



Utveckling av barrträdsföryngringar markberedda med grävmarkberedning kontra harvning på blockrik skogsmark

The development of conifer regenerations established using soil preparation with excavator versus disc trenching on boulder-rich sites

Svante Brus

Examensarbete/Självständigt arbete • 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2023--5

Umeå 2023



Utveckling av barrträdsföryngringar markberedda med grävmarkberedning kontra harvning på blockrik skogsmark

The development of conifer regenerations established using soil preparation with excavator versus disc trenching on boulder-rich sites

Svante Brus

Handledare: Back-Tomas Ersson, SLU, institution
Bitr. handledare: Eva Stattin, Stora Enso
Examinator: Tomas Nordfjell, SLU, skogens biomaterial och teknologi

Omfattning: 30 hp
Nivå och fördjupning: Avancerad nivå, A2E
Kurstitel: Masterarbete i skogsvetenskap
Kurskod: EX0956
Program/utbildning: Jägmästarprogrammet
Kursansvarig inst.: Skogens biomaterial och teknologi
Utgivningsort: Umeå
Utgivningsår: 202X
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi
Delnummer i serien: 2023:5
ISSN: XXXX-XXXX (om sådan finns eller radera rad)
Nyckelord: Markberedning, föryngring, död ved, tillväxt, ekonomi

Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsfakulteten
Skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Markberedning utförs på ungefär 90 % av den föryngrade arealen i Sverige varje år och utförs vanligtvis maskinellt med avsikt att bearbeta marken för att skapa goda förutsättningar för plantetablering. En icke obetydlig del av Stora Ensos markinnehav är på blockrik mark som är tekniskt svår att markbereda.

Tidigare studier kring markberedning i blockrik terräng har mestadels varit inriktade på antal planteringspunkter och dess kvalitet. Syftet med denna studie var att jämföra två markberedningsmetoder, harvning och grävmarkberedning, på blockrik mark ägd av Stora Enso med avseende på naturvärdespåverkan, träd tillväxt och ekonomi. Fyra trakter där respektive markberedningsmetod utförts och efterföljts av plantering för 8–10 år sedan inventerades. Mångfald av trädslag, brösthöjdsdiameter, höjd och toppskottslängd registrerades samt om trädet var en huvudstam eller bistäma i en framtida röjning. Skador på lågor, markstörning och vegetationens återhämtning undersöktes också. Beståndens ekonomi simulerades över en hel omloppstid med Heureka Standwise.

Fältstudien visade att harven störde en större andel av marken men grävmarkberedningen resulterade i större andel blottad mineraljord 8 – 10 år efter markberedning. Ingen skillnad i andelen skadade lågor kunde påvisas. Grävmarkberedning visade både en större ackumulerad och löpande tillväxt samt fler huvudstammar per hektar efter röjning. Nuvärdet över en omloppstid i bestånden skiljde sig relativt lite, dock vid normala kalkylräntor (3–5 %) till fördel för harvning.

Studiens slutsatser är att markstörningen är den viktigaste skillnaden i naturvärdespåverkan mellan markberedningsmetoderna. Därtill ger grävmarkberedningen en högre träd tillväxt, dock troligen inte tillräckligt mycket större för att resultera i ett högre nuvärde jämfört med harvning.

Nyckelord: Markberedning, föryngring, död ved, tillväxt, ekonomi.

Abstract

Site preparation (also termed soil preparation) is carried out on approximately 90 % of the reforested area in Sweden every year. It is normally done mechanically with the intention to work the soil to create good conditions for seedling establishment. A significant part of Stora Enso's land holdings is boulder-rich and is technically difficult to prepare.

Previous studies regarding soil preparation in boulder-rich terrain have mostly been focused on the number of planting spots and its quality. The objective of this study was to compare two soil preparation methods, disc-trenching and soil preparation using excavators, regarding their impact on conservation values, tree growth and economics on boulder-rich forestland owned by Stora Enso. Four sites, where both soil preparation methods had been carried out and followed by planting 8-10 years ago, were inventoried. Tree species diversity, diameter at breast height, tree height and top shoot length were recorded as well as whether the tree was a crop tree or secondary tree in a future pre-commercial thinning. Damage to coarse woody debris, soil disturbance and vegetation recovery were also investigated. The net present value was simulated over a full rotation period using Heureka Standwise.

The field study showed that disc-trenching disturbed a larger share of the soil surface, but soil preparation using excavators resulted in a greater proportion of exposed mineral soil after 8 – 10 years. No difference in the proportion of damaged coarse woody debris could be found. Soil preparation using excavator showed both greater cumulative and annual growth as well as more crop-trees per hectare after pre-commercial thinning. The net present value over a full rotation period differed relatively little, however at normal discount rates (3–5 %) the net present value was in favour of disc-trenching.

Conclusions from the study are that soil disturbance is the most important difference between the soil preparation methods regarding the impact on conservation values. In addition, soil preparation using excavators results in higher tree growth, although probably not large enough to render higher net present values compared to disc-trenching.

Keywords: Soil preparation, regeneration, coarse woody debris, yield, economy

Förord

Det finns många personer som bidragit till genomförandet av detta arbete. Jag vill framför allt rikta ett extra stort tack till min handledare Back-Tomas Ersson för ditt stöd, engagemang och peppande. Du har bidragit med väldigt värdefull feedback och energi.

Jag vill tacka Eva Stattin på Stora Enso för möjligheten att få skriva detta arbete. Även Johan Hermansson, Skogsvårdsledare på Stora Enso i Ljusdal, ska ha ett stort tack för din hjälp med att hitta ytterligare trakter att inventera och för att du fixade så jag kunde sova på kontoret i Ljusdal.

Häverö, mars 2023

Innehållsförteckning

1. Inledning	9
1.1 Svensk skogsföryngring	9
1.2 Maskinella markberedningstekniker och -metoder	9
1.3 Markberedningens effekter på beståndsutvecklingen	11
1.4 Markberedningens ekonomi.....	12
1.5 Tidigare studier	12
1.6 Studiens nisch.....	15
1.7 Syfte och mål	15
2 Material och metod	16
2.1 Vetenskaplig metod och försökslokaler	16
2.2 Fältinventering.....	20
2.2.1 Traktegenskaper	21
2.2.2 Naturvärdespåverkan.....	21
2.2.3 Beståndsutveckling och träd tillväxt.....	23
2.3 Dataanalys och nuvärdeskalkyl.....	24
3 Resultat	25
3.1 Naturvärdespåverkan	25
3.1.1 Skador på lågor.....	25
3.1.2 Mångfald av trädslag.....	25
3.1.3 Markstörning	26
3.2 Träd tillväxt	27
3.2.1 Antal huvud- och bistammar	27
3.2.2 Diameter.....	29
3.2.3 Höjd.....	33
3.2.4 Toppskottslängd.....	34
3.3 Nuvärdeskalkyl Heureka Standwise.....	35
4. Diskussion	39
4.1 Huvudresultat	39
4.2 Jämförelse med befintlig kunskap.....	39
4.3 Nya kunskaper från studien	41

4.4 Styrkor och svagheter	43
4.5 Framtida studier	44
4.6 Slutsatser	44
Referenser.....	46
Bilaga 1 Inventeringsblankett	51

1. Inledning

1.1 Svensk skogsföryngring

Enligt svensk skogsvårdslag finns krav på återbeskogning för att tillvarata markens virkesproduktionsförmåga. Senast tre år efter avverkning ska återväxtåtgärder vara vidtagna enligt lag. Om naturlig föryngring används ska plantuppslaget vara tillräckligt senast sju år efter avverkning i södra Sverige och efter tio år i norra Sverige (SFS 1979:429). Aktiv skogsodling i form av plantering är sedan länge den dominerande föryngringsmetoden i Sverige, följd av naturlig föryngring och sådd. Gällande plantering så föregås den nästan uteslutande, på 92 % av arealen, av markberedning (Skogsstyrelsen 2020a). I princip all markberedning sker idag maskinellt. Totalt sett, oavsett föryngringsmetod, markbereds 89 % av den föryngrade arealen varje år. Andelen skiljer sig över landet i nord-sydlig riktning med 97 % markberedd föryngrad areal längst i norr till 72 % i Götaland (Skogsstyrelsen 2021). År 2020 markbereddes 206 000 hektar och arealen plantering var 202 000 hektar (Skogsstyrelsen 2020a).

1.2 Maskinella markberedningstekniker och -metoder

Ändamålet med markberedning är att bearbeta marken för att skapa en gynnsam grobädd för frön eller växtplats för plantor (Hallsby 2013). Maskinella markberedningstekniker kategoriseras normalt i två typer, kontinuerlig och intermittent markberedning beroende på basmaskinens framryckningsprincip och markberedningsaggregatets arbetssätt. Kontinuerlig markberedning skapar sammanhängande spår i marken, medan intermittent skapar fläckvis bearbetning av marken med jämna mellanrum så som högar eller fläckar. Intermittent markberedning kan även utföras riktat. Vid riktad markberedning kan maskinföraren aktivt välja placeringen av markberedningsfläckarna (Frölén 2019). Det finns flertalet olika metoder att åstadkomma dessa typer av markberedning. De vanligaste metoderna i dagens skogsbruk är fläckmarkberedning, högläggning, harvning och inversmarkberedning (Örlander et al. 1990, Hansson et al. 2014). Vid fläckmarkberedning avlägsnas humustäcket så att mineraljordfläckar skapas. Detta kan göras med olika maskiner, till exempel grävmaskin eller en skotare med

harvaggregat. Harvning utförs oftast som kontinuerlig markberedningsmetod, men kan även utföras intermittent. Vid harvning används en skotare som basmaskin med ett harvaggregat påkopplat bakom. Harvning fläker upp humustäcket likt en tilta och kan beroende på utförande skapa flertalet olika typer av planteringspunkter. Högläggning kan utföras intermittent med flertalet olika basmaskiner. I normalfallet används en skotare som basmaskin med ett högläggningsaggregat påkopplat, alternativt riktat med grävmaskin. Vid högläggning skapas höga planteringspunkter, oftast en omvänd tilta av humus med mineraljord ovanpå. Vid inversmarkberedning vänds jorden uppochner tillbaka på samma ställe så att mineraljorden hamnar ovanpå humustäcket. Denna metod kan vara både kontinuerlig, intermittent eller riktad. Normalt utförs inversmarkberedning med grävmaskin. (Löf et al. 2015, Frölen 2019)

Val av lämplig markberedningsmetod och utrustning beror på en kombination av markens egenskaper och vilken sorts grobädd eller planteringspunkt som är önskvärd. Utan hänsyn till ekonomi finns flertalet faktorer som påverkar valet av markberedningsmetod. Markens egenskaper så som fuktighet, bördighet, jordartens textur och humuslagrets tjocklek bestämmer tillsammans med tekniska hinder som blockighet, hyggesrester och marklutning vilken metod som är bäst lämpad för ståndorten (Sutton 1993, Lundmark 2006). På torra marker med avsaknad av hinder som är tekniskt lätta att markbereda passar fläckmarkberedning. På friska marker passar fläckmarkberedning eller högläggning medan fuktigare marker passar med högläggning. Torra och friska marker som är normalsvåra att markbereda harvas normalt och fuktiga högläggs. Vanligtvis markbereds tekniskt svåra marker med harv eller grävmaskin (Lundmark 2006). Stora Enso har inga tydliga riktlinjer kring val av markberedningsmetod på blockrik mark. Olika skogsvårdsledares individuella preferenser samt lokala förutsättningar, till exempel tillgängliga entreprenörer, avgör till stor del vilken maskin och teknik som väljs. Grävmarkberedning är normalt det primära valet på de allra blockrikaste markerna, blockkvot klass 5. På marker med blockkvot 3 och 4 används både harv och grävmarkberedning. Erfarenheten är att harven ger ett dåligt resultat om den framförs intermittent, varför harven rekommenderas att användas kontinuerligt. Erfarenheten är även att harvens resultat är väldigt varierande beroende på hur besvärande blockigheten egentligen är (Stattin 2022).

