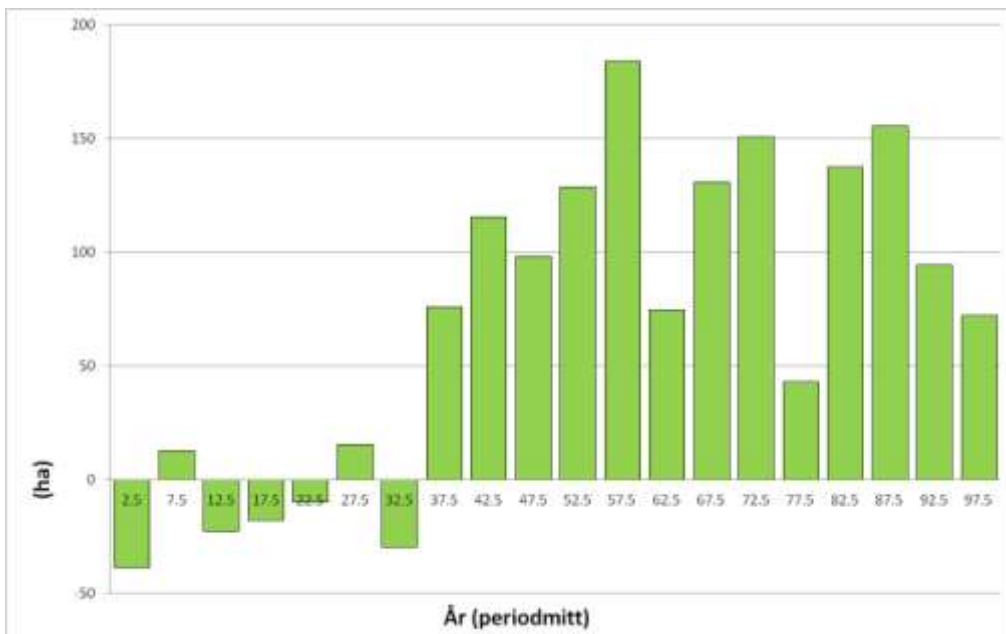
Differensen mellan de periodvisa gallringsarealerna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 29, 30 och 31 (se även bilaga 1, tabell 8). Skogsbränsleanpassningar ökar de gallrade arealerna med i genomsnitt 26.5 % (22.8 %, 40.0 % resp. 16.7 %). Gallringsintensiteten, avseende antalet gallringar per omloppstid, ökar således i samband med anpassningarna.



Figur 29: Differens avseende gallringsareal,  $\Delta = y_{\text{BASB}} - y_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna

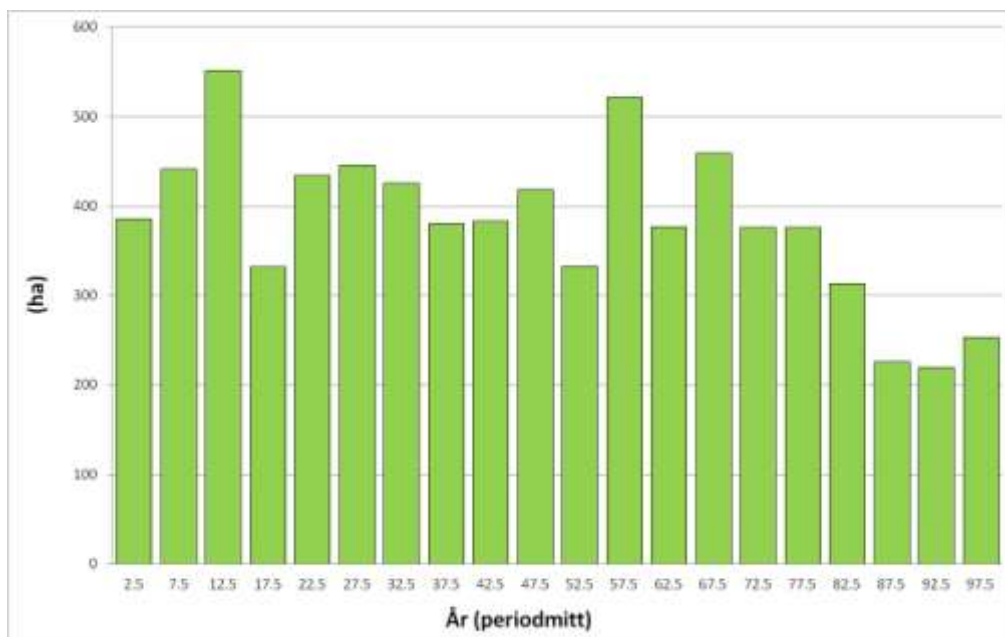


Figur 30: Differens avseende gallringsareal,  $\Delta = y_{ta_{BASB}} - y_{ta_{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna

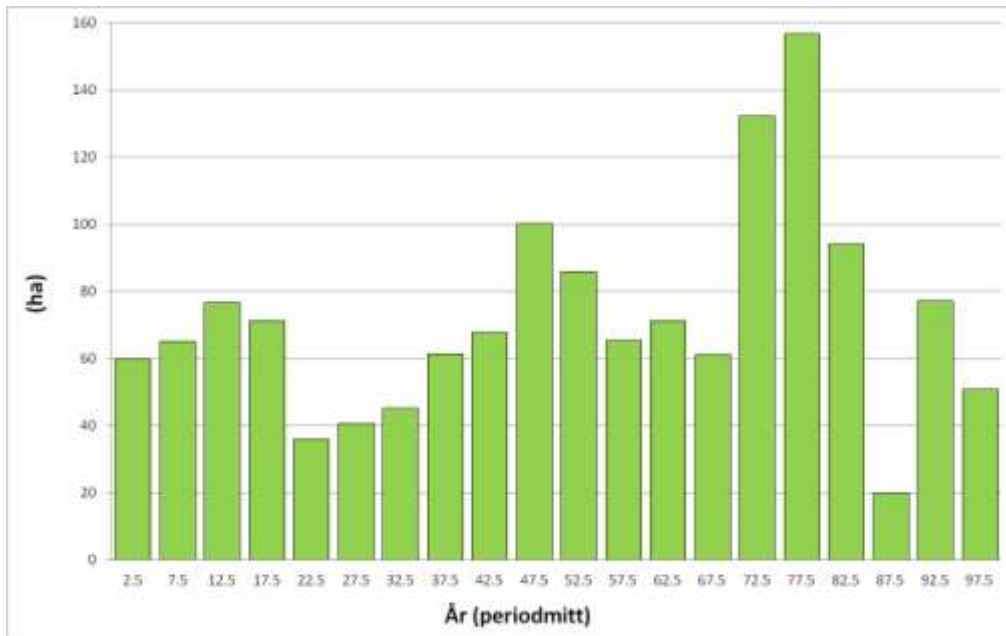


Figur 31: Differens avseende gallringsareal,  $\Delta = y_{ta_{BASB}} - y_{ta_{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

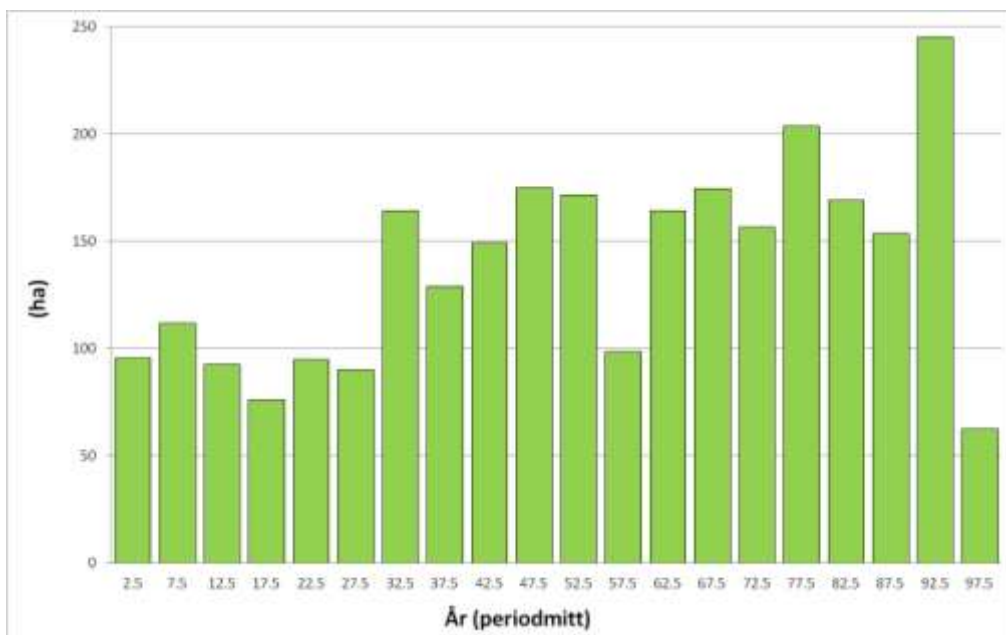
Differensen mellan de periodvisa bränsleuttagsarealerna vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 32, 33 och 34 (se även bilaga 1, tabell 9). Skogsbränsleanpassningar ökar de skogsbränsleuttagna arealerna med i genomsnitt 119 % (166 %, 127 % resp. 63 %). Intensiteten i bränsleuttaget ökar således markant, både i samband med slutavverkningar och med gallringar, när skogsbruket bränsleanpassas.