1.3 Markberedningens effekter på beståndsutvecklingen

En av markberedningens fördelar är att det underlättar efterkommande planteringsarbete, men markberedning påverkar i allra högsta grad även beståndsutvecklingen genom att påverka och ändra de fysiska och biologiska förutsättningarna för växtligheten. En markberedning underlättar frögroning, ökar tillväxt, ger högre plantöverlevnad och minskar skaderisken (Hallsby 2013). Till exempel minskar markberedningen konkurrensen från omgivande vegetation vilket ger en säkrare vatten- och näringstillgång. Dessutom ökar marktemperaturen, frostrisken minskar samtidigt som rottillväxten också gynnas genom minskad markdensitet och ökad syresättning av marken. (Örlander & Nordlander 1998, Hallsby 2013, Sikström et al. 2020). Markberedning är ett av flera sätt att minska snytbaggeskador och öka plantöverlevnaden. Markberedningens skydd mot snytbagge uppnås genom att skapa en yta med bar mineraljord runt plantan. Studier visar att markberedning kraftigt kan minska avgång från snytbaggeskador, från 80 % till 10 % (Petersson & Örlander 2003, Nordlander et al. 2011, Wallertz et al. 2018). På svårbearbetad mark, exempelvis stenig mark, där markberedningen försvåras reduceras skadenivåerna normalt inte lika effektivt (Örlander & Nordlander 1998).

Att markberedning under föryngringsfasen ger nyetablerade plantor en ökad tillväxt och överlevnad är väl känt. I en studie av Sikström et al. (2020), där föryngringar markberedda med fem olika markberedningsmetoder utvärderades, visades att samtliga föryngringar fick betydligt högre tillväxt jämfört med icke markberedd kontroll. De markberedningsmetoder som undersöktes var fläckmarkberedning, harvning, högläggning, inversmarkberedning och plöjning. Den ökade tillväxten 10–15 år efter plantering var i storleksordningen 10–25 %. Hur länge markberedningens positiva effekter på tillväxten bibehålls är dock inte helt entydigt (Fries 1993, Mäkitalo 1999, Johansson et al. 2013, Hjelm et al. 2019, Sikström et al. 2020). En studie av Hjelm et al. (2019) visar en signifikant skillnad i tillväxt ca 30 år efter markberedning och plantering hos både gran och tall. De markberedningsmetoder som undersöktes var harvning, högläggning och plöjning. Studien visar inga tecken på minskad tillväxt på lång sikt till följd av ökat näringsläckage vilket ibland nämns som en möjlig långsiktig effekt av markberedning. En studie av Johansson et al. (2013) där långsiktiga effekter av markberedning på gran påvisar en ökad tillväxt till följd av markberedningen, dock syns ingen bibehållen tillväxtökning efter ca 14–18 år. De markberedningsmetoder som undersöktes var högläggning och inversmarkberedning.

1.4 Markberedningens ekonomi

År 2020 kostade markberedning i snitt 2454 kr per hektar (Skogsstyrelsen 2020b). Kostnaden skiljer sig dock en del beroende på vilken markberedningsmetod som används. Val av markberedningsmetod kan också påverka framtida kostnader som planterings- och röjningskostnad. Eftersom markberedningen kan påverka tillväxt och kvalitet hos det framtida beståndet kan valet av markberedningsmetod också påverka framtida intäkter från gallring och slutavverkning. Att investera i en mer kostsam markberedning kan vara ekonomiskt lönsam om den minskar andra skötselkostnader, ökar framtida virkesintäkter eller sänker omloppstiden (Hyytäinen et al. 2005). Harvning är normalt en billigare markberedningsmetod jämfört med markberedning utförd med grävmaskin, exempelvis fläckmarkberedning. Grävmaskinens totala markberedningskostnad är normalt 2–2,5 gånger högre jämfört med harv (Stattin 2022). Den totala kostnaden för markberedning med grävmaskin skiljer sig också mycket mellan olika maskiner och maskinförare. Kostnaden för markberedningen bör dock ställas i relation till resultatet sett till antalet godkända planteringspunkter och dess kvalitet. Då skiljer sig ofta kostnaderna mindre mellan de två metoderna (Samuelsson & Wiik 2020, Edholm 2012).

Kostnad för ungskogsröjning varierar stort beroende på stamantal, røjstammarnas höjd och terrängförhållanden. Desto färre och lägre stammar, desto lägre blir röjningskostnaden (Bergstrand et al. 1986, Anon 1991). Markberedningen kan främst påverka röjningskostnaden genom stamantalet (Saksa et al. 1990). En större del exponerad mineraljord från markberedningen ger generellt ett högre stamantal vid röjning då insådd av naturligt föryngrade träd, framför allt löv, ökar (Uotila et al. 2010). Harvning har i regel betydligt större störd markyta än till exempel högläggning eller markberedning med grävmaskin (Hyytäinen et al. 2006). En större insådd av naturligt föryngrade träd, framför allt björk, kan leda till lägre tillväxt och skador hos planterade barrträd som tänkta huvudstammar (Folkesson & Barring 1982, Dehlin et al. 2004). Viss naturlig insådd av löv kan också vara önskvärt, till exempel för kvalitetsdaning av ung tall eller för ökad biologisk mångfald. (Nilsson & Hällgren 1993).

1.5 Tidigare studier

Olika maskinella markberedningsmetoder och dess prestationer i tekniskt svår terräng har jämförts i flertalet tidigare studier, både på blockrik mark och i annan teknisk svår terräng (Edholm 2012, Magnusson 2015, Johansson 2016, Sörensen et al. 2019). Magnusson (2015) jämförde harv och grävmarkberedning på blockrik

mark och slog fast att grävmaskinen skapade signifikant fler, och bättre, planteringspunkter än harven på de inventerade trakterna. Grävmaskinen skapade i snitt 2028 godkända planteringspunkter per hektar och harven 1069 godkända planteringspunkter per hektar. Harven skadade också betydligt fler lågor, 34,6 %, jämfört med grävmaskinen som skadade 8 % av lågorna. Att harven skadar en stor andel av lågor visar även en studie av Weslien & Westerfelt (2017) där skador på lågor i äldre tallbestånd undersöktes efter avverkning och markberedning med harv. Totalt skadades 80 % av alla lågor som fanns utanför hänsynsytor, merparten vid markberedning. Författarnas rekommendation var att undvika harv på dessa blockrika marker med mycket död ved.

I en studie av Sörensen et al. (2019) jämfördes två olika markberedningsmetoder, fylljordsplantering, även kallad pytsning, och fläckmarkberedning, på blockrik mark i Norduppland. Båda metoderna utfördes med grävmaskin. Pytsning innebär att jord flyttas till planteringspunkten från ett lämpligt ställe, vilket är en intressant metod i mycket blockrik terräng som är svår att markbereda. Fläckmarkberedningen gav endast 10 % godkända planteringspunkter medan pytsning gav 95 % godkända planteringspunkter. Slutsatserna i studien var dels att pytsning kan vara en bra metod i blockrik terräng, dels att riktad markberedning med grävmaskin, till exempel pytsning, gav en liten störd markareal jämfört med traditionella kontinuerliga markberedningsmetoder som harv.

Edholm (2012) undersökte harvning och grävmarkberedning i tekniskt svår terräng, däribland blockrik mark. Grävmarkberedning gav ett jämnare resultat och i större utsträckning planteringspunkter av hög kvalitet. Det var dock stor skillnad i resultatet mellan olika förare på olika maskiner. Författaren menar därför att en skicklig förare kan vara viktigare än maskinvalet i sig. Samuelsson & Wiik (2020) jämförde kostnad och kvalitet på blockrik mark för harvning och grävmarkberedning. Tre olika grävmaskiner utvärderades och kostnaden skiljde sig mycket mellan maskinerna. Harven skapade planteringspunkter till en kostnad om 1,10 kr per planteringspunkt. Grävmarkberedningens kostnad var i genomsnitt nästan dubbelt så hög, 2,09 kr per planteringspunkt. Inga slutsatser drogs gällande någon skillnad i kvalitet mellan de planteringspunkter harven respektive grävmaskinen skapade men grävmaskinerna lyckades skapa fler planteringspunkter per hektar, speciellt på de stenigaste markerna med ytstruktur 3, 4 och 5.

Johansson (2016) jämförde markberedning med harv, grävmaskin och spadförsedd skördare i stenig och brant terräng. Resultatet visade att grävmaskinen gav flest godkända planteringspunkter, oavsett terrängklass. På mindre steniga och mindre branta marker, GYL 111 och 123, var harven mest ekonomisk med 25 % lägre kostnad per planteringspunkt och 30 % lägre kostnad per hektar jämfört med

grävmarkberedning. GYL är en förkortning för grundförhållande, ytstruktur, lutning vilket är ett vanligt sätt att klassificera terrängen inom skogsbruket (Berg 1982). I kraftigt lutande terräng samt stenig terräng, GYL 134 och 143, fick harven problem och de riktade markberedningsmetoderna, däribland grävmarkberedning, blev billigare med en ungefärlig halverad markberedningskostnad jämfört med harven sett till kostnad per planteringspunkt. I studien jämfördes även nuvärdet av fiktiva bestånd med hjälp av Heureka Planvis. Bestånden simulerades utefter markberedningsresultatet med hjälp av data från SCAs fasta provytor rörande överlevnad och tillväxt för plantor på olika typer av planteringspunkter på liknande mark som i försöket. Skillnaden i volymproduktionen och nettointäkterna mellan de olika markberedningsmetoderna blev dock mycket små. Slutsatserna var att de riktade metoderna var effektivare och gav ett bättre resultat i stenig och brant terräng. I stenig men inte särskilt brant terräng ansågs dock harven vara något bättre.

Flertalet tidigare studier har undersökt både kort- och långsiktig tillväxteffekt av olika markberedningsmetoder (Fries 1993, Mäkitalo 1999, Johansson et al. 2013, Hjelm et al. 2019, Sikström et al. 2020). De visar att det ofta finns signifikanta skillnader i tillväxt mellan olika metoder, men att det är olika hur länge tillväxtökningen på grund av markberedningen sitter i. Dessa studier är dock inte utförda på blockrik mark och jämför inte direkt harv med grävmarkberedning.

Det finns också studier som visar att en ökad markberedningskostnad kan vara ekonomiskt fördelaktig på grund av högre tillväxt och lägre framtida skötselkostnader. Uotila et al. (2010) undersökte olika markberedningsmetoder och dess påverkan på tillväxt och ekonomi för gran. Harv, jämfört med högläggning, gav ett högre röjningsbehov med över 50 % fler røjstammar. På grund av lägre kostnad vid röjning och förstagallring, tillsammans med en högre tillväxt resulterade högläggning i ett högre nuvärde vid tidpunkt för förstagallring vid 3 % kalkylränta. Detta trots att högläggningen i deras studie var nästan 80 % dyrare än harvningen. Deras slutsats var att en nästan dubbelt så hög markberedningskostnad kan bära sig ekonomiskt, främst genom att resultera i lägre skötselkostnader tidigt i beståndsutvecklingen.

Bengtsson (2017) studerade sådda och planterade föryngringar markberedda med harv kontra Huminmix. Huminmix är en markberedningsmetod som, likt grävmarkberedning, påverkar en betydligt mindre del av marken jämfört med harv. Resultatet visade en signifikant högre lövandel i harvade bestånd, 32 % jämfört med 14 % för Huminmix. Det större lövuppslaget resulterade i ett ökat röjningsbehov. Studien utfördes inte på blockrik mark.