Figur 32: Differens avseende bränsleuttagsareal,  $\Delta = y_{\text{BASB}} - y_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna

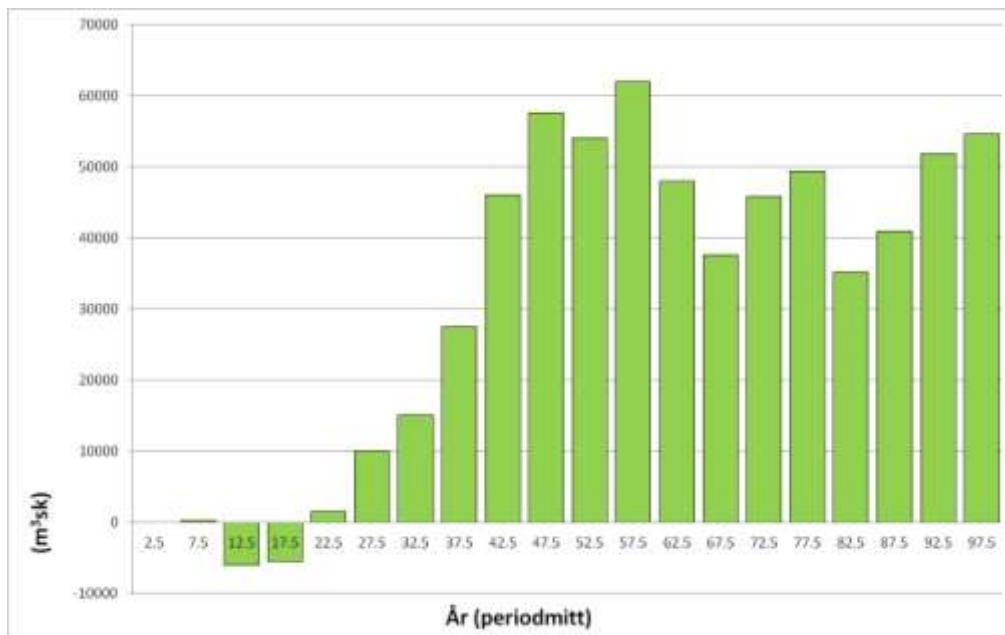


Figur 33: Differens avseende bränsleuttagsareal,  $\Delta = y_{ta_{BASB}} - y_{ta_{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna



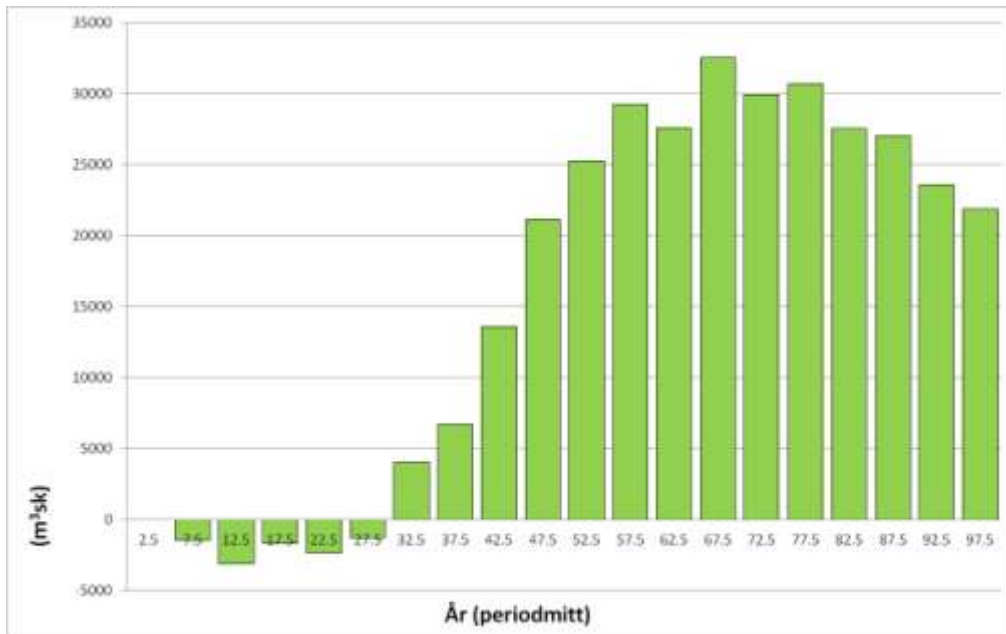
Figur 34: Differens avseende bränsleuttagsareal,  $\Delta = y_{ta_{BASB}} - y_{ta_{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

Differensen mellan de periodvisa virkesförråden vid ett bränsleanpassat och ett konventionellt skogsbruk, BASB - SB, för de tre områdena presenteras i figur 35, 36 och 37 (se även bilaga 1, tabell 10). Skogsbränsleanpassningar ökar virkesförrådet med i genomsnitt 3.6 % (2.6 %, 7.7 % resp. 0.6 %).

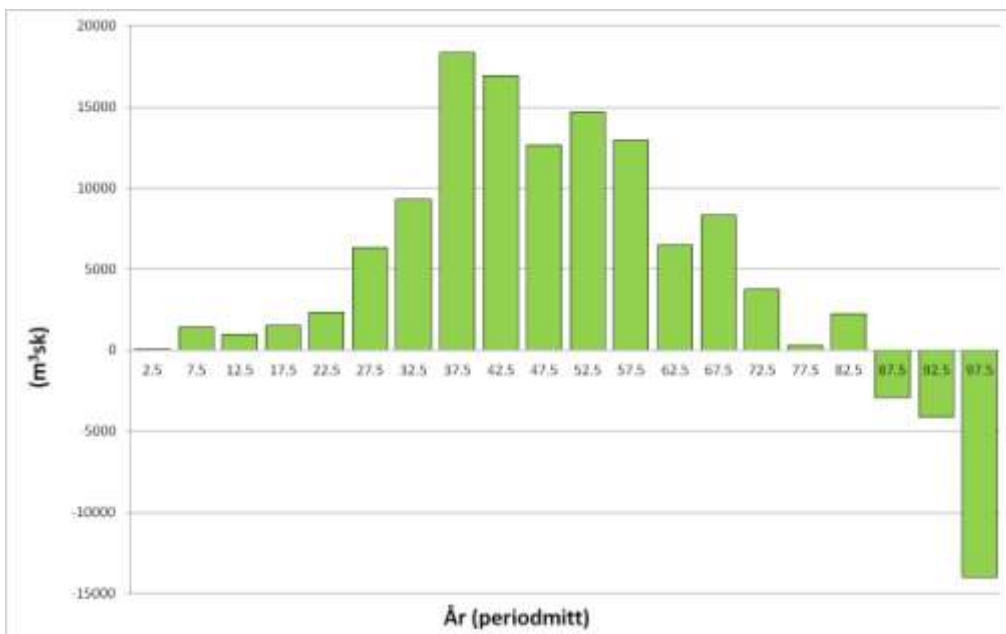


Figur 35: Differens avseende virkesförråd,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Skellefteskogarna





Figur 36: Differens avseende virkesförråd,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Östersundsskogarna



Figur 37: Differens avseende virkesförråd,  $\Delta = \text{volym}_{\text{BASB}} - \text{volym}_{\text{SB}}$ , i mitten av 20 st. femårsperioder för Göteborgsskogarna

### 3.2 Lämpliga skogar för bränsleanpassning

Av Skellefteskogarnas 8514 ha, exklusive NO-skogarna i domän 1, sköts 7767 ha (91 %) för störst måluppfyllelse med ett bränsleanpassat skogsbruk. Övriga 747 ha sköts med ett konventionellt trakthyggesbruk, dvs. eventuella bränsleuttag under den 100-åriga planeringshorisonten görs endast enligt SB. Av Östersundsskogarnas brukade areal i domän 2, 3 och 4 (1636 ha) sköts 1606 ha (98 %) bäst med ett bränsleanpassat skogsbruk, och för Göteborgsskogarna i domän 2-6 (3547 ha) är motsvarande siffra 2364 ha (67 %). Genom att särskilt studera en delmängd av bestånden och då de som uppvisar den största relativa differensen i nuvärde mellan det konventionella och det bränsleanpassade skogsbruket kan dessa sägas beskriva de beståndstyper eller skogar där bränsleanpassningar är som mest lämpade. Då nuvärdet i stor utsträckning är tidsberoende, d.v.s. när i tid intäkter (och utgifter) uppstår i skogsbruket, kan antas att de skogar som uppvisar ett påtagligt större nuvärde vid det bränsleanpassade skogsbruket än vid det konventionella skogsbruket har andra föreslagna skogsbruksåtgärder relativt nära i tid, förmodligen inom de närmaste 1-2 (3) femårsperioderna.

För Skellefteskogarna och beaktande de 10 % av bestånden som uppvisar störst relativ nuvärdesskillnad mellan ett konventionellt och ett bränsleanpassat skogsbruk, erhöles en nuvärdesökning motsvarande 19.2 % (nuvärde<sub>SB</sub>: 18645 kr/ha, nuvärde<sub>BASB</sub>: 22222 kr/ha). Dessa bestånd karaktäriseras av en lägre ålder, ett större stamantal och en mindre andel tall, till förmån för främst löv. Dessutom är granståndorter dominerande för bestånd lämpade för ett bränsleanpassat skogsbruk, se tabell 9.

Tabell 9: Karaktäristika för Skellefteskogarna och de 10 % av dess bestånd där bränsleanpassat skogsbruk (BASB) uppvisar ett avsevärt högre nuvärde jämfört med konventionellt skogsbruk (SB)

|                               | Samtliga bestånd, $n = 2840$ |       |     |       | Övre 10-percentil, $n = 284$ |       |     |       |
|-------------------------------|------------------------------|-------|-----|-------|------------------------------|-------|-----|-------|
|                               | Summa                        | Medel | Min | Max   | Summa                        | Medel | Min | Max   |
| Areal (ha):                   | 9171                         | 3.2   | 0.1 | 80.1  | 810                          | 2.9   | 0.1 | 27.6  |
| Volym (m <sup>3</sup> sk/ha): |                              | 120.6 | 0.0 | 513.8 |                              | 51.1  | 0.0 | 246.5 |
| Ålder (år):                   |                              | 63.1  | 0.0 | 236.8 |                              | 33.3  | 0.0 | 161.4 |
| DGV (cm):                     |                              | 15.5  | 0.0 | 122.7 |                              | 8.3   | 0.0 | 49.2  |
| HGV (m):                      |                              | 12.7  | 0.0 | 42.8  |                              | 6.8   | 0.0 | 21.0  |
| Stamantal (st/ha):            |                              | 1407  | 0   | 37229 |                              | 2205  | 0   | 12732 |
| Tall (%):*                    |                              | 73.3  |     |       |                              | 21.9  |     |       |
| Gran (%):*                    |                              | 21.6  |     |       |                              | 25.6  |     |       |
| Löv (%):*                     |                              | 5.1   |     |       |                              | 52.5  |     |       |
| SI Tall (m, H100):            | (79 %)                       | 18.4  | 10  | 29    | (42 %)                       | 18.1  | 10  | 22    |
| SI Gran (m, H100):            | (21 %)                       | 19.9  | 14  | 28    | (58 %)                       | 19.0  | 14  | 22    |

\*) Avseende volym.