1.6 Studiens nisch

En betydande del, ca 14 %, av Sveriges skogsmark är blockrik och klassificeras som ytblocksclass storblockigt-blockrikt (SLU 2020). Storblockigt-blockrikt innebär >20 ytblock med en diameter om >6 dm inom en yta på 314m². Stora delar av Stora Ensos verksamhetsområde, till exempel Hälsingland, Norduppland och Dalarna, finns inom områden i Sverige med en hög andel blockrik mark. Blockrik mark är inte bara tekniskt svår att markbereda på grund av blocken. Blockrik mark sammanfaller dessutom ofta med mycket död ved, vilket kräver stor hänsyn vid markberedningen för att den döda veden inte ska köras sönder (Magnusson 2015, Stora Enso 2020a). Riktad markberedning med grävmaskin har jämfört med kontinuerlig markberedning med harv en lägre prestation och är således dyrare, men ger alltså på blockrik mark ett bättre resultat sett till antal planteringspunkter och dess kvalitet. Därtill skadar inte en grävmaskin lågor av död ved i lika stor omfattning som harven (Magnusson 2015). Den här studien ämnar bidra med ytterligare kunskap kring harvens och grävmaskinens för- respektive nackdelar på blockrik mark. Dock ligger fokus, utöver naturvärdespåverkan, på beståndsutvecklingen och dess ekonomi sett till en hel omloppstid. Detta till skillnad från andra studier som undersökt antal planteringspunkter och dess kvalitet på blockrik mark (Edholm 2012, Magnusson 2015, Johansson 2016, Sörensen et al. 2019).

1.7 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete var att följa upp och jämföra föryngringar på blockrik mark som markberetts med riktad grävmarkberedning kontra kontinuerlig harvning med avseende på:

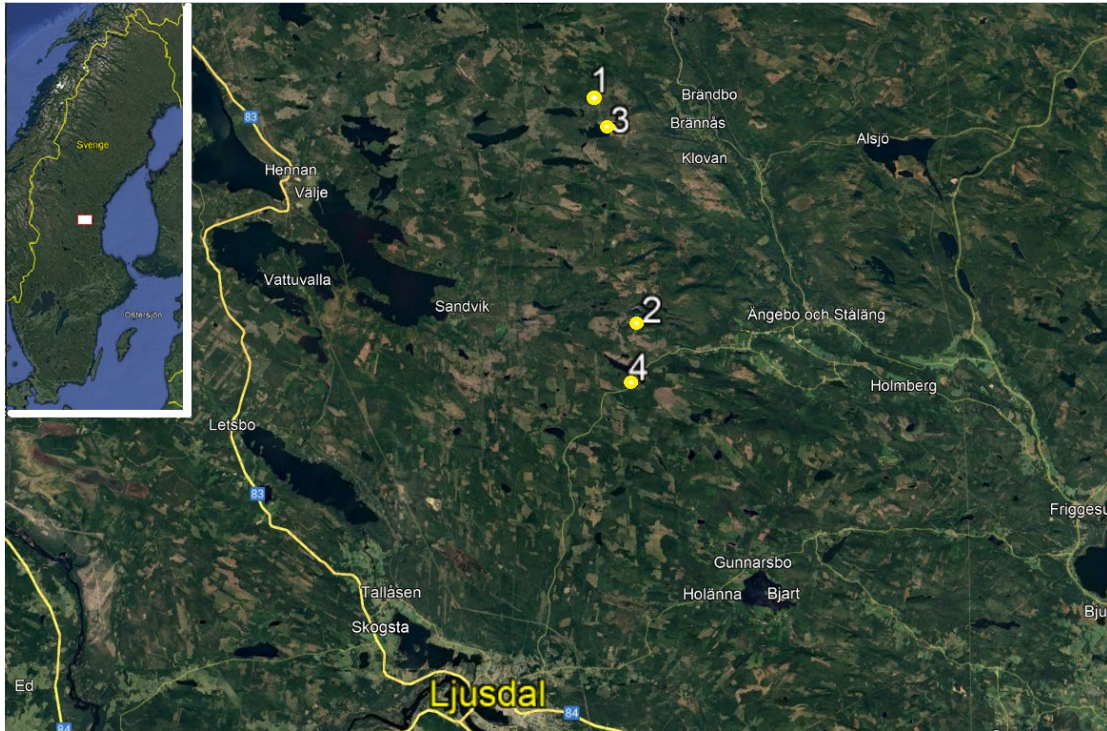
- Naturvärdespåverkan sett till mångfald av trädslag, markstörning och skador på lågor
- Trädtillväxt sett till antalet huvud- och bistammar, diameter, trädhöjd och toppskottslängd
- Ekonomin sett till nuvärdet av kostnaderna och intäkterna över en hel omloppstid för de inventerade föryngringarna.

Målet med examensarbetet är att Stora Enso Skog ska kunna dra säkra slutsatser om grävmaskinens och harvens för- och nackdelar gällande naturvärdespåverkan, trädtillväxt samt ekonomi.

2 Material och metod

2.1 Vetenskaplig metod och försökslokaler

Studien inleddes med en litteraturgenomgång av markberedning i stort och vidare specifikt riktat mot markberedning i tekniskt svår terräng, samt mot beståndsutvecklingen efter markberedning. Vidare under oktober 2022 utfördes en fältinventering med fokus på beståndsutvecklingen av totalt fyra trakter utanför Ljusdal på Stora Ensos mark (Figur 1). Bland dessa trakter ingick de trakter, trakt 1 och 2, som Magnusson (2015) inventerade i sin studie. Utöver dessa inventerades ytterligare två trakter i norr om Ljusdal. Även dessa två trakter, trakt 3 och 4 hade markberetts med både grävmaskin och harv inom samma trakt. Trakt 3 och 4 valdes ur Stora Ensos beståndsregister med hjälp av ansvarig skogsvårdsledare på Stora Enso Ljusdal för att få en större mängd data från fältinventeringen att utgöra stöd till studien. De valdes dels på kriteriet att de var markberedda med båda markberedningsmetoderna inom samma trakt och att det därför gick att para ihop block med liknande försöksdesign som på trakt 1 och 2, dels då de var oröjda. Då röjningskostnaden är en viktig del för ekonomin exkluderades trakter som redan röjts. Dessutom begränsades ytstrukturen (Y) till att vara 3 och 4 för att få med blockrika marker med hög ytstruktur samt att lutningen (L) begränsades till 1, 2 och 3. Med dessa kriterier fanns tre trakter inom Ljusdalsområdet, varav en exkluderades då den grävmarkberetts med metoden pytsning och föryngringen misslyckats varför hälplantering utförts.



Figur 1. Trakternas geografiska läge norr om Ljusdal i Gävleborgs län.

Figure 1. The location of the study sites north of Ljusdal within Gävleborg county.

På de två trakterna, trakt 1 och 2, som Magnusson (2015) inventerade i sin studie användes i denna studie samma försöksdesign (Figur 2). Försöket utfördes som ett randomiserat blockförsök med totalt åtta försöksblock fördelat med sex försöksblock på trakt 1 och två försöksblock på trakt 2. Ett försöksblock bestod av två försöksblockhalvor om 70x70 m med respektive markberedningsmetod, harvning och grävmarkberedning, utlottad på respektive försöksblockhalva inom blocket. I respektive försöksblock hade blockhalvorna samma traktegenskaper (Tabell 1). På de övriga två trakterna, trakt 3 och 4, som inventerades användes samma design som på trakt 1 och 2, dock med skillnaden att den markberedningsmetod som använts inom vardera försöksblockshalva inte randomiserats (Figur 2). På trakt 3 och 4 parades försöksblockhalvor subjektivt ihop till block där traktegenskaperna mellan blockhalvorna bedömdes vara likvärdiga. Samtliga försöksblock på de fyra trakterna hade blockkvotklass 5. Ytstrukturen skiljde sig med mellan försöksblocken där tre försöksblock hade ytstrukturklass 2, tre ytstrukturklass 3 och nio block ytstrukturklass 4. Markens bearbetningsmotstånd var klass 2 inom 12 försöksblock och klass 3 inom tre försöksblock. Jordarten var på samtliga trakter blockrika moräner. Vegetationstyp och markfuktighet varierade något mellan trakter och inom trakter. Trakterna utgjordes dock till övervägande delen av friska marker av lingon- och kråkbär-ljungtyp. På trakt 1 var tall bonitetsvisande trädslag i tre block och gran bonitetsvisande i tre block. På övriga trakter var tall bonitetsvisande trädslag inom samtliga block (Tabell 1).

Tabell 1. Beskrivning av samtliga försöksblock inom alla fyra trakter. GYL- och MB-klassificering enligt Terrängtypsschemat (Berg 1982)

Table 1. Description of trial blocks within all four study sites

Trakt	Block	År	Vegetationstyp	Mf	Jordart	SI	G	Y	L	M	B	HöH	Lat	Ex
1	1	2014	Blåbär	2	Blockrik morän	G24	3	2	1	3	5	311	62°03	N
1	2	2014	Blåbär	2	Blockrik morän	G24	3	2	1	3	5	311	62°03	N
1	3	2014	Lingon	2	Blockrik morän	T24	3	2	2	2	5	311	62°03	V
1	4	2014	Blåbär	2	Blockrik morän	G24	3	3	2	3	5	311	62°03	V
1	5	2014	Lingon	2	Blockrik morän	T24	2	3	1	2	5	311	62°03	O
1	6	2014	Blåbär	2	Blockrik morän	T24	3	3	2	2	5	311	62°03	O
2	7	2014	Kråkbär-Ljung	1	Blockrik morän	T22	2	4	2	2	5	265	61°58	S
2	8	2014	Kråkbär-Ljung	1	Blockrik morän	T22	2	4	2	2	5	265	61°58	S
3	9	2010	Lingon	2	Blockrik morän	T24	2	4	2	2	5	289	62°02	S
3	10	2010	Lingon	2	Blockrik morän	T24	2	4	2	2	5	289	62°02	S
4	11	2012	Kråkbär-Ljung	2	Blockrik morän	T22	2	4	1	2	5	292	61°57	S
4	12	2012	Kråkbär-Ljung	2	Blockrik morän	T22	2	4	1	2	5	292	61°57	S
4	13	2012	Kråkbär-Ljung	2	Blockrik morän	T22	2	4	1	2	5	292	61°57	S
4	14	2012	Kråkbär-Ljung	2	Blockrik morän	T22	2	4	1	2	5	292	61°57	S
4	15	2012	Kråkbär-Ljung	2	Blockrik morän	T22	2	4	1	2	5	292	61°57	S