För Östersundsskogarna och beaktande de 10 % av bestånden som uppvisar störst relativ nuvärdesskillnad mellan ett konventionellt och ett bränsleanpassat skogsbruk, erhöles en nuvärdesökning motsvarande 54.8 % (nuvärde<sub>SB</sub>: 7610 kr/ha, nuvärde<sub>BASB</sub>: 11782 kr/ha). Som för Skellefteskogarna uppvisar dessa bestånd ett betydligt yngre trädskikt med mer gran och löv och här uteslutande granståndorter, se i tabell 10.

Tabell 10: Karaktäristika för Östersundsskogarna och de 10 % av dess bestånd där bränsleanpassat skogsbruk (BASB) uppvisar ett avsevärt högre nuvärde jämfört med konventionellt skogsbruk (SB)

|                               | Samtliga bestånd, $n = 370$ |       |     |       | Övre 10-percentil, $n = 37$ |       |     |       |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-----|-------|-----------------------------|-------|-----|-------|
|                               | Summa                       | Medel | Min | Max   | Summa                       | Medel | Min | Max   |
| Areal (ha):                   | 1712                        | 4.6   | 0.1 | 61.7  | 211                         | 5.7   | 0.2 | 20.1  |
| Volym (m <sup>3</sup> sk/ha): |                             | 94.8  | 0.0 | 327.4 |                             | 12.4  | 0.0 | 105.6 |
| Ålder (år):                   |                             | 64.4  | 0.0 | 160.2 |                             | 26.3  | 0.0 | 141.0 |
| DGV (cm):                     |                             | 13.3  | 0.0 | 27.8  |                             | 4.0   | 0.0 | 19.9  |
| HGV (m):                      |                             | 10.3  | 0.0 | 22.0  |                             | 3.0   | 0.0 | 15.0  |
| Stamantal (st/ha):            |                             | 1341  | 0   | 8658  |                             | 1450  | 0   | 5093  |
| Tall (%):*                    |                             | 24.2  |     |       |                             | 9.7   |     |       |
| Gran (%):*                    |                             | 57.0  |     |       |                             | 63.6  |     |       |
| Löv (%):*                     |                             | 18.8  |     |       |                             | 26.7  |     |       |
| SI Tall (m, H100):            | (29 %)                      | 20.0  | 15  | 23    | -                           | -     | -   | -     |
| SI Gran (m, H100):            | (71 %)                      | 17.7  | 14  | 22    | (100 %)                     | 17.0  | 14  | 20    |

\*) Avseende volym.

För Göteborgsskogarna och beaktande de 10 % av bestånden som uppvisar störst relativ nuvärdesskillnad mellan ett konventionellt och ett bränsleanpassat skogsbruk, erhöles en nuvärdesökning motsvarande 19.6 % (nuvärde<sub>SB</sub>: 50560 kr/ha, nuvärde<sub>BASB</sub>: 60472 kr/ha). Skillnaderna är här inte lika markanta som för Skellefte- och Östersundsskogarna men ändå är trädskiktet i bestånden lämpande för ett bränsleanpassat skogsbruk yngre, klenare och med ett högre stamantal än genomsnittet för hela analysområdet, se tabell 11.

Tabell 11: Karaktäristika för Göteborgsskogarna och de 10 % av dess bestånd där bränsleanpassat skogsbruk (BASB) uppvisar ett avsevärt högre nuvärde jämfört med konventionellt skogsbruk (SB)

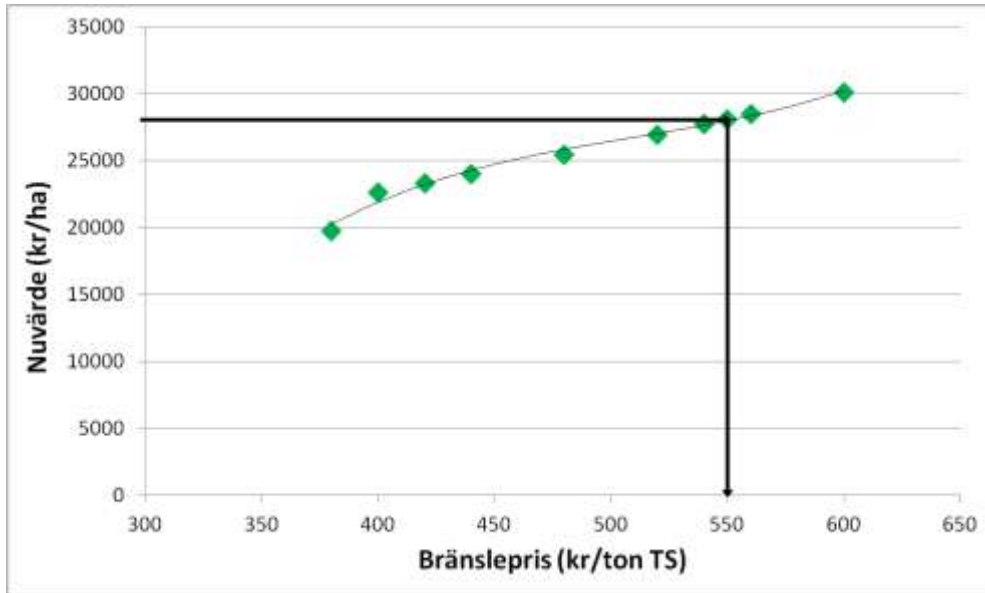
|                         | Samtliga bestånd, $n = 1354$ |       |     |       | Övre 10-percentil, $n = 135$ |       |     |       |
|-------------------------|------------------------------|-------|-----|-------|------------------------------|-------|-----|-------|
|                         | Summa                        | Medel | Min | Max   | Summa                        | Medel | Min | Max   |
| Areal (ha):             | 4216                         | 3.1   | 0.1 | 31.2  | 431.5                        | 3.2   | 0.3 | 21.1  |
| Volym ( $m^3$ sk/ha):   |                              | 133.6 | 0.0 | 509.6 |                              | 119.3 | 0.0 | 325.6 |
| Ålder (år):             |                              | 55.9  | 0.0 | 129.3 |                              | 43.2  | 0.0 | 115.3 |
| DGV (cm):               |                              | 20.3  | 0.0 | 88.0  |                              | 15.3  | 0.0 | 37.1  |
| HGV (m):                |                              | 13.7  | 0.0 | 29.0  |                              | 11.2  | 0.0 | 24.2  |
| Stamantal (st/ha):      |                              | 2251  | 0   | 50180 |                              | 3975  | 0   | 32595 |
| Tall (%):*              |                              | 32.2  |     |       |                              | 35.9  |     |       |
| Gran (%):*              |                              | 20.1  |     |       |                              | 16.4  |     |       |
| Löv exkl. ädellöv (%):* |                              | 33.4  |     |       |                              | 39.9  |     |       |
| Ädellöv (%):*           |                              | 14.3  |     |       |                              | 7.8   |     |       |
| SI Tall (m, H100):      | (37 %)                       | 24.6  | 18  | 27    | (32 %)                       | 24.9  | 23  | 27    |
| SI Gran (m, H100):      | (63 %)                       | 30.1  | 25  | 34    | (68 %)                       | 29.4  | 27  | 32    |

\*) Avseende volym.

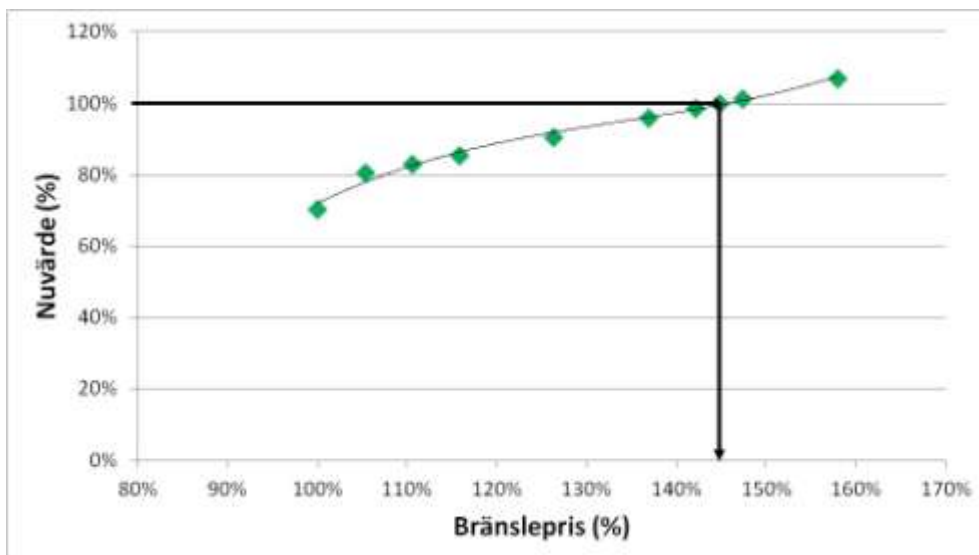
Beaktas den skogsbruksåtgärd, i bestånd som vid ett bränsleanpassat skogsbruk uppvisar ett avsevärt högre nuvärde än vid ett konventionellt skogsbruk, som föreslås under de första 15 åren av den 100-åriga planeringshorisonten handlar det i huvudsak om en viss tidigareläggning (jämfört med SB) av en förstagallring, som sannolikt kan göras med en något högre lönsamhet tack vare ett skogsbränsleuttag.

### 3.3 Känslighetsanalys avseende skogsbränslepris

För de ekonomiska beräkningarna behövs apteringsmodeller. Dessa modeller fördelar ett träd i förekommande sortiment och kvalitetsklasser på ett så ekonomiskt effektivt sätt som möjligt. Genom att i de teoretiska apteringarna låta massavedssortimentet utgå, d.v.s. endast aptera sågtimmer och skogsbränsle, kan man beakta föreliggande analysers känslighet med avseende på skogsbränslepriset. Det vill säga vid vilken relativ ökning av skogsbränslepriset som massaveden till fullo kan anses ersatt, eller ”utkonkurrerad”, av skogsbränsle. För Östersundsskogarna testades detta stegvis, tills det ursprungliga nuvärdet, som erhöles vid aptering av tre sortiment, uppnåts för enbart två sortiment. Vid en 45 %-ig ökning av skogsbränslepriset, från 380 till 550 kr/ton TS, erhöles det ursprungliga nuvärdet på 28126 kr/ha, se figur 38 och 39.



Figur 38: Skogsbränslepriset vid ett konventionellt skogsbruk och två sortiment; skogsbränsle och sågtimmer, för Östersundsskogarna (nuvärde vid ett tresortimentsskogbruk: 28126 kr/ha)



Figur 39: Det relativa skogsbränslepriset vid ett konventionellt skogsbruk och två sortiment; skogsbränsle och sågtimmer, för Östersundsskogarna (relativt nuvärde vid ett tresortimentsskogbruk: 100 %)

Massavedspriset, i viss mån trädslagsberoende, är i analyserna ungefär 330 kr/m<sup>3</sup>fub. Skogsbränslets densitet varierar relativt mycket men med 0.5 ton/m<sup>3</sup> skulle bränslepriset 380 kr/ton TS motsvaras av 190 kr/m<sup>3</sup>. Även skogsbränslets energiinnehåll varierar men ett generellt värde motsvarande 5 MWh/ton TS skulle innebära att 380

kr/ton TS motsvarar 80 kr/MWh och 550 kr/ton TS motsvarar 110 kr/MWh. Då skogsbränslet här utgörs av en restprodukt vid föregående avverkning uppstår ingen avverkningskostnad för GROTen, däremot en drivningskostnad som i analyserna uppgår till 186 kr/ton TS (för ett genomsnittligt terrängtransportavstånd, då annan uppgift saknas, på 300 meter för resp. bestånd).

## 4 DISKUSSION

De senaste årens oroväckande effekter av klimattförändringar samtidigt som det globala energibehovet bara ökat har inneburit ett stort intresse för biobränslen. Att skogsbruket på ett bra sätt kan svara upp mot detta intresse och bidra med en del av problemlösningen genom skogsbränsleproduktion blir i det perspektivet särskilt intressant. Skogens roll, bland annat som producent av förnyelsebar energi men även med andra produkter som kan ersätta klimatmässigt sämre alternativ liksom för inlagring av kol, är komplex och därför viktig att långsiktigt analysera. Kortsiktigare analyser kan bli relativt irrelevanta då skogarna utvecklas förhållandevis långsamt och produktionen (liksom kolinlagringen) är olika i olika utvecklingsstadier. Användningen av en strategisk planeringsmodell som Heureka PlanVis har i studien varit en förutsättning för relevanta analysresultat. Heureka-systemet erbjuder även möjligheter till att skatta kolinlagringen, både i skog och i skogsmark, vilket dock inte gjorts i föreliggande studie.

Studien kan tyckas visa på relativt modesta lönsamhetsökningar, mellan 3 % och 9 % av nuvärdet, genom skogsbränsleanpassningar för skogsbruket av de tre analysområdena. Bränsleanpassningarna medför en motsvarande, modest sänkning av avverkade timmervolymer; mellan -4 % och -11 % i förhållande till det konventionella skogsbruket. Denna sänkning är påtaglig först under senare halvan av planeringshorisonten, om 50-100 år. Mer markant men framförallt motriktad är bränsleanpassningarnas påverkan på massavedsuttaget; det ökar med mellan 8 % och 19 % för de tre analysområdena med beaktande av hela den 100-åriga planeringshorisonten. Lite anmärkningsvärt är alltså att bränsleanpassningarna gynnar ett sortiment som brukar antas bli lidande av ett ökat skogsbränsleuttag. Bränsleuttagets ökning i och med bränsleanpassningarna är föga förvånande markant, i genomsnitt mer än fördubblad (158 %) i förhållande till det konventionella skogsbruket.

De skötselplaneringar som ger detta resultat kan förklaras genom att beakta åtgärdsarealerna för slutavverkning respektive gallring. På motsvarande sätt som man talar om en s.k. årsyta, som avser den årliga slutavverkade arealen (i genomsnitt) för ett visst analysområde, kan man tala om en ”gallrings-årsyta”. Om årsytan är lika för gallring som för slutavverkning sker i genomsnitt en gallring per omloppstid. Det bränsleanpassade skogsbrukets uttagsvolymer av de tre sortimenten beror främst på en förlängning av omloppstiden med i genomsnitt 9 % (från 88 år till 96 år för de tre analysområdena sammantaget). Under en längre omloppstid inryms fler gallringar och gallringsfrekvensen ökar i och med bränsleanpassningarna i genomsnitt med 40 %, från 1.3 till 1.9 gallringar per omloppstid. Det kan antas att bränsleanpassningarna medför en sådan lönsamhetsökning vid förstagallringar att dessa kan göras något tidigare än i det konventionella skogsbruket. De skötselmässiga förändringarna är således förhållandevis små vid en övergång från det som här kallas, konventionellt skogsbruk till ett bränsleanpassat.

För att klargöra vilka beståndstyper som är mest intressanta för en övergång till ett bränsleanpassat skogsbruk så gjordes ett urval av en ”övre 10-percentil” av be-

stånd där nuvärdesskillnaderna mellan det konventionella och det bränsleanpassade skogsbruket i relativa termer är som störst. För dessa bestånd är lönsamhetsökningen i genomsnitt drygt 30 %, över 50 % för Östersundsskogarna och knappt 20 % för Skellefte- och Göteborgsskogarna. Bestånd som är mer lämpade för bränsleanpassningar ur ett lönsamhetsperspektiv utgörs främst av ungskogar med en generellt lägre medeldiameter och medelhöjd och ett högre stamantal. I sådana skogar föreligger alltså en möjlighet att anpassa skogsbruket till ett ökat skogsbränsleuttag genom att i relativ närtid (under de två-tre närmast förestående 5-årsperioderna) genomföra skogsbruksåtgärder som leder till ett skötselprogram som, beaktat hela den 100-åriga planeringshorisonten, är lönsammare än motsvarande program vid det konventionella skogsbruket. De genomsnittliga boniteterna för dessa bestånd är dessutom något lägre, indikerande ståndorter med en något sämre produktionsförmåga än den hos analysområdenas samtliga bestånd. Att skogsbränsleanpassningarnas lönsamhetsökning är som störst för Östersundsskogarna beror således på att det skogsinnehavet, i större utsträckning än för de andra två, består av fler bestånd mer lämpade för skogsbränsleproduktion, eller i alla fall sådana bestånd där bränsleanpassningar lättare låter sig göras och då erhåller ett större genomslag, beaktande nuvärdet. Med alltför många slutavverkningsmogna bestånd är det givetvis svårt att med bränsleanpassningar påtagligt påverka lönsamheten, då värdena i dylika bestånd i så stor utsträckning är förknippat med värden i timmersortimenten.

Studiens priskänslighetsanalys visar, för ett visst analysområde (här Östersundsskogarna) under vissa förutsättningar (här t.ex. ett bränslepris på 380 kr/ton TS, ungefär motsvarande 80 kr/MWh), att massaveden utkonkurrerats vid en 45 %-ig höjning av bränslepriset. I det fallet skulle då skogsbruket endast handla om uttag av bränsle och sågtimmer, utan något massavedsuttag. Men det resultatet är främst av ett teoretiskt värde, som egentligen mer visar att en prisskillnad mellan bränslet och massaveden föreligger i analyserna och att PlanVis bakomliggande beräkningsmodeller är tillräckligt känsliga (inte alltför ”trubbiga”) för att en sådan analys ska vara relevant. En liknande prisskillnad föreligger även mellan massaveden och sågtimret, mindre för de sämre timmerkvalitetsklasserna och större för de bättre kvalitetsklasserna. Ett högre pris på skogsbränslet, men då endast med en relativ ökning under 45 %, samtidigt med oförändrat massavedspris skulle sannolikt påverka det bränsleanpassade skogsbruket i en mindre omfattning emedan lönsamhetskillnaderna skulle avsevärt accentueras. Om bränslepriset skulle stiga med mycket mer än 45 %, allt annat oförändrat, så skulle det sannolikt ge upphov till ett helt annat, mycket mer särpräglat bränsleanpassat skogsbruk än vad som redovisas i denna studie.

Fallstudierna gjordes som sig bör på verkliga skogar under så realistiska förutsättningar som möjligt. I sådana fall kan till exempel målklassanpassningar av skogsbruket, generella hänsynstaganden till naturvärden och jämna virkesflöden över tid medföra en viss otydlighet i resultaten. Differenserna mellan det konventionella och det bränsleanpassade skogsbruket hade förmodligen blivit mer signifikanta genom att t.ex. jämnhetskravet exkluderats från analyserna. Å andra sidan hade resultaten då varit av mer teoretisk karaktär.