År: Årtal för markberedning

Mf (Markfuktighetsklass): 1 = torr; 2 = frisk

G (Grundförhållanden): Från 1, mycket god bärighet till 5, mycket dålig bärighet

Y (Ytstruktur): Från 1, mycket jämn till 5, mycket ojämn

L (Lutning): Från 1, plan mark 0–9 % till 5, kraftig lutning > 50 %

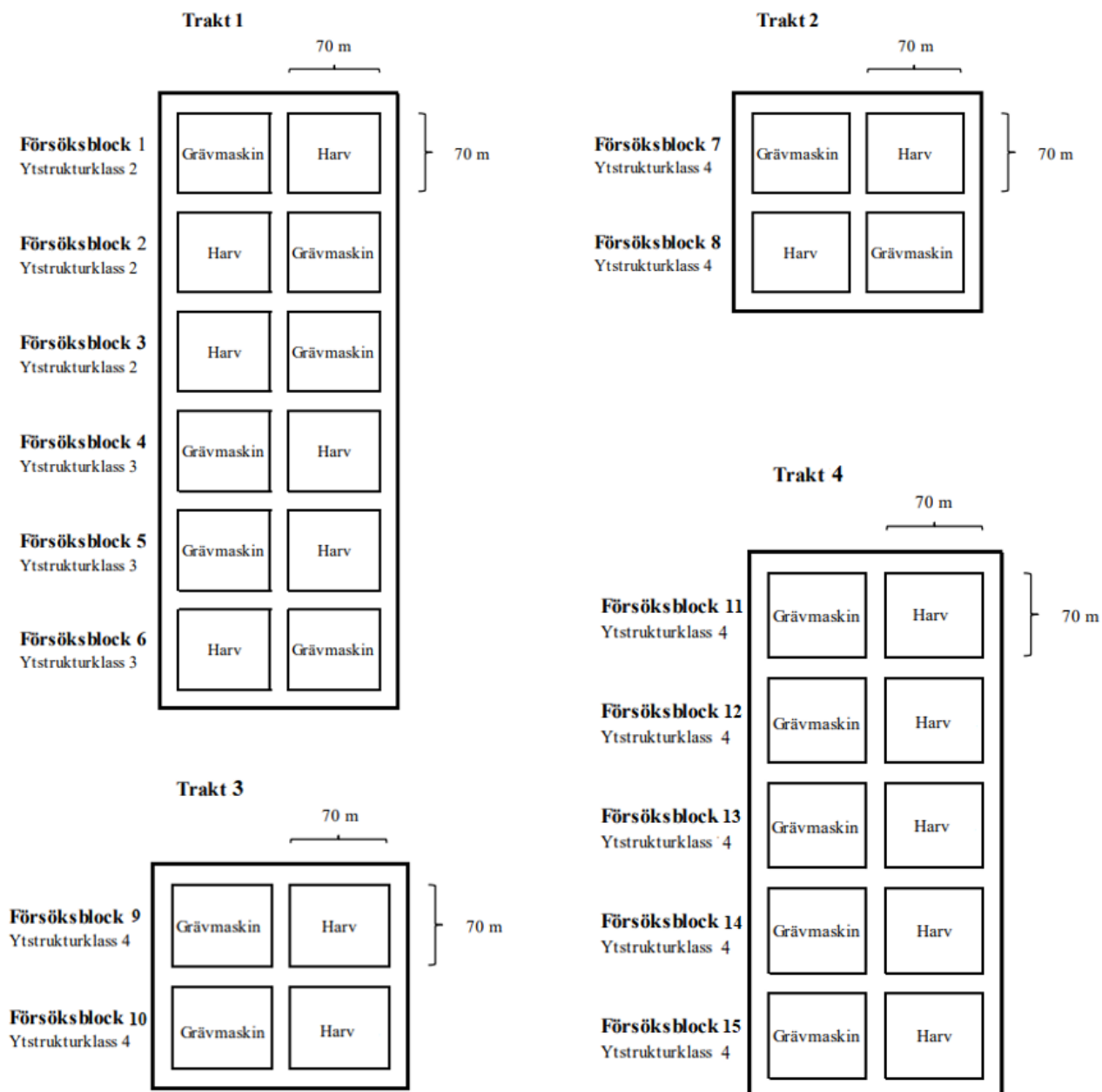
M: (Markytans bearbetningsmotstånd) Från 1, mycket goda markförhållanden till 5, mycket svåra markförhållanden

B: (Markens blockkvot) Från 1, mycket låg andel block (0 %) till 5, mycket hög andel block (61–100 %)

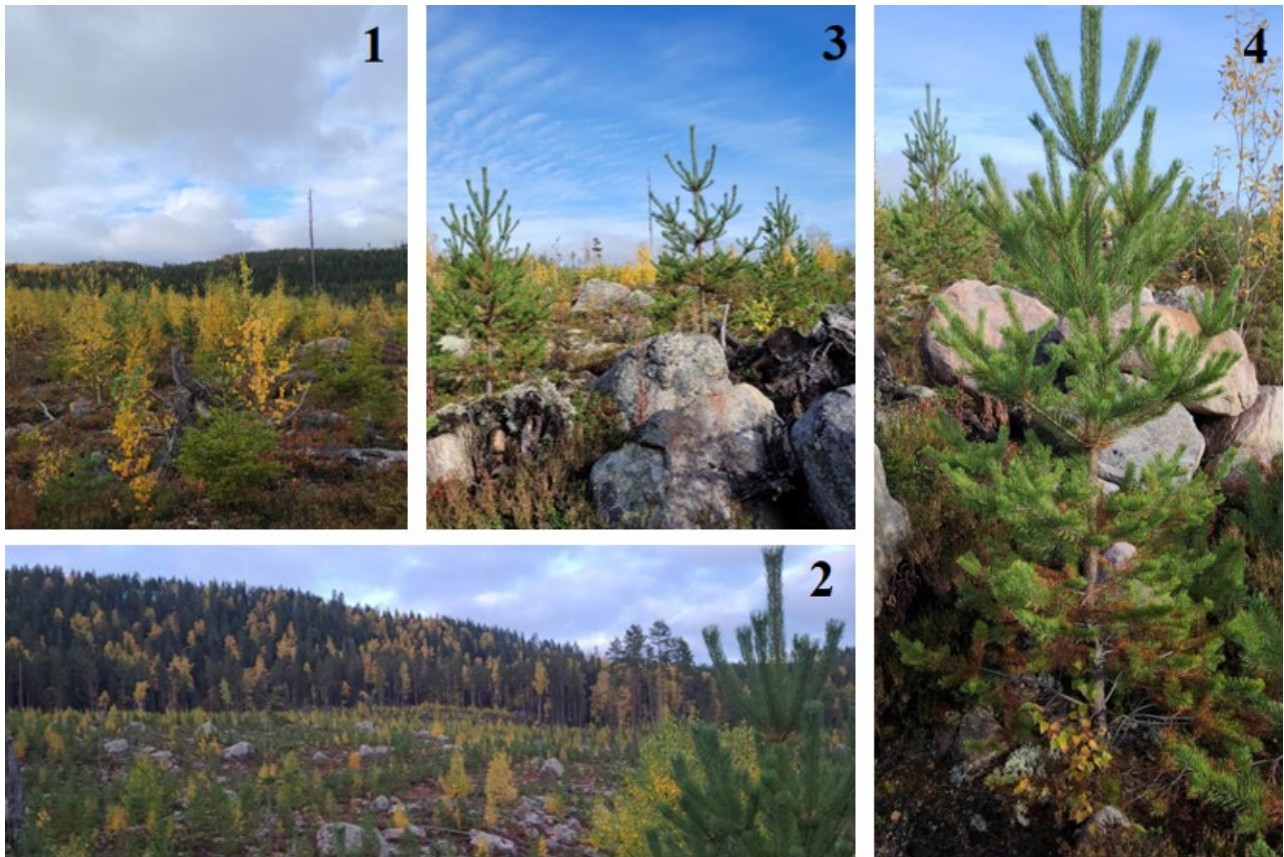
HöH: Höjd över havet

Lat: Latitud

Ex (Exponering): Väderstreck. N: Norr; V: Väster; O: Öster S: Söder



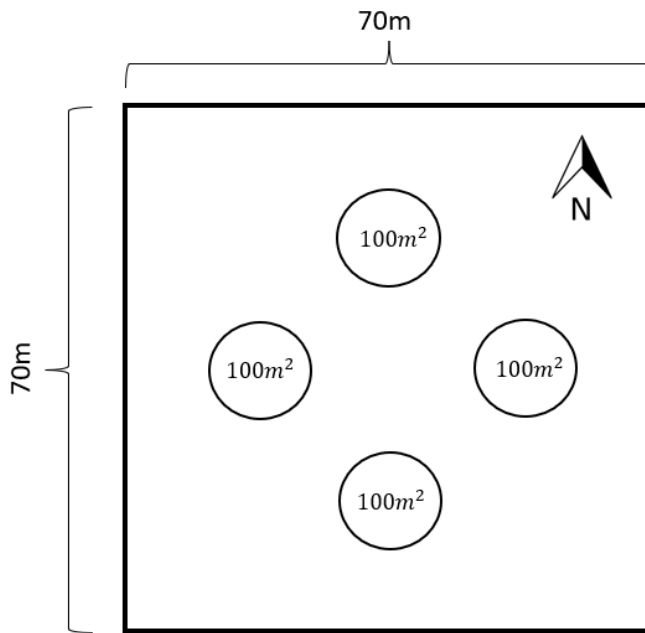
Figur 2. Principalskiss med försöksdesign och behandlingar samt ytstrukturklass över de fyra trakterna som inventerades. Trakt 1 och 2 ingick i Magnusson (2015) och hade randomiserad design. På trakt 3 och 4 parades försöksblockshalvor subjektivt ihop till block. Illustration trakt 1 & 2: Louise Magnusson
Figure 2. Layout of the experimental design and treatments.



Figur 3. Terrängbilder från trakterna. Siffrorna anger respektive traktnummer.
Figure 3. Pictures from the four sites.

2.2. Fältinventering

Totalt inventerades åtta cirkelprovytor med 5,64m radie (100m^2) inom varje block, det vill säga fyra ytor per markberedningsmetod inom vardera försöksblockshalva. Vid inventeringen av trakt 1 och 2 lades provytorna ut på samma sätt som i Magnusson (2015). Provytecentrum lades mitt emellan varje försöksblockshalvas mittpunkt och dess yttergräns med en provyta i varje väderstreck i förhållande till försöksblockshalvans mittpunkt (Figur 4). På trakt 3 och 4 trakterna lades provytorna ut på samma sätt, dock med ett subjektivt bedömt centrum för blockhalvorna. Totalt inventerades 120 provytor, 48 på trakt 1, 16 på trakt 2, 16 på trakt 3 och 40 på trakt 4. Endast provytor där markberedning utförts inventerades. Om en provyta hamnade där markberedning inte utförts, till exempel inom hänsynsyta så flyttades provytecentrum med 20 m till dess att provytan hamnade där markberedning utförts.



Figur 4. Provytornas placering inom vardera försöksblockshalva.
Figure 4. Layout of inventory plots within blocks.

2.2.1 Traktegenskaper

Under fältinventeringen registrerades en del allmän information om blocken och trakterna. Ståndsindex (SI) bestämdes med hjälp av Stora Ensos beståndsregister, men kontrollerades i fält med ståndsindexegenskaper. Grundförhållande, ytstruktur och lutning (GYL), samt markens bearbetningsmotstånd och blockkvot (MB) bestämdes för samtliga provytor med hjälp av Skogforsks terrängtypschema (Berg 1982). För att kunna göra det bestämdes markvegetationstyp, markfuktighet och jordart. Höjd över havet, latitud och vilket väderstreck som marken exponerades åt noterades också för samtliga block.

2.2.2 Naturvärdespåverkan

För naturvärdespåverkan inventerades skador på lågor, antal lövträdsarter och markstörning. Vid inventering av lågor användes samma metodik som i Magnusson (2015) med skillnaden att endast lågor inom provytorna inventerades. Alla lågor med lågans gröningspunkt inom provytan och med en diameter större än 15 cm registrerades. Om gröningspunkten inte gick att bedöma registrerades lågor där grovänden återfanns inom provytan. Lågor bedömdes som skadade om det återfanns skador med ett djup större än 3 cm och en längd större än 5 dm i form av kompaktering eller uppfläkning på den delen av lågan med en diameter som översteg 15 cm (figur 5). Till skillnad från Magnusson (2015) som inventerade

skador både före och efter markberedning kunde ingen bedömning göras om lågan skadats i samband med avverkning, markberedning eller av andra orsaker.



Figur 5. Exempelbild på en låga som bedömdes som skadad.

Figure 5. Example picture of coarse woody debris that was assessed as damaged.

Markstörning inventerades på trakt 1 och 3 på 20 cirkelprovytor med 1,78m radie (10m^2) för respektive markberedningsmetod och trakt. Ytorna lades ut som två transekter per markberedningsmetod med 10 ytor med provytcentrum var tionde meter. Transektens startpunkt och riktning bestämdes subjektivt. Inom varje yta uppskattades hur stor andel av marken som varit störd efter markberedning (figur 6). Dessutom noterades hur marken återkoloniserats av fält- och bottenskikt där vegetationen som återkoloniserat marken indelades i fyra kategorier. Kategori 1 var mark som fortfarande utgjordes av bar mineraljord. Kategori 2 var mark som dominerades av risväxter som ljung, kråkbär, lingon och blåbär. Kategori 3 var mark som var täckt av mossor och kategori 4 mark som var täckt av renlav.



Figur 6. Exempelbild på markstörning. I bilden t.v. syns hur ljung koloniserat ett harvspår och i bilden t.h. syns en grop från grävmarkberedningen som till stor del fortfarande består av blottad mineraljord.

Figure 6. Example picture of soil disturbance. Left picture shows how heather has colonized a disc trenched furrow. Right picture shows a pit from the excavator site preparation that to a large extent still consists of bare mineral soil.

2.2.3 Beståndsutveckling och träd tillväxt

För träd tillväxt inventerades inom samtliga cirkelprovytor (100m²) antalet träd, både totalt och per trädslag för huvudstam respektive biam. Diametern mättes för samtliga stammar i brösthöjd. Diametern på stammar lägre än 1,3 m höjd mättes inte. Höjden mättes på samtliga stammar och angavs i hela decimeter med 0,5 decimeter noggrannhet. För alla stammar som var barrträd mättes även längden på toppskottet i cm och angavs per 5 cm klass. Bedömning av vad som utgjorde huvud- respektive biam gjordes subjektivt med stöd av Stora Enso's röjningsinstruktion (Stora Enso 2020b). Vid val av huvudstam togs hänsyn till avstånd mellan stammarna, men ingen exakt regel för minsta avstånd mellan två huvudstammar tillämpades. Vid klassificering av huvudstam gynnades barr framför löv och bonitetsvisande barr framför övrigt barr. Löv angavs som huvudstam i luckor där ingen lämplig huvudstam av barr fanns. Ingen hänsyn till eventuella skador togs vid

klassificering av huvudstam respektive bistam. Som bistam klassades därmed alla övriga stammar än huvudstammarna.

2.3 Dataanalys och nuvärdeskalkyl

Insamlade data överflyttades till Excel för vidare statistisk analys i statistikprogrammet MiniTab (version 19.2020.1). Statistiska jämförelser mellan de båda markberedningsmetoderna gällande antal huvudstam och bistam utfördes med parade t-test och för diameter, höjd och toppskott med tvåsidigt t-test. Gränsen för signifikanta skillnader bestämdes vara p-värden $<0,05$. Sista delen av arbetet bestod i att modellera den framtida beståndsutvecklingen i programvaran Heureka Standwise med hjälp av inventerat fältdata från de trakt 1 och 2. Inventerat fältdata delades upp i fyra olika bestånd genom att varje trakt delades upp i två bestånd, ett för grävmarkberedda ytor och ett för harvade ytor. Allt fältdata för huvudstammar samt traktegenskaperna importerades i Heureka Standwise (version 2.20.0.0) från Excel genom att använda funktionen importera trädlista. Ungskogsbeståndens utveckling simulerades sedan för en omloppstid med utgångspunkt i beståndens utseende vid fältinventering, ca åtta år gamla efter en tilltänkt röjning. Kostnader och intäkter från hela omloppstiden diskonterades sedan till år 0. Markberedningskostnaden sattes till 2500 kronor per hektar för harvning och 5000 kronor per hektar för grävmarkberedning (Stattin 2022). Planteringskostnaden sattes till 5000 kronor per hektar. Röjningskostnaden beräknades med hjälp av Skogskunskaps räkneverktyg som för tidsåtgång bygger på prognosunderlaget för motormanuell röjning SLA Norr 1991. Ingående variabler i kalkylen var antalet bistammar per hektar (1500st) och dess medelhöjd (2m) från fältdata, samt en kostnad per dagsverke på 3040 kr. Med 10 % tillägg för tekniskt svår terräng angavs röjningskostnaden till 1250 kronor per hektar. Prislistan för intäktsberäkning i Heureka ändrades till Stora Ensos prislistor för oktober 2022 (Stora Enso 2022). I övrigt användes standardinställningarna i Heureka Standwise under simuleringarna bortsett från att inget biobrännslouttag gjordes i slutavverkning. Tidpunkt för slutavverkning angavs till optimal för högsta nuvärde. Totalt gjordes tolv simuleringar, tre för vardera av de fyra bestånden med olika räntor, 1 %, 3 % samt 5 %.

3 Resultat

3.1 Naturvärdespåverkan

3.1.1 Skador på lågor

Antalet lågor varierade mellan noll och tre per provyta (0–300/ha) och totalt sett på de fyra trakterna inventerades 99 lågor varav 48 på harvade ytor och 51 på grävda ytor. Ett två pars t-test visade ingen skillnad i antalet skadade lågor mellan de båda markberedningsmetoderna (p-värde 0,407). Av 48 lågor på harvade ytor bedömdes sex lågor ha skador orsakade av maskiner. Av 51 lågor på grävda ytor bedömdes även där sex lågor ha skador orsakade av maskiner (Tabell 2). Sett till endast trakt 1 och 2 inventerades 17 lågor varav sju på harvade ytor och tio på grävda ytor. Av de sju inventerade lågorna på harvade ytor bedömdes alla som oskadade. Av de tio inventerade lågorna på grävda ytor bedömdes tre lågor vara skadade av maskiner.

Tabell 2. Antalet lågor totalt samt antalet skadade lågor för grävmarkberedda respektive harvade ytor sett till samtliga fyra trakter

Table 2. Number of coarse woody debris and number of damaged coarse woody debris for excavated and disc-trenched plots on all four sites

Markberedningsmetod	Antal lågor inom provytor (antal lågor /ha)	Antal skadade lågor inom provytor (antal skadade /ha)	Andel skadade lågor (%)
Grävmarkberedning	51 (79)	6 (9)	12
Harvning	48 (75)	6 (9)	13

3.1.2 Mångfald av trädslag

Ett två pars t-test visade att det inte fanns någon skillnad för mångfalden av trädslag mellan grävmarkberedda och harvade ytor sett till alla trakter (p-värde 0,77). Det totala antalet trädslag både barr och löv medräknat varierade mellan två och fyra

för både grävmarkberedda och harvade ytor (Tabell 3). Dominerande var två eller tre trädslag som tillsammans svarade för 90 % av de grävda ytorna och 97 % av de harvade. Antalet lövträdsdrag varierade mellan ett och tre för grävda ytor och noll och två för harvade ytor (Tabell 3). Dominerande var endast ett lövträdsdrag, björk, som svarade för 85 % av de grävda ytorna och 92 % av de harvade ytorna. Övriga lövträdsdrag, utöver björk, som återfanns var sälj, asp och rönn. Dessa trädslag återfanns aldrig i mer än fyra stammar på en och samma provyta, och oftast som en till två stammar. Sett till endast trakt 1 och 2 var resultatet liknande och ingen signifikant skillnad i mångfalden av trädslag kunde påvisas. Även här varierade antalet trädslag mellan två och fyra per yta och två och tre trädslag totalt dominerade på både grävda och harvade ytor med 91 % respektive 97 % av ytorna. Antalet lövträdsdrag varierade mellan en och två arter på både de grävda och harvade ytorna.

Tabell 3. Antalet provytor med totalt antal trädslag per provyta barr och löv summerat, och löv enskilt för respektive markberedningsmetod
Table 3. Number of plots with number of tree species totally coniferous and deciduous summed up as well as deciduous alone for respective soil preparation method

Antal trädslag totalt	Grävmarkberedning	Harvning
4	6 (10%)	2 (3%)
3	22 (37%)	28 (47%)
2	32 (53%)	30 (50%)
Antal lövträdsdrag		
3	2 (3%)	0 (0%)
2	7 (12%)	4 (7%)
1	51 (85%)	55 (92%)
0	0 (0%)	1 (2%)

3.1.3 Markstörning

Andelen mark som bedömdes ha varit störd varierade på ytorna mellan 5 % och 20 % för grävmarkberedning och 5 % och 50 % för harv. I medel var den för grävmarkberedning 16 % och för harvning 27 %. Ett två pars t-test visade att denna skillnad var signifikant (p-värde <0,01). Av den mark som bedömdes ha varit störd av grävmaskinen dominerade vid fältinventeringen risväxter med 34% av ytan följd av bar mineraljord med 32 % av ytan. Mossor utgjorde 21 % av ytan och renlav 13 %. För harvade ytor var andelen mark som återkoloniserats av risväxter dubbelt så stor, 68 % medan andelen bar mineraljord endast var 2 %. Mossor utgjorde på harvade ytor en liknande andel, 26 %, medan en betydligt mindre andel, 4 %, utgjordes av renlav jämfört med grävmarkberedning. (Tabell 4).

Tabell 4. Andelen av den störda marken som återkoloniserats av respektive växtkategori för de båda markberedningsmetoderna

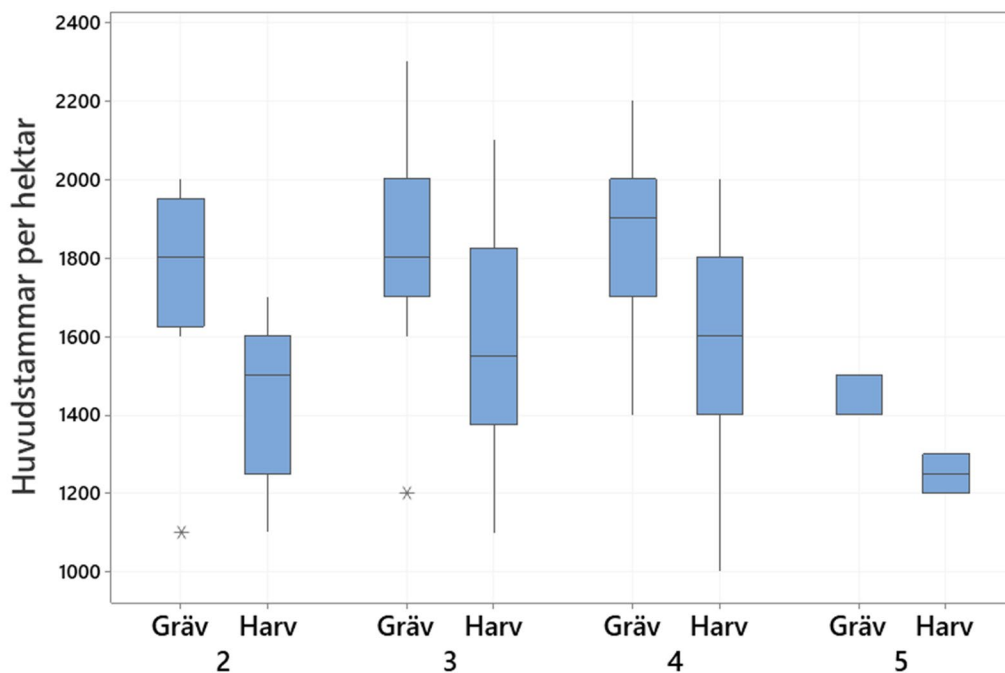
Table 4. The proportion of disturbed soil that has been recolonized by different types of vegetation for both soil preparation methods

Växtkategori	Grävmarkberedning	Harvning
Risväxter	34%	68%
Mineraljord	32%	2%
Mossor	21%	26%
Lav	13%	4%

3.2 Trädtillväxt

3.2.1 Antal huvud- och bistammar

Sett till alla trakter varierade antalet huvudstammar mellan 1100–2300 per hektar för grävmarkberedning och mellan 1000–2100 per hektar för harvning med viss variation mellan ytstrukturklasserna (Figur 7). I medel resulterade både grävmarkberedning och harvning i flest huvudstammar per hektar i ytstruktur 4 följt av ytstruktur 3 och 2. Minst antal huvudstammar per hektar i medel fanns i ytstruktur 5.