Nu är allt detta under rådande analysförutsättningar, t.ex. avseende priser och kostnader, och där nuvärdet endast avser de virkesproducerande delarna av skogsbruket. Andra värden av en ökad skogsbränsleproduktion, t.ex. samhällets vinst i form av ökad tillgång på förnyelsebar energi, må därför värderas på annat sätt.

Den framtida efterfrågan av respektive sortiment är förstås hölj d i dunkel. Men att vid långsiktiga analyser, för att erhålla stöd i de beslut som ska tas under den närmaste tiden, hellre beakta fler än färre ekosystemtjänster är en form av riskhantering genom spridning av riskerna. En oviss framtid i kombination med ensidiga satsningar har i svenskt skogsbruk många gånger visat sig olyckligt. Strategiska planeringsanalyser ska normalt genomföras med ett betydligt tätare intervall än planeringshorisontens längd, redan efter två till fem (tio) år har förmodligen förutsättningarna för skogsbruket förändrats så pass att det föranleder nya analyser.

Skogsbränslet representeras i båda skötselsystemen (det konventionella och det bränsleanpassade skogsbruket) uteslutande av avverkningsrester i form av grenar och toppar, GROT. Anpassningarna av det konventionella skogsbruket till att även ta hänsyn till skogsbränsleproduktionen är således i den här studien förhållandevis små. Avseende skogsbränsleproduktion pågår intressant forskning och metodutveckling som kommer att påverka skogsbrukets förutsättningar. Men då denna påverkan ännu är oviss valdes att här inte simulera till exempel stubbskörd (Melin m.fl. 2010, Petersson & Melin 2010) eller skogsbränsleuttag i ungskog (Sängstuvall 2010, Sängstuvall m.fl. 2012) i föreliggande analyser. Dessa och motsvarande metoder har och kommer att analyseras i separata studier, som även de kan göras med Heureka PlanVis. PlanVis simulering av GROT-uttag är i linje med vedertagen metodik (Strömberg 2005). Däremot kan man i PlanVis för närvarande inte simulera kompensationsgödsling i form av askåterföring (Skogsstyrelsen 2008b), emedan en viss nedsättning av tillväxten simuleras ifall skogsbränsleuttag simulerats i samband med föregående avverkning (Anon. 2010).

I praktiskt skogsbruk sker idag relativt begränsade bränsleuttag i samband med gallring, särskilt samtidigt med uttag av massaved och timmer. Ett antal dåliga vinturar, då marken varit otillräckligt frusen med dålig bärighet som följd, kan på många ställen inneburit att man då prioriterat slutavverkningar vid tidpunkter som trots allt möjliggjort avverkning. Gallringarna, med generellt mindre mängder virke som ska transporteras ut ur skogen, kan då ha fått genomföras vid sämre bärigheter, för undvikande av stillestånd och upprätthållande av viss, nödvändig kontinuitet i virkesflödet. Gallring under sådana förutsättningar kan innebära att GROTen främst används till risning av bas- och stickvägar. Efter att både skördare och skotare kört på riset duger det givetvis inte längre som skogsbränsle. Sena gallringar med förhållandevis stora (tung) virkesuttag kräver normalt mer risning. Å andra sidan medför förhållandevis tidiga gallringar en mindre tillgänglig mängd ris som skulle kunna tas ut som bränsle. Summasummarum bör man i skogsbruket i större utsträckning än vad som sker idag på ett bättre sätt planera även för gallringar och för skogsbränsleuttag generellt, specifikt bränsleuttag även i samband med gallringsavverkning.

Virkesmarknadens prisbild för skogsbränsle är fortfarande relativt otydlig, trots att GROT-sortimentet handlats med under en förhållandevis lång tid. I viss mån för-

klaras bristen på transparens av den geografiskt ojämnt fördelade efterfrågan på och utbud av skogsbränsle. Omfördelning försvåras av att GROTen är otymplig och på så sätt relativt dyr att transportera. Flisning av GROT i skog, vid bilväg innan transporten vidtas, är heller inte den enkla lösningen på problemet – flisen tar fortfarande förhållandevis stor plats och kan innehålla mer vatten (som då måste transporteras) än vad värmeverken kan acceptera (och elda utan föregående torkning). Även om det pågår utveckling mot en stabilare och mer transparent skogsbränslemarknad är det olyckligt ifall skogsägare hamnar i kläm och föranleds tro att GROTen är mer eller mindre värdelös. Dyligt gynnar endast bränsleköpare och värmeverk på mycket kort sikt, då skogsägaren isåfall ser liten vits med att planera och anpassa sitt skogsbruk även till bränslesortimentet.

De modeller som finns att tillgå och som används i Heureka-systemet bygger på i stor utsträckning på observationer av ett konventionellt skogsbruk med fokus på sågtimmer- och massavedssortimenten. En kunskapsuppbyggnad även kring skogsbränslen och bränsleanpassade skogsbruk skulle häri kunna leda till nya och förbättrade prognos- och beräkningsmodeller. Idag råder tyvärr en större osäkerhet kring de bränslerelaterade skattningarna i Heureka-systemet, bl.a. avseende pris- och kostnadsbildningen. Den största osäkerheten torde ändå anse hur skogarna och reagerar på relativt stora och upprepade skogsbränsleuttag. En viktig fråga är huruvida skogsmarkens bördighet och produktionsförmåga riskeras sänkas på grund av förluster av näringsämnen i och med större bränsleuttag och om kompensationsgödsling, t.ex. genom återföring av skogsbränsleaska, kan användas för att undvika dylika problem. Tvivelsutan behövs mer forskning och utveckling i syfte att kvalitetssäkra och etablera nya skogsbränslerelaterade modeller.

#### 4.1 Slutsats

Genom att bränsleanpassa skogsbruket kan avsevärt större mängder skogsbränsle tas ut från skogarna. Emellertid skiljer sig skötseln av det bränsleanpassade skogsbruket i denna studie endast i liten utsträckning från det konventionella skogsbruket. Bränsleanpassningarna leder till något längre omloppstider med något fler gallringar och följaktligen ett något större massavedsuttag – i övrigt är det pågående trakthyggesbruket tillsynes redan relativt skogsbränsleanpassat. Många skogsbruk är redan idag i praktiken mer gallringsintensiva än vad ett brukande inriktad på nuvärdesmaximering borde vara, med ekonomiskt sett lite för långa omloppstider. Orsakerna till att det praktiska skogsbruket ser ut som det gör är dock endast i undantagsfall bränslerelaterade, mer troligt är att inriktningar på högkvalitativa sågtimmerutbyten varit gällande. I studien föreslagna bränsleanpassningar utgörs således först och främst av rekommendationen att skogsbruket i större utsträckning än vad som görs idag bör planera även för skogsbränsleuttag, på bästa sätt tillsammans med uttag av massaved och timmer, i samband med både gallringar och slutavverkningar.

## 5 REFERENSER

- Anon. 2008a. *Rapport om kraftvärmeutbyggnad 2007-2015*. Svebio, Skogsindustrierna, Svensk Energi och Svensk Fjärrvärme
- Anon. 2008b. *Statistical Yearbook of Forestry 2008*. Swedish Forest Agency. Jönköping, Sweden
- Anon. 2010. *The Heureka Research Programme*. Final Report for Phase 2, October 2005 – September 2009
- Anon. 2011a. *Virkesprislista Västerbotten södra*. Norra Skogsägarna
- Anon. 2011b. *Energiprislista Västerbotten kust*. Norra Skogsägarna
- Athanassiadis, D., Melin, Y., Lundström, A. & Nordfjell, T. 2009. *Marginalkostnader för skörd av grot och stubbar från föryngringsavverkningar i Sverige*. Arbetsrapport 261. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå
- Backéus, S., Lämås, T. & Wikström, P. 2005. *A model for regional analysis of carbon sequestration and timber production*. Forest Ecology and Management 216(1-3): 28-40
- Backéus, S., Wikström, P. & Lämås, T. 2006. *Modeling carbon sequestration and timber production in a regional case study*. Silva Fennica 40(4): 615-629
- Bowyer, C. 2010. *Anticipated Indirect Land Use Change Associated with Expanded Use of Biofuels and Bioliquids in the EU – An Analysis of the National Renewable Energy Action Plans*. IEEP
- Brännlund, R., Lundmark, R. & Söderholm, P. 2010. *Kampen om skogen – koka, såga, bränna eller bevara?* SNS Förlag, Stockholm
- Eriksson, L. O., Gustavsson, L., Hänninen, R., Kallio, M., Lyhykäinen, H., Pingoud, K., Pohjola, J., Sathre, R., Solberg, B., Svanaes, J. & Valsta, L. 2012. *Climate Change Mitigation through Increased Wood Use in the European Construction Sector – Towards an Integrated Modelling Framework*. European Journal of Forest Research 131: 131-144
- EU. 2009. *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the Promotion of the Use of Energy from Renewable Sources and Amending and Subsequently Repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*
- Faustmann, M. 1849. *Calculation of the value which forest land and immature stands possess for timber production*. In: Martin Faustmann and the Evolution of Discounted Cash Flow. Gane, M. (ed.) Commonwealth For. Inst. Paper 42, Oxford, 1968: 18-34