Figur 7. Antalet huvudstammar per hektar beroende på ytstrukturklass för respektive markberedningsmetod. Strecket i mitten av stapeln är medianen, överkanten på stapeln är 75-percentilen, nederkanten på stapeln är 25-percentilen, felstapeln är 95%-konfidensintervall och stjärnorna är utliggare.

Figure 7. Number of crop trees per hectare and soil surface texture class for respective soil preparation method.

I medel, oavsett ytstruktur, för det totala antalet huvudstammar per hektar med både huvudstammar av barr och löv inräknad resulterade grävmarkberedning i 1802 huvudstammar per hektar jämfört med harvning som resulterade i 1563 huvudstammar per hektar. Ett två pars t-test visade att denna skillnad var signifikant (p-värde <0,001). Även antalet huvudstammar av endast barr visade en signifikant skillnad, dock inte antalet huvudstammar av löv. Ingen signifikant skillnad fanns mellan markberedningsmetoderna sett till det totala antalet bistammar. Dock visade ett två pars t-test signifikant fler bistammar av barr för grävmarkberedning (p-värde 0,037). För antalet bistammar av löv fanns ingen skillnad (Tabell 5).

Tabell 5. Medelvärden för antal stammar per hektar, standardavvikelse (SD), medelvärdenas differens mellan markberedningsmetoderna samt p-värde för två pars t-test för respektive parameter för alla trakter. Fetmarkerade p-värden anger signifikanta skillnader. Positiv differens visar på fler antal stammar i medel för grävmarkberedning och negativ differens på fler antal stammar för harv

Table 5. Mean values for number of stems per hectare, standard deviation (SD), mean values difference between soil preparation method and p-values for paired t-tests

Stamtyp	Grävmarkberedning medel/ha	SD	Harving medel/ha	SD	Differens	p-värde
Huvudstam totalt	1802	243	1563	267	239	<0,001
Huvudstam barr	1688	277	1447	290	241	<0,001
Huvudstam löv	114	1,14	116	1,42	-2	0,939
Bistam totalt	1316	1086	1322	999	-6	0,966
Bistam barr	292	271	218	231	74	0,037
Bistam löv	1024	1137	1104	931	80	0,688

Även sett till endast trakt 1 och 2 resulterade grävmarkberedning jämfört med harvning i signifikant fler huvudstammar per hektar. Det gällde både totalt och huvudstammar av barr enskilt. Ingen signifikant skillnad fanns mellan markberedningsmetoderna sett till antalet huvudstammar av löv per hektar. Till skillnad från när alla trakter slagits samman visade resultatet endast från trakt 1 och 2 ingen signifikant skillnad i antalet bistammar av barr. Precis som sett till alla trakter visade resultatet inte heller att någon signifikant skillnad fanns mellan markberedningsmetoderna sett till antalet bistammar, varken totalt eller för löv enskilt.

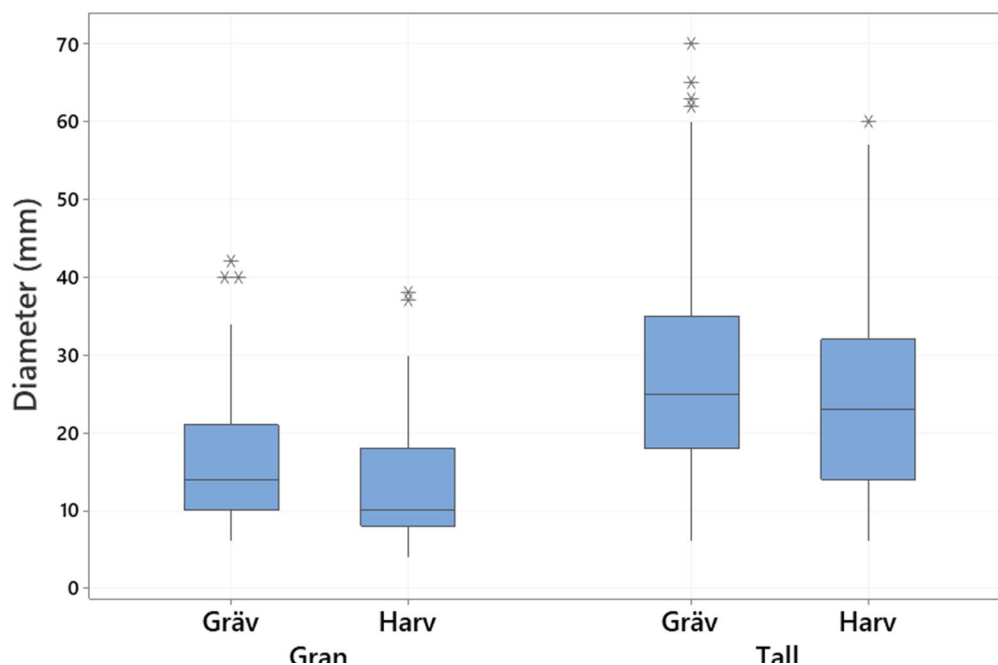
3.2.2 Diameter

Sett till alla trakter resulterade grävmarkberedning i en större medeldiameter, 27 mm, för huvudstammar av tall jämfört med harvning som resulterade i en medeldiameter på 24 mm (Tabell 6). Denna skillnad var signifikant (p-värde <0,001). Även för huvudstammar av björk resulterade grävmarkberedningen i en större medeldiameter jämfört med harvning som var signifikant. För huvudstammar av gran påvisades ingen signifikant skillnad i medeldiameter mellan de två markberedningsmetoderna (Figur 8). För bistammar var skillnaden i medeldiameter små för alla trädslag mellan de båda markberedningsmetoderna. Ingen signifikant skillnad kunde påvisas, varken för bistammar av tall, gran eller björk (Tabell 6).

Tabell 6 Medelvärden för diameter, höjd och toppskottslängd, standardavvikelse (SD), antal träd (n), medelvärdenas differens mellan markberedningsmetoderna samt p-värde för två-sidigt t-test för respektive parameter sett till alla trakter. Fetmarkerade p-värden anger signifikanta skillnader. Positiv differens visar på ett högre värde i medel för grävmarkberedning och negativ differens på ett högre värde i medel för harv
Table 6. Mean values for diameter, height and topshoot-length, standard deviation (SD), number of trees (n), difference of mean values between soil preparation method and p-values for two sample t-tests for all parameters seen to all four sites

Parameter	Gräv medeltal	n	SD	Harv medeltal	n	SD	Differens	p-värde
Diameter huvudstammar gran (mm)	17,07	163	7,90	14,00	131	7,36	2,07	0,072
Diameter huvudstammar tall (mm)	27,0	842	11,8	24,3	733	11,6	2,70	<0,001
Diameter huvudstammar björk (mm)	17,2	68	11,1	13,72	69	7,78	3,5	0,042
Diameter bistammar gran (mm)	10,78	32	8,32	8,75	29	8,68	0,69	0,493
Diameter bistammar tall (mm)	18,2	172	11,6	16,36	112	7,73	1,81	0,155
Diameter bistammar löv (mm)	8,28	561	6,02	8,85	641	5,66	-0,57	0,098
Höjd huvudstammar gran (dm)	17,33	163	7,12	14,21	131	6,02	3,11	<0,001
Höjd huvudstammar tall (dm)	24,23	842	7,18	22,72	733	7,31	1,51	<0,001
Höjd huvudstammar björk (dm)	27,42	68	6,17	25,41	69	5,40	1,93	0,055
Höjd bistammar gran (dm)	15,03	32	5,21	13,28	29	4,67	1,76	0,171
Höjd bistammar tall (dm)	18,74	172	7,44	16,67	112	6,85	2,08	0,017
Höjd bistammar löv (dm)	20,53	561	5,75	20,63	641	5,55	-0,09	0,778
Toppskottslängd huvudstammar gran (cm)	22,2	163	17,8	12,8	131	11,8	9,37	<0,001
Toppskottslängd huvudstammar tall (cm)	45,0	842	12,9	40,8	733	12,4	4,26	<0,001
Toppskottslängd bistammar gran (cm)	10,23	32	6,73	9,18	29	6,85	1,05	0,612

Toppskottslängd	30,3	172	12,1	26,5	112	10,5	3,77	0,007
bistammar tall (cm)								



Figur 8. Diameter för huvudstammar av gran och tall sett till alla trakter för respektive markberedningsmetod. Sträcket i mitten av stapeln är medianen, överkanten på stapeln är 75-percentilen, nederkanten på stapeln är 25-percentilen, felstapeln är 95%-konfidensintervall och stjärnorna är utliggare.

Figure 8. Diameter for crop trees of spruce and pine on all four sites for respective soil preparation method.

Även sett till endast trakt 1 och 2 resulterade grävmarkberedning i en större medeldiameter för både huvudstammar av tall, gran och björk. Precis som sett till alla trakter var medeldiametern för tall och björk signifikant större för grävmarkberedning. För gran var skillnaden inte signifikant. Likt för alla trakter var skillnaden i medeldiameter för bistammar små och ingen signifikant skillnad påvisades heller för bistammar av tall och gran. För bistammar av björk visade sig den högre medeldiametern för grävmarkberedning vara signifikant (p-värde 0,008) (Tabell 7).

Tabell 7. Medelvärden för diameter, höjd och toppskottslängd, standardavvikelse (SD), antal träd (n), medelvärdenas differens mellan markberedningsmetoderna samt p-värde för två-sidigt t-test för respektive parameter sett till endast trakt 1 och 2. Fetmarkerade p-värden anger signifikanta skillnader. Positiv differens visar på ett högre värde i medel för grävmarkberedning och negativ differens på ett högre värde i medel för harv

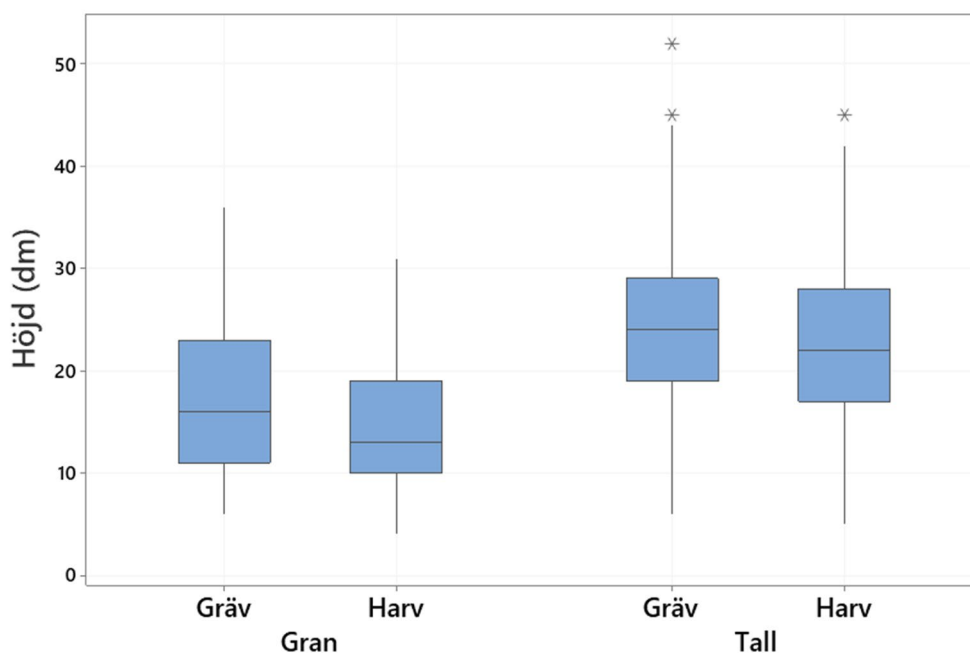
Table 7. Mean values for diameter, height and topshoot-length, standard deviation (SD), number of trees (n), difference of mean values between soil preparation method and p-values for two sample t-tests for all parameters seen to site 1 and 2