- Högbom, L. & Jakobson, S. 2002. *Kväve 2002 – en konsekvensbeskrivning av skogs-gödsling i Sverige*. Redogörelse nr 5. SkogForsk
- Jonsson, B., Jacobsson, J. & Kallur, H. 1993. *The Forest Management Planning Package. Theory and application*. Studia Forestalia Suecica, no. 189
- Koch, T. 2004. *Rapid Mathematical Programming*. PhD thesis, Technische Universität Berlin, Germany
- Koch, T. 2009. *ZIMPL User Guide*. Available online at <http://zimpl.zib.de/download/zimpl.pdf> (accessed 2010-05-31)
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2009. *Möjligheter till intensivodling av skog*. Slutrapport regeringsuppdrag Jo 2008/1885. SLU
- Melin, Y., Petersson, H. & Egnell, G. 2010. *Assessing carbon balance trade-offs between bioenergy and carbon sequestration of stumps at varying time scales and harvest intensities*. Forest Ecology and Management 260: 536-542
- Nordfjell, T., Nilsson, P., Henningsson, M. & Wästerlund, I. 2008. *Unutilized biomass resources in Swedish young dense stands*. Proceedings: World Bioenergy 2008, 27-29 May, Jönköping, Sweden
- Nurmi, J. 2007. *Recovery of logging residues for energy from spruce (Pices abies) dominated stands*. Biomass and Bioenergy 31(6): 375-380
- Petersson, H. & Melin, Y. 2010. *Estimating the biomass and carbon pool of stump systems at a national scale*. Forest Ecology and Management 260: 466-471
- Rummukainen, M., Bergström, S., Persson, G., Rodhe, J. & Tjernström, M. 2004. *The Swedish Regional Climate Modelling Programme, SWECLIM: A Review*. AMBIO 33(4): 176-182
- Skogforsk. 2011. *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2010*. Resultat nr 4
- Skogsstyrelsen. 2006. *Skogsvårdslagen – handbok*. Jönköping, Sverige
- Skogsstyrelsen. 2008a. *Skogliga konsekvensanalyser och virkesbalanser, SKA-VB 08*. Rapport nr 25. Jönköping, Sverige
- Skogsstyrelsen. 2008b. *Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring*. Meddelande nr 2. Jönköping, Sverige
- Strömberg, B. 2005. *Bränslehandboken*. Värmeforsk, Stockholm
- Sängstuvall, L. 2010. *Estimates of the productivity of logging operations with a focus on forest fuel extraction*. Arbetsrapport 297. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning, Umeå
- Sängstuvall, L., Bergström, D., Lämås, T. & Nordfjell, T. 2012. *Simulation of harvester productivity in selective and boom-corridor thinning of young forests*. Scandinavian Journal of Forest Research 27(1): 56-73

- Thorsén, Å. & Björheden, R. 2010. *Skogen – En växande energikälla*. Sammanfattande rapport från Effektivare Skogsbränslesystem 2007-2010. Skogforsk
- Wikström, P., Edenius, L., Elfving, B., Eriksson, L.O., Lämås, T., Sonesson, J., Öhman, K., Wallerman, J., Waller, C. & Klintebäck, F. 2011. *The Heureka Forestry Decision Support System: An Overview*. *Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences* 3(2): 87-94

## BILAGA 1

Tabell 1: Årlig nettoavkastning vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År            | Avkastning (kr/ha, år) |      |                    |      |                   |      |
|---------------|------------------------|------|--------------------|------|-------------------|------|
|               | Skellefteskogarna      |      | Östersundsskogarna |      | Göteborgsskogarna |      |
|               | SB                     | BASB | SB                 | BASB | SB                | BASB |
| 2.5           | 717                    | 777  | 330                | 403  | 539               | 563  |
| 7.5           | 638                    | 698  | 338                | 466  | 492               | 503  |
| 12.5          | 702                    | 737  | 510                | 479  | 581               | 632  |
| 17.5          | 705                    | 759  | 373                | 422  | 615               | 640  |
| 22.5          | 713                    | 779  | 418                | 484  | 662               | 697  |
| 27.5          | 685                    | 782  | 487                | 528  | 792               | 841  |
| 32.5          | 671                    | 726  | 629                | 671  | 791               | 804  |
| 37.5          | 688                    | 731  | 585                | 621  | 856               | 925  |
| 42.5          | 689                    | 742  | 579                | 631  | 859               | 913  |
| 47.5          | 672                    | 709  | 539                | 587  | 917               | 986  |
| 52.5          | 629                    | 652  | 689                | 721  | 954               | 1032 |
| 57.5          | 639                    | 698  | 536                | 747  | 963               | 1073 |
| 62.5          | 629                    | 656  | 842                | 802  | 1134              | 1176 |
| 67.5          | 678                    | 629  | 705                | 819  | 1180              | 1258 |
| 72.5          | 624                    | 609  | 748                | 802  | 1276              | 1288 |
| 77.5          | 609                    | 628  | 677                | 831  | 1384              | 1424 |
| 82.5          | 622                    | 586  | 728                | 762  | 1298              | 1336 |
| 87.5          | 678                    | 618  | 839                | 845  | 1414              | 1411 |
| 92.5          | 609                    | 585  | 798                | 809  | 1339              | 1427 |
| 97.5          | 664                    | 624  | 798                | 816  | 1486              | 1438 |
| <b>Medel:</b> | 663                    | 686  | 607                | 662  | 976               | 1018 |

Tabell 2: Uttagsvolym av sågtimmer vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                                      | Sågtimmer (m <sup>3</sup> fub) |       |                    |      |                   |       |
|---|--------------------------------|-------|--------------------|------|-------------------|-------|
|   | Skellefteskogarna              |       | Östersundsskogarna |      | Göteborgsskogarna |       |
|   | SB                             | BASB  | SB                 | BASB | SB                | BASB  |
| 2.5                                     | 51599                          | 52042 | 4550               | 4742 | 19360             | 19708 |
| 7.5                                     | 43119                          | 45916 | 4342               | 5992 | 16469             | 15579 |
| 12.5                                    | 46281                          | 47331 | 5660               | 4272 | 17777             | 19679 |
| 17.5                                    | 47137                          | 47181 | 4450               | 4400 | 19834             | 20498 |
| 22.5                                    | 45781                          | 46258 | 6228               | 6327 | 19989             | 20404 |
| 27.5                                    | 44458                          | 46702 | 5365               | 6077 | 25794             | 25511 |
| 32.5                                    | 44466                          | 44776 | 6710               | 5648 | 22152             | 20830 |
| 37.5                                    | 43567                          | 44849 | 7902               | 7475 | 25522             | 24445 |
| 42.5                                    | 47485                          | 45621 | 7165               | 7820 | 22606             | 19500 |
| 47.5                                    | 41840                          | 35585 | 7382               | 7187 | 23337             | 24332 |
| 52.5                                    | 36734                          | 35568 | 8434               | 7149 | 19709             | 19592 |
| 57.5                                    | 39503                          | 37918 | 6583               | 7482 | 21557             | 24025 |
| 62.5                                    | 38000                          | 33990 | 11337              | 8550 | 26320             | 27297 |
| 67.5                                    | 40584                          | 31602 | 9447               | 8856 | 29337             | 28546 |
| 72.5                                    | 38927                          | 28441 | 10038              | 7743 | 34353             | 30711 |
| 77.5                                    | 34508                          | 24643 | 8754               | 8613 | 37981             | 36226 |
| 82.5                                    | 36682                          | 23136 | 9222               | 7237 | 35439             | 33221 |
| 87.5                                    | 39680                          | 26720 | 10424              | 9255 | 40642             | 36281 |
| 92.5                                    | 35616                          | 23137 | 8138               | 6217 | 38456             | 33843 |
| 97.5                                    | 41736                          | 27425 | 7463               | 3582 | 38845             | 32496 |
| <b>Medel:</b>                           | 41885                          | 37442 | 7480               | 6731 | 26774             | 25636 |
| <b>Medel (m<sup>3</sup>fub/ha, år):</b> | 0.91                           | 0.82  | 0.87               | 0.79 | 1.27              | 1.22  |

Tabell 3: Uttagsvolym av massaved vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                                      | Massaved (m <sup>3</sup> fub) |        |                    |       |                   |       |
|---|-------------------------------|--------|--------------------|-------|-------------------|-------|
|   | Skellefteskogarna             |        | Östersundsskogarna |       | Göteborgsskogarna |       |
|   | SB                            | BASB   | SB                 | BASB  | SB                | BASB  |
| 2.5                                     | 77957                         | 80753  | 8722               | 9979  | 25800             | 25912 |
| 7.5                                     | 74246                         | 76842  | 9480               | 9556  | 24692             | 26102 |
| 12.5                                    | 83559                         | 83257  | 14940              | 15295 | 42860             | 41732 |
| 17.5                                    | 84727                         | 85497  | 13705              | 14789 | 42098             | 42641 |
| 22.5                                    | 93014                         | 95010  | 9702               | 10494 | 44658             | 45150 |
| 27.5                                    | 85977                         | 92317  | 14382              | 12717 | 44139             | 47039 |
| 32.5                                    | 82644                         | 86638  | 16904              | 19811 | 55748             | 56296 |
| 37.5                                    | 81146                         | 81487  | 14587              | 14581 | 49677             | 57392 |
| 42.5                                    | 77114                         | 86040  | 14038              | 13015 | 59345             | 70046 |
| 47.5                                    | 81435                         | 101664 | 13608              | 15689 | 61486             | 64720 |
| 52.5                                    | 83921                         | 90971  | 15857              | 18860 | 71547             | 78569 |
| 57.5                                    | 81287                         | 101918 | 14612              | 19969 | 64226             | 71423 |
| 62.5                                    | 82283                         | 101940 | 18812              | 21836 | 76661             | 78808 |
| 67.5                                    | 90725                         | 100403 | 14436              | 21645 | 73952             | 82560 |
| 72.5                                    | 81740                         | 98492  | 16175              | 22599 | 70917             | 80149 |
| 77.5                                    | 85972                         | 112886 | 15059              | 21093 | 77809             | 82030 |
| 82.5                                    | 87756                         | 103033 | 16422              | 20818 | 69334             | 77178 |
| 87.5                                    | 86265                         | 97810  | 16919              | 21300 | 72898             | 79104 |
| 92.5                                    | 81550                         | 100249 | 21113              | 25696 | 70826             | 84665 |
| 97.5                                    | 81806                         | 101266 | 21666              | 29776 | 86035             | 91481 |
| <b>Medel:</b>                           | 83256                         | 93924  | 15057              | 17976 | 59235             | 64150 |
| <b>Medel (m<sup>3</sup>fub/ha, år):</b> | 1.82                          | 2.05   | 1.76               | 2.01  | 2.81              | 3.04  |



Tabell 4: Uttagsmängder av skogsbränsle vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                            | Skogsbränsle (ton TS) |      |                    |      |                   |      |
|-------------------------------|-----------------------|------|--------------------|------|-------------------|------|
|                               | Skellefteskogarna     |      | Östersundsskogarna |      | Göteborgsskogarna |      |
|                               | SB                    | BASB | SB                 | BASB | SB                | BASB |
| 2.5                           | 4425                  | 9740 | 305                | 1460 | 1222              | 3133 |
| 7.5                           | 3377                  | 9450 | 419                | 1514 | 1772              | 3610 |
| 12.5                          | 2547                  | 9340 | 882                | 1973 | 2513              | 4566 |
| 17.5                          | 4616                  | 9119 | 1063               | 1964 | 3857              | 5333 |
| 22.5                          | 3180                  | 8958 | 900                | 1575 | 3038              | 4858 |
| 27.5                          | 1626                  | 8273 | 811                | 1648 | 3583              | 5557 |
| 32.5                          | 1986                  | 8146 | 1284               | 2149 | 2362              | 5058 |
| 37.5                          | 1964                  | 7636 | 359                | 1515 | 2836              | 5341 |
| 42.5                          | 2100                  | 7730 | 66                 | 1370 | 2498              | 5056 |
| 47.5                          | 1282                  | 7577 | 176                | 1914 | 2598              | 5802 |
| 52.5                          | 1777                  | 7233 | 316                | 1706 | 2297              | 5388 |
| 57.5                          | 1621                  | 8472 | 434                | 1713 | 3059              | 5461 |
| 62.5                          | 1868                  | 7976 | 419                | 1775 | 4099              | 6212 |
| 67.5                          | 1698                  | 8031 | 979                | 2217 | 3867              | 7052 |
| 72.5                          | 2075                  | 7990 | 673                | 2621 | 4649              | 7148 |
| 77.5                          | 2868                  | 8279 | 192                | 2349 | 2915              | 7178 |
| 82.5                          | 1605                  | 7660 | 219                | 2222 | 2705              | 6709 |
| 87.5                          | 3749                  | 7929 | 2343               | 2732 | 2882              | 6338 |
| 92.5                          | 2843                  | 7309 | 1844               | 2931 | 3068              | 7783 |
| 97.5                          | 3432                  | 8418 | 2010               | 3037 | 3408              | 6782 |
| <b>Medel:</b>                 | 2532                  | 8263 | 785                | 2019 | 2961              | 5718 |
| <b>Medel (ton TS/ha, år):</b> | 0.06                  | 0.18 | 0.09               | 0.24 | 0.14              | 0.27 |

Tabell 5: Uttagsvolymen vid slutavverkning vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                                     | Slutavverkning (m <sup>3</sup> sk) |        |                    |       |                   |       |
|--|------------------------------------|--------|--------------------|-------|-------------------|-------|
|  | Skellefteskogarna                  |        | Östersundsskogarna |       | Göteborgsskogarna |       |
|  | SB                                 | BASB   | SB                 | BASB  | SB                | BASB  |
| 2.5                                    | 134408                             | 138946 | 14869              | 16104 | 28631             | 31538 |
| 7.5                                    | 133441                             | 137390 | 15044              | 17146 | 31799             | 33115 |
| 12.5                                   | 140493                             | 142224 | 15053              | 14737 | 38472             | 39548 |
| 17.5                                   | 134117                             | 136209 | 15440              | 16601 | 42516             | 45087 |
| 22.5                                   | 129359                             | 134565 | 16311              | 16091 | 48329             | 49405 |
| 27.5                                   | 128495                             | 134333 | 16641              | 17952 | 54507             | 55605 |
| 32.5                                   | 126444                             | 127765 | 17845              | 17549 | 60216             | 60590 |
| 37.5                                   | 120907                             | 125937 | 18388              | 17206 | 62339             | 62947 |
| 42.5                                   | 124986                             | 127226 | 19186              | 20996 | 69481             | 70004 |
| 47.5                                   | 119485                             | 119125 | 19675              | 20283 | 73636             | 72525 |
| 52.5                                   | 118561                             | 120493 | 20285              | 19953 | 78887             | 78060 |
| 57.5                                   | 112570                             | 117536 | 18130              | 20737 | 76134             | 75565 |
| 62.5                                   | 112022                             | 112898 | 26016              | 21002 | 85063             | 84377 |
| 67.5                                   | 112570                             | 114326 | 22996              | 23625 | 88308             | 87068 |
| 72.5                                   | 109614                             | 110219 | 24339              | 23124 | 91571             | 89918 |
| 77.5                                   | 104730                             | 111806 | 22149              | 23088 | 91286             | 92746 |
| 82.5                                   | 105402                             | 105675 | 25061              | 24664 | 86486             | 84459 |
| 87.5                                   | 107192                             | 110499 | 26333              | 24962 | 94025             | 88216 |
| 92.5                                   | 103752                             | 105688 | 26206              | 25287 | 82321             | 87458 |
| 97.5                                   | 109519                             | 110668 | 26823              | 26558 | 90392             | 86862 |
| <b>Medel:</b>                          | 119403                             | 122176 | 20339              | 20383 | 68720             | 68755 |
| <b>Medel (m<sup>3</sup>sk/ha, år):</b> | 2.60                               | 2.66   | 2.38               | 2.38  | 3.26              | 3.26  |

Tabell 6: Uttagsvolymen vid gallring vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                                     | Gallring (m <sup>3</sup> sk) |       |                    |       |                   |       |
|--|------------------------------|-------|--------------------|-------|-------------------|-------|
|  | Skellefteskogarna            |       | Östersundsskogarna |       | Göteborgsskogarna |       |
|  | SB                           | BASB  | SB                 | BASB  | SB                | BASB  |
| 2.5                                    | 26069                        | 25355 | 1019               | 1610  | 24787             | 22326 |
| 7.5                                    | 12422                        | 15200 | 1597               | 1411  | 17146             | 16745 |
| 12.5                                   | 22735                        | 22409 | 10337              | 9569  | 36401             | 35908 |
| 17.5                                   | 30306                        | 29303 | 7345               | 7425  | 35965             | 35409 |
| 22.5                                   | 47230                        | 44965 | 2689               | 3981  | 31759             | 31686 |
| 27.5                                   | 35380                        | 41779 | 7174               | 4483  | 30516             | 33456 |
| 32.5                                   | 33915                        | 39785 | 10335              | 13155 | 33750             | 32599 |
| 37.5                                   | 34716                        | 33161 | 9221               | 9969  | 27142             | 36193 |
| 42.5                                   | 30444                        | 40166 | 6265               | 3899  | 27999             | 39104 |
| 47.5                                   | 34627                        | 59627 | 5126               | 7115  | 28270             | 36051 |
| 52.5                                   | 32895                        | 44779 | 8081               | 11037 | 28888             | 39881 |
| 57.5                                   | 40156                        | 67775 | 7142               | 12810 | 25405             | 39721 |
| 62.5                                   | 40423                        | 67410 | 9492               | 16331 | 37309             | 43307 |
| 67.5                                   | 53858                        | 61533 | 5041               | 13885 | 34194             | 46662 |
| 72.5                                   | 43161                        | 56898 | 6640               | 14044 | 32464             | 44276 |
| 77.5                                   | 47805                        | 70337 | 6034               | 12946 | 46626             | 49784 |
| 82.5                                   | 51473                        | 60829 | 5228               | 9365  | 38511             | 49872 |
| 87.5                                   | 50834                        | 52558 | 6147               | 13040 | 40943             | 52000 |
| 92.5                                   | 43139                        | 55635 | 8880               | 14538 | 48621             | 56566 |
| 97.5                                   | 44371                        | 57669 | 8210               | 15469 | 60033             | 65564 |
| <b>Medel:</b>                          | 37798                        | 47359 | 6600               | 9804  | 34336             | 40355 |
| <b>Medel (m<sup>3</sup>sk/ha, år):</b> | 0.82                         | 1.03  | 0.77               | 1.15  | 1.63              | 1.91  |

Tabell 7: Slutavverkade arealer vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                    | Slutavverkning (ha) |      |                    |      |                   |      |
|-----------------------|---------------------|------|--------------------|------|-------------------|------|
|                       | Skellefteskogarna   |      | Östersundsskogarna |      | Göteborgsskogarna |      |
|                       | SB                  | BASB | SB                 | BASB | SB                | BASB |
| 2.5                   | 660                 | 669  | 64                 | 73   | 130               | 142  |
| 7.5                   | 616                 | 638  | 72                 | 80   | 151               | 166  |
| 12.5                  | 803                 | 825  | 84                 | 95   | 216               | 194  |
| 17.5                  | 623                 | 628  | 97                 | 106  | 236               | 195  |
| 22.5                  | 626                 | 676  | 74                 | 64   | 282               | 215  |
| 27.5                  | 577                 | 596  | 80                 | 82   | 300               | 221  |
| 32.5                  | 649                 | 644  | 67                 | 77   | 370               | 256  |
| 37.5                  | 491                 | 534  | 69                 | 65   | 340               | 236  |
| 42.5                  | 596                 | 599  | 62                 | 67   | 405               | 265  |
| 47.5                  | 494                 | 522  | 75                 | 83   | 342               | 208  |
| 52.5                  | 531                 | 515  | 70                 | 65   | 386               | 234  |
| 57.5                  | 494                 | 572  | 61                 | 59   | 280               | 211  |
| 62.5                  | 512                 | 506  | 83                 | 71   | 366               | 213  |
| 67.5                  | 507                 | 613  | 78                 | 83   | 340               | 220  |
| 72.5                  | 566                 | 547  | 83                 | 92   | 288               | 181  |
| 77.5                  | 513                 | 549  | 83                 | 94   | 300               | 194  |
| 82.5                  | 465                 | 440  | 90                 | 91   | 239               | 197  |
| 87.5                  | 524                 | 523  | 77                 | 72   | 255               | 192  |
| 92.5                  | 374                 | 358  | 97                 | 95   | 231               | 191  |
| 97.5                  | 494                 | 454  | 104                | 109  | 255               | 194  |
| <b>Medel:</b>         | 556                 | 570  | 79                 | 81   | 286               | 206  |
| <b>Medel (ha/år):</b> | 111                 | 114  | 16                 | 16   | 57                | 41   |