Parameter	Gräv medeltal	n	SD	Harv medeltal	n	SD	Differens	p- värde
Diameter huvudstammar gran (mm)	15,49	157	7,22	13,50	126	6,96	1,99	0,071
Diameter huvudstammar tall (mm)	21,50	367	9,01	17,81	297	9,04	3,68	<0,001
Diameter huvudstammar löv (mm)	15,56	41	8,56	11,82	34	7,33	3,74	0,045
Diameter bistammar gran (mm)	8,79	26	7,68	5,62	21	3,28	3,17	0,176
Diameter bistammar tall (mm)	9,8	52	10,8	13,20	26	5,20	-3,43	0,172
Diameter bistammar löv (mm)	6,9	463	3,87	6,15	344	3,96	0,756	0,008
Höjd huvudstammar gran (dm)	16,99	157	6,84	13,82	126	5,74	3,18	<0,001
Höjd huvudstammar tall (dm)	20,61	367	5,21	18,40	297	5,88	2,216	<0,001
Höjd huvudstammar björk (dm)	26,80	41	6,03	24,24	34	5,65	2,57	0,061
Höjd bistammar gran (dm)	14,73	26	5,06	13,00	21	3,63	1,73	0,180
Höjd bistammar tall (dm)	13,15	52	5,73	9,69	26	5,75	3,46	0,016
Höjd bistammar löv (dm)	19,41	463	4,71	18,44	344	4,77	0,97	0,004
Toppskottslängd huvudstammar gran (cm)	22,4	157	18,0	12,9	126	11,6	9,54	<0,001
Toppskottslängd huvudstammar tall (cm)	43,6	367	13,3	36,6	297	13,9	6,93	<0,001

Toppskottslängd bistammar gran (cm)	10,63	26	6,23	10,07	21	8,43	0,55	0,842
Toppskottslängd bistammar tall (cm)	20,2	52	11,5	18,65	26	9,96	1,54	0,576

3.2.3 Höjd

Sett till alla trakter resulterade grävmarkberedning i medel i en större medelhöjd, 24,2 dm, för huvudstammar av tall jämfört med harvning som resulterade i en medelhöjd på 22,7 dm (Tabell 6). Denna skillnad var signifikant (p-värde <0,001). Även medelhöjden för huvudstammar av gran visade en signifikant skillnad där grävmarkberedning resulterade i en medelhöjd på 17,3 dm och harvning 14,2 dm (p-värde <0,001) (Figur 9). Ingen signifikant skillnad påvisades för huvudstammar av björk. För bistammar resulterade grävmarkberedning i en större medelhöjd för både tall och gran, men det var endast skillnaden för tall som var signifikant (p-värde 0,017). För bistammar av björk var skillnaden i medelhöjd mycket liten (Tabell 6).



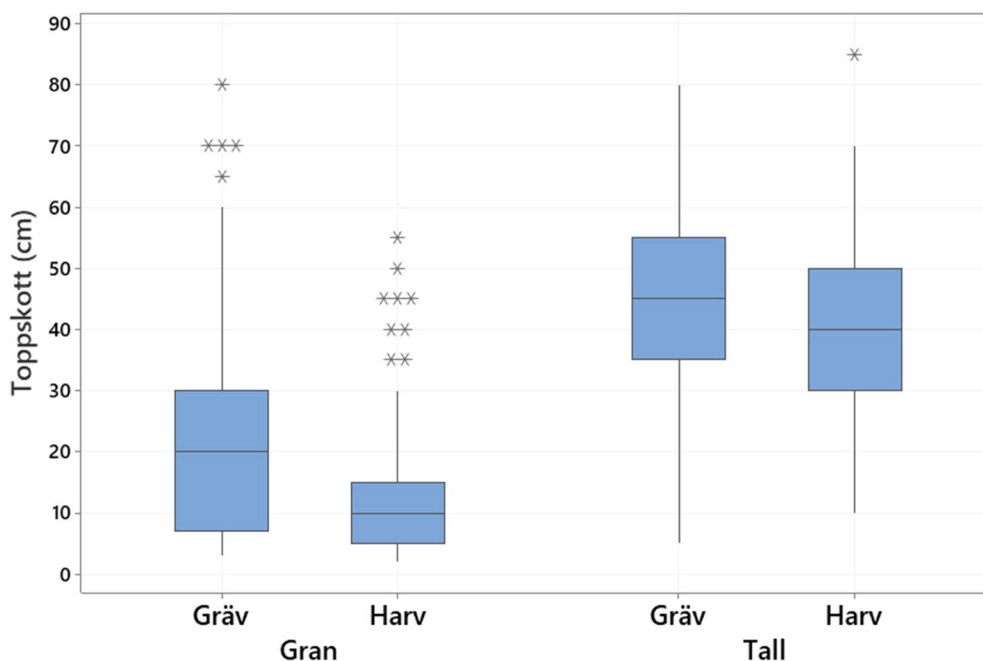
Figur 9. Höjden för huvudstam av gran och tall på alla trakter för respektive markberedningsmetod. Sträcket i mitten av stapeln är medianen, överkanten på stapeln är 75-percentilen, nederkanten på stapeln är 25-percentilen, felstapeln är 95%-konfidensintervall och stjärnorna är utliggare.

Figure 9. Height for crop trees of spruce and pine on all four sites for respective soil preparation method.

Precis som för alla trakter resulterade grävmarkberedning sett till endast trakt 1 och 2 i en större medelhöjd för huvudstammar av både tall jämfört och gran där skillnaden var signifikant. Likaså påvisades ingen signifikant skillnad i medelhöjd för huvudstam av björk. För bistämmar resulterade grävmarkberedning jämfört med harv i signifikant högre medelhöjd för tall men inte för gran. Till skillnad mot medelhöjden för löv sett till alla trakter resulterade grävmarkberedning på trakt 1 och 2 i en signifikant större medelhöjd för bistämmar av björk (Tabell 7).

3.2.4 Toppskottslängd

Sett till alla trakter var toppskottslängden i medel större för grävmarkberedning, både för huvudstammar av tall och gran jämfört med harvning. Tallens toppskott var i medel 45 cm för grävmarkberedning och 40,8 cm för harvning (Tabell 6). Denna skillnad var signifikant (p-värde <0,001). Granens toppskott var 22 cm i medel för grävmarkberedning och 13 cm i medel för harvning. Även denna skillnad var signifikant (p-värde <0,001) (Figur 10). Toppskottslängden för bistämmar av tall var i medel längre för grävmarkberedning och skillnaden jämfört med harvning var signifikant. För bistämmar av gran var dock skillnaden i medel för toppskottslängden mycket liten (Tabell 6).



Figur 10. Toppskottslängden för huvudstammar av gran och tall sett till alla trakter för respektive markberedningsmetod. Sträcket i mitten av stapeln är medianen, överkanten på stapeln är 75-percentilen, nederkanten på stapeln är 25-percentilen, felstapeln är 95%-konfidensintervall och stjärnorna är utliggare.

Figure 10. Topshoot-length for crop trees of spruce and pine on all four sites for respective soil preparation method.

Även sett till trakt endast 1 och 2 resulterade grävmarkberedning jämfört med harvning i signifikant större medellängd på toppskott för huvudstammar av både tall och gran. Skillnaden var signifikant för båda trädslagen. Till skillnad mot alla trakter påvisades för trakt 1 och 2 ingen signifikant skillnad i toppskottslängd för tall även om grävmarkberedning resulterade i något längre toppskott i medel. Även för bistammar av gran var skillnaden i medelhöjd liten och var inte signifikant (tabell 7).

3.3 Nuvärdeskalkyl Heureka Standwise

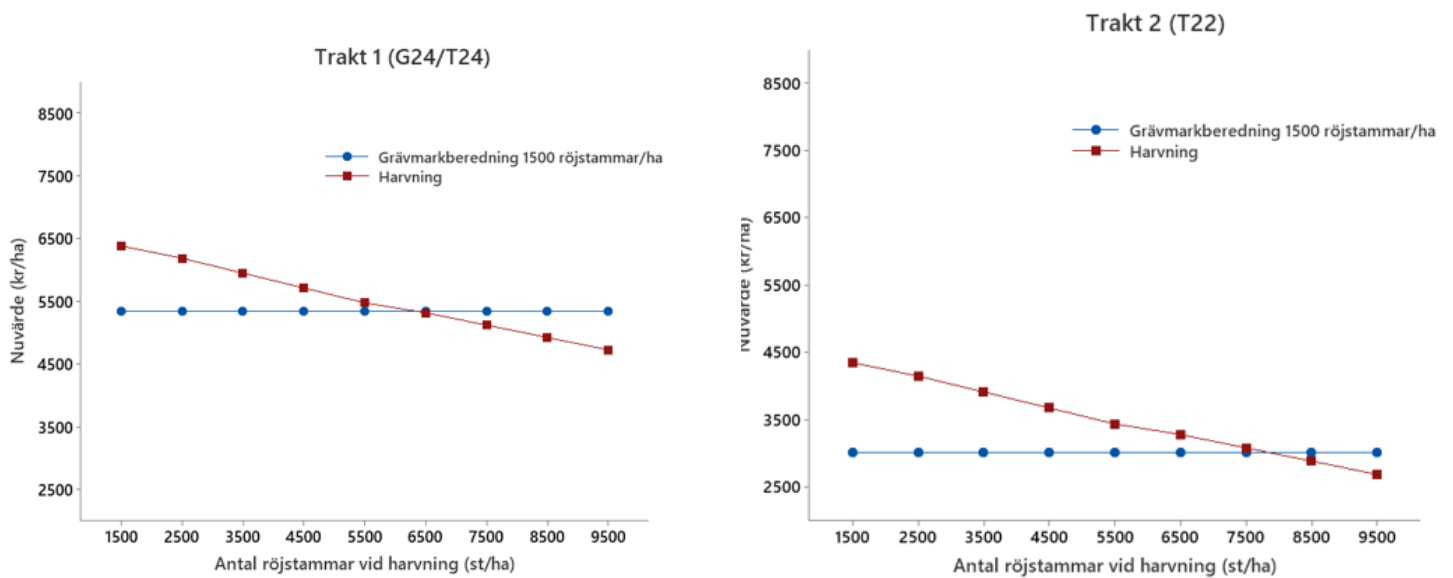
Antalet gallringar och deras tidpunkter, samt tidpunkten för slutavverkning, skiljde sig mellan markberedningsmetoderna och de olika räntenivåerna i simuleringarna i Heureka Standwise (Tabell 9). Det slutgiltiga nuvärdet sett till en hel omloppstid visade för de olika bestånden en skillnad mellan 443–1936 kronor per hektar mellan markberedningsmetoderna beroende på räntenivå. Enda gången ett grävmarkberett bestånd visade högre nuvärde jämfört med det harvade beståndet på samma trakt var vid 1 % ränta för trakt 2. Då blev nuvärdet för det grävmarkberedda beståndet 1319 kronor högre per hektar. Vid 1 % ränta för trakt 1 samt vid 3 % och 5 % ränta resulterade harvning i högre nuvärde för samtliga övriga bestånd. Alla bestånd oavsett markberedningsmetod visade ett positivt nuvärde vid 1 % och 3 % ränta. Vid 5 % ränta resulterade simuleringarna i ett negativt nuvärde för samtliga bestånd (Tabell 8).