Tabell 8: Gallrade arealer vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                    | Gallring (ha)     |      |                    |      |                   |      |
|-----------------------|-------------------|------|--------------------|------|-------------------|------|
|                       | Skellefteskogarna |      | Östersundsskogarna |      | Göteborgsskogarna |      |
|                       | SB                | BASB | SB                 | BASB | SB                | BASB |
| 2.5                   | 460               | 446  | 16                 | 28   | 343               | 305  |
| 7.5                   | 245               | 292  | 26                 | 23   | 239               | 252  |
| 12.5                  | 397               | 392  | 149                | 137  | 443               | 421  |
| 17.5                  | 552               | 543  | 123                | 127  | 452               | 434  |
| 22.5                  | 834               | 794  | 52                 | 73   | 395               | 386  |
| 27.5                  | 651               | 745  | 114                | 71   | 426               | 441  |
| 32.5                  | 665               | 752  | 152                | 191  | 433               | 403  |
| 37.5                  | 681               | 644  | 161                | 169  | 351               | 427  |
| 42.5                  | 601               | 746  | 94                 | 60   | 317               | 432  |
| 47.5                  | 657               | 983  | 84                 | 125  | 334               | 432  |
| 52.5                  | 596               | 706  | 123                | 173  | 352               | 481  |
| 57.5                  | 733               | 1189 | 123                | 196  | 284               | 468  |
| 62.5                  | 709               | 1127 | 147                | 231  | 431               | 506  |
| 67.5                  | 963               | 1096 | 93                 | 211  | 396               | 527  |
| 72.5                  | 748               | 1006 | 116                | 218  | 383               | 533  |
| 77.5                  | 818               | 1236 | 97                 | 203  | 525               | 568  |
| 82.5                  | 917               | 1055 | 84                 | 154  | 435               | 573  |
| 87.5                  | 847               | 966  | 110                | 190  | 430               | 585  |
| 92.5                  | 750               | 996  | 153                | 210  | 545               | 639  |
| 97.5                  | 805               | 1032 | 142                | 236  | 694               | 766  |
| <b>Medel:</b>         | 681               | 837  | 108                | 151  | 410               | 479  |
| <b>Medel (ha/år):</b> | 136               | 167  | 22                 | 30   | 82                | 96   |

Tabell 9: Skogsbränsleuttagna arealer vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                    | Skogsbränsleuttag (ha) |      |                    |      |                   |      |
|-----------------------|------------------------|------|--------------------|------|-------------------|------|
|                       | Skellefteskogarna      |      | Östersundsskogarna |      | Göteborgsskogarna |      |
|                       | SB                     | BASB | SB                 | BASB | SB                | BASB |
| 2.5                   | 292                    | 678  | 19                 | 79   | 115               | 211  |
| 7.5                   | 200                    | 642  | 25                 | 90   | 148               | 259  |
| 12.5                  | 304                    | 856  | 109                | 186  | 203               | 296  |
| 17.5                  | 311                    | 643  | 80                 | 151  | 241               | 317  |
| 22.5                  | 262                    | 696  | 55                 | 91   | 230               | 325  |
| 27.5                  | 191                    | 636  | 50                 | 91   | 306               | 396  |
| 32.5                  | 241                    | 666  | 123                | 168  | 210               | 375  |
| 37.5                  | 178                    | 559  | 35                 | 96   | 243               | 372  |
| 42.5                  | 241                    | 625  | 11                 | 79   | 197               | 347  |
| 47.5                  | 158                    | 577  | 27                 | 127  | 208               | 384  |
| 52.5                  | 210                    | 543  | 52                 | 138  | 195               | 367  |
| 57.5                  | 170                    | 692  | 35                 | 100  | 189               | 288  |
| 62.5                  | 207                    | 585  | 25                 | 96   | 219               | 383  |
| 67.5                  | 211                    | 670  | 69                 | 130  | 264               | 438  |
| 72.5                  | 250                    | 625  | 56                 | 188  | 253               | 410  |
| 77.5                  | 247                    | 623  | 20                 | 176  | 228               | 431  |
| 82.5                  | 169                    | 483  | 32                 | 126  | 240               | 409  |
| 87.5                  | 342                    | 568  | 101                | 121  | 196               | 350  |
| 92.5                  | 164                    | 384  | 93                 | 170  | 201               | 447  |
| 97.5                  | 273                    | 526  | 116                | 167  | 304               | 366  |
| <b>Medel:</b>         | 231                    | 614  | 57                 | 129  | 219               | 358  |
| <b>Medel (ha/år):</b> | 46                     | 123  | 11                 | 26   | 44                | 72   |

Tabell 10: Virkesförrådet vid ett konventionellt skogsbruk (SB) respektive ett bränsleanpassat skogsbruk (BASB) för de tre fallstudieområdena

| År                                 | Virkesförråd (m <sup>3</sup> sk) |         |                    |        |                   |         |
|------------------------------------|----------------------------------|---------|--------------------|--------|-------------------|---------|
|                                    | Skellefteskogarna                |         | Östersundsskogarna |        | Göteborgsskogarna |         |
|                                    | SB                               | BASB    | SB                 | BASB   | SB                | BASB    |
| 2.5                                | 1148700                          | 1148700 | 139830             | 139830 | 575629            | 575629  |
| 7.5                                | 1149494                          | 1149787 | 151414             | 149939 | 617490            | 618900  |
| 12.5                               | 1167104                          | 1161088 | 164383             | 161249 | 673728            | 674709  |
| 17.5                               | 1163926                          | 1158382 | 169483             | 167811 | 704616            | 706128  |
| 22.5                               | 1154441                          | 1155954 | 177988             | 175636 | 734565            | 736902  |
| 27.5                               | 1133929                          | 1144053 | 190072             | 188788 | 765781            | 772123  |
| 32.5                               | 1129863                          | 1144973 | 197038             | 201054 | 793643            | 802926  |
| 37.5                               | 1131635                          | 1159201 | 199982             | 206667 | 815478            | 833823  |
| 42.5                               | 1141066                          | 1187136 | 203510             | 217101 | 844867            | 861798  |
| 47.5                               | 1153516                          | 1211180 | 209434             | 230610 | 870849            | 883499  |
| 52.5                               | 1172571                          | 1226646 | 215887             | 241167 | 895923            | 910601  |
| 57.5                               | 1197058                          | 1259073 | 218272             | 247521 | 921108            | 934046  |
| 62.5                               | 1224221                          | 1272188 | 223750             | 251356 | 956430            | 962905  |
| 67.5                               | 1254405                          | 1292080 | 219589             | 252142 | 973944            | 982290  |
| 72.5                               | 1271915                          | 1317794 | 223717             | 253678 | 995709            | 999448  |
| 77.5                               | 1303165                          | 1352616 | 225227             | 255932 | 1019327           | 1019630 |
| 82.5                               | 1335358                          | 1370579 | 230419             | 257983 | 1030325           | 1032563 |
| 87.5                               | 1362923                          | 1403879 | 233523             | 260567 | 1057274           | 1054368 |
| 92.5                               | 1389696                          | 1441537 | 234645             | 258252 | 1072532           | 1068411 |
| 97.5                               | 1427823                          | 1482498 | 232342             | 254249 | 1092877           | 1078867 |
| <b>Medel:</b>                      | 1220640                          | 1251967 | 203025             | 218577 | 870605            | 875478  |
| <b>Medel (m<sup>3</sup>sk/ha):</b> | 133                              | 137     | 119                | 128    | 206               | 208     |



Forskning som stärker fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntrar konkurrenskraftig affärs- och teknikutveckling och skapar resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem. Kunskap från Fjärrsyn är till nytta för fjärrvärmebranschen, kunderna, miljön och samhället i stort. Programmet finansieras av Energimyndigheten tillsammans med fjärrvärmebranschen och omsätter cirka 19 miljoner kronor om året. Mer information finns på [www.fjarrsyn.se](http://www.fjarrsyn.se)

## ENERGIOPTIMERA SKOGSBRUKET

Efterfrågan på bränsle från skogen ökar både i Sverige och i många andra länder inom EU. För svenska värmeverk är det viktigt att det finns ett bra utbud av skogsbränsle på en väl fungerande marknad.

Det svenska skogsbruket har hittills varit inriktat på två sortiment: sågtimmer och massaved. Skogsbränslet har i det sammanhanget betraktats som en restprodukt som eventuellt tas tillvara i samband med timmer- och massavedsskörd. För fjärrvärmeföretagen har det inneburit stora variationer i kvantitet och kvalitet på skogsbränslet.

Här presenteras resultat från ett antal fallstudier där man, med hjälp av planeringssystemet Heureka PlanVis, har undersökt förutsättningarna att anpassa skogsbruket till såväl timmer och massaved som till skogsbränsle. Resultaten visar att det gynnar både skogsägare och värmeverk när skogsbruket planerar för bränsleuttag och anpassar produktionen också till skogsbränsle.