Tabell 8. Antal och tidpunkt för gallringar, tidpunkt för slutavverkning samt nuvärde för respektive trakt, markberedningsmetod och ränta

Table 8. Number and timing of thinnings, timing for final felling and net present value for each soil preparation method, compartment, and interest rate

Trakt (SI)	Markberedningsmetod	Ränta	Antal gallring	Ålder gallring	Ålder Slutavverkning	Nuvärde (kr/ha)
1 (T24/G24)	Grävd	1 %	2	43, 58	88	62 394
	Harvad	1 %	1	58	93	62 837
	Grävd	3 %	2	43, 58	73	5 344
	Harvad	3 %	1	48	68	6 387
	Grävd	5 %	2	38, 48	58	-5 624
	Harvad	5 %	1	48	63	-3 842
2 (T22)	Grävd	1%	3	28, 43, 58	88	50 568
	Harvad	1 %	2	43, 58	88	49 250
	Grävd	3%	2	38, 53	68	3 014
	Harvad	3%	2	43, 58	73	4 349
	Grävd	5%	1	38	58	-4 667
	Harvad	5%	1	43	58	-4 103

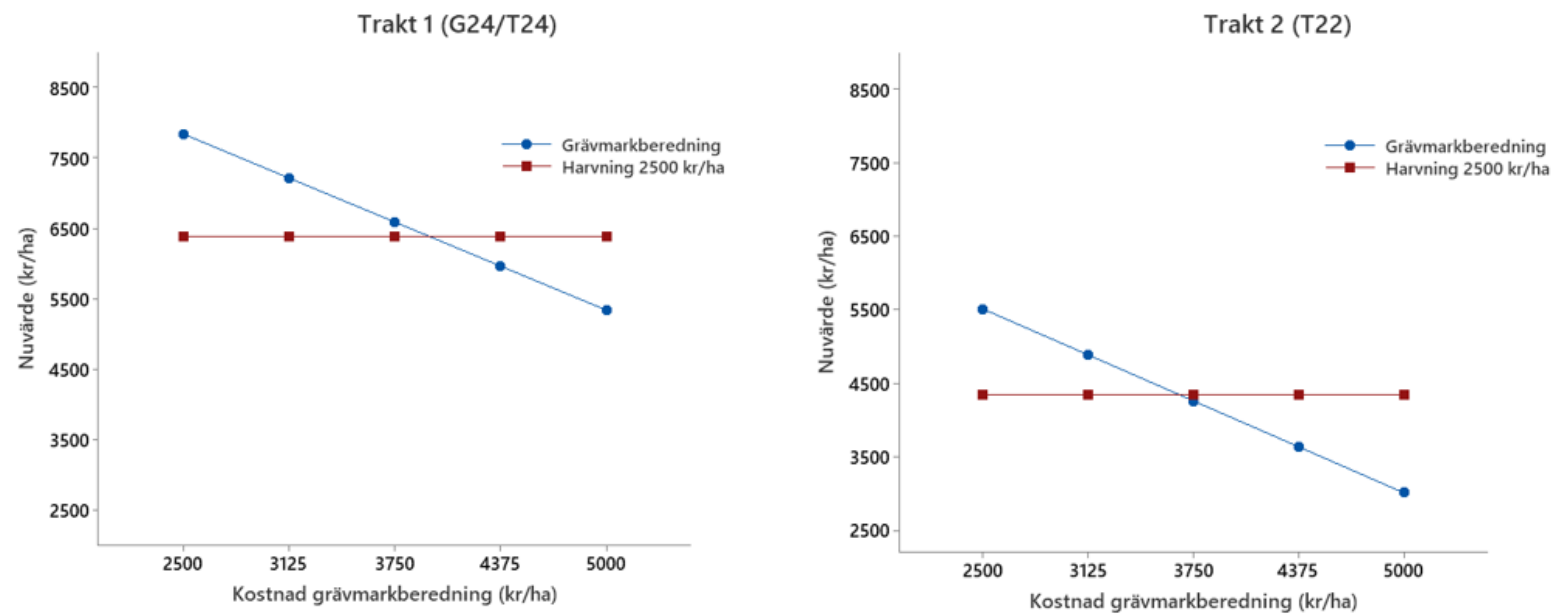
En känslighetsanalys för harvens nuvärde med variation av antalet röstammar per hektar visar för trakt 1 att ca 6500 röstammar per hektar krävs innan grävmarkberedningen får högre nuvärde. Detta vid jämförelse med grävmarkberedningens nuvärde när antalet röstammar efter grävmarkberedning uppgår till 1500 röstammar per hektar (Figur 11). På samma sätt för trakt 2 är brytpunkten drygt 7500 röstammar per hektar.



Figur 11. Nuvärdets variation för harvning vid respektive antal röjstammar per hektar. Nuvärdet för grävmarkberedning är angivet vid 1500 röjstammar per hektar.

Figure 11. Variation of net present value for disc-trenching at different pre-commercial thinning strengths.

En känslighetsanalys för grävmarkberedningens nuvärde med variation av grävmarkberedningens kostnad per hektar visar för trakt 1 att ca 4000 kr per hektar är brytpunkten när grävmarkberedningen får högre nuvärde. Detta i jämförelse med nuvärdet för harvning vid en markberedningskostnad om 2500 kr/ha. På samma sätt för trakt 2 är brytpunkten ca 3750 kr. (Figur 12).



Figur 12. Nuvärdets variation för grävmarkberedning vid 3 % ränta och varierande markberedningskostnad per hektar. Nuvärdet för harvning är vid en markberedningskostnad om 2500 kr/ha.

Figure 12. Net present value for soil preparation with excavator at 3 % discount rate and varying soil preparation cost per hectare.

4. Diskussion

4.1 Huvudresultat

Resultatet från studien visar att det den främsta skillnaden i naturvärdepåverkan 8–10 år efter markberedning med grävmaskin kontra harv är störningen av markskiktet och vegetationens återkolonisering av markskiktet (Tabell 3). Studien visar inget stöd för en skillnad mellan markberedningsmetoderna i antalet skadade lågor (Tabell 2). Resultatet visar också att den ackumulerade tillväxten sett till diameter är högre för huvudstammar av tall efter grävmarkberedning. Sett till höjd är den ackumulerade tillväxten i medel större för både huvudstammar av gran och tall efter grävmarkberedning. Likaså är den löpande tillväxten sett till toppskottslängd högre för huvudstammar av både gran och tall efter grävmarkberedning jämfört med harvning (Tabell 6). Den främsta skillnaden i trädutväxt finns mellan markberedningsmetoderna i antalet huvudstammar efter en tilltänkt röjning där grävmarkberedning resulterade i signifikant fler huvudstammar per hektar (Tabell 5). Modellering av kostnader och intäkter sett till en hel omloppstid efter simulering av beståndens utveckling i Heureka Standwise visar relativt små skillnader i nuvärde i favör till harvning vid 3 % ränta (Tabell 8).

4.2 Jämförelse med befintlig kunskap

Grävmarkberedningen störde totalt sett mindre andel mark jämfört med harven vilket var förväntat och likt flertalet tidigare studier som jämfört riktade och kontinuerliga markberedningsmetoder (Bäcke et al. 1986, Luoranen et al. 2006). Av den störda marken tycks dock grävmaskinen ha åstadkommit en kraftigare störning då en större andel av den markytan som varit störd fortfarande består av blottad mineraljord. Ett liknande resultat visar också Roturier & Bergsten (2006) som på lavrika marker undersökte olika markberedningsmetoders påverkan på markskiktet och lavens återhämtning. Högläggning var i Roturier & Bergstens (2006) studie den markberedningsmetod som åstadkom kraftigast störning med 65 % kvar mineraljord kvar sex år efter markberedning, vilket var betydligt mer än

markberedningsmetoder som åstadkom en ytligare störning av markskiktet. Högläggningsen störde dock betydligt lägre andel av markytan totalt sett jämfört med övriga markberedningsmetoder och hade således mindre påverkan på renlavens täckning i stort (Roturier & Bergsten 2006).

Inventeringen av skador på lågor visade ingen skillnad mellan markberedningsmetoderna sett till andelen skadade lågor. Resultatet är inte i linje med Magnusson (2015) som fann att grävmaskinen skadade 8 % av lågorna och harven 34,6 %. Magnusson (2015) fann dessutom att avverkningsmaskinerna skadade omkring 39 % av lågorna, varför den totala skadefrekvensen på 12–13 % (efter både avverkning och markberedning) som förekom på lågorna i föreliggande inventering verkar väldigt låg i jämförelse.

Likt resultatet i denna studie visar även tidigare studier att markberedningsmetod och kvalitet på planteringspunkten har betydelse för plantans överlevnad och tillväxt (Fries 1993, Mäkitalo 1999, Johansson et al. 2013, Sikström et al. 2020). Hur länge den positiva tillväxteffekten håller i sig varierar mellan olika studier men positiva tillväxteffekter 8–10 år efter markberedning, likt denna studie, har stöd (Hjelm et al. 2019). Det finns även studier som visar att plantans placering intill hinder, exempelvis större stenar, har betydelse för tillväxt och frostsador (Andersson 1976) på grund av det fördelaktiga mikroklimat som bildas intill stenarna (Odin 1969.). Att grävmaskinen lyckats skapa fler planteringspunkter intill större block som harven i jämförelse behövt undvika var enligt Magnusson (2015) tydligt vid inventeringen av planteringspunkterna. I denna studie noterades inte trädens placering intill större block, men det var tydligt under inventeringen att det på de grävmarkberedda ytorna var fler huvudstammar intill större block jämfört med på harvade ytor.

Tidigare studier (Uotila et al. 2010, Bengtsson 2017) har visat att harvning, som normalt stör en stor andel av markytan, ger ett ökat röjningsbehov i föryngringar jämfört med markberedningsmetoder som stör en mindre andel av markytan, däribland grävmarkberedning. En fördyrad markberedning skulle således kunna vara lönsam om den resulterar i en billigare röjning. Trots att grävmarkberedning i denna studie resulterade i en lägre andel störd mark jämfört med harvning påvisades ingen skillnad i mängden lövuppslag mellan markberedningsmetoderna, och därmed användes ingen skillnad i röjningskostnad i nuvärdeskalkylerna. I studien av Uotila et al. (2010) resulterade harvning i 56 % fler röstammar jämfört med riktad högläggning. En nivå som i denna studie inte hade resulterat i en tillräckligt kostsam röjning för att avgöra nuvärdet till harvens nackdel.

4.3 Nya kunskaper från studien

Enligt denna studie tycks renlaven ha återhämtat sig bättre efter grävmarkberedning trots att en stor del av den störda marken efter grävmarkberedning fortfarande består av blottad mineraljord. Renlaven sprider sig till största delen asexuellt genom fragmentering (Webb 1998) genom att fragment lossnar från befintlig renlav och sedan kan växa vidare. Till följd av detta så återhämtar sig renlaven normalt bättre om det finns en blandning av lavfragment, mineraljord och organiskt material i markytan, vilket det normalt gör efter mer ytliga markstörningar som harvning (Roturier & Bergsten 2006). På grund av gynnsamma fuktförhållanden är inblandning av mossa ett bättre växtsubstrat än ren mineraljord vid återkolonisation av renlav (Roturier et al. 2007). Hård konkurrens från övrig hyggesvegetation är negativ för återkoloniseringen av renlaven och harven resulterade i denna studie i en snabbare återkolonisering av risväxter, framför allt ljung, vilket kan ha påverkat återetableringen av renlavar negativt.

Det finns flera tänkbara orsaker till att en, i jämförelse med andra studier, låg skadefrekvens på lågor påvisades. Exempelvis kan det vara så att det funnits skador på lågor som inte längre syntes då nedbrytningen av den döda veden runt skadan kommit så långt att skadan inte längre syntes. En del lågor kan även ha varit lågor som tillkommit efter tidpunkten för markberedning då högstubbar och kvarlämnade träd efter avverkningen blåst ner, vilket kan ha sänkt skadefrekvensen. Det kan finnas flera tänkbara orsaker än markberedningsmetod till antalet skadade lågor. Till exempel är det tänkbart att lågornas storlek och antalet lågor per ytenhet är kopplade till skadefrekvensen. Vid denna inventering var tätheten av lågor per hektar väldigt snarlik mellan markberedningsmetoderna, vilket talar för att tätheten av lågor mellan markberedningsmetoderna inte påverkat resultatet åt något håll.

Magnusson (2015) påvisade att grävmaskinen skapade signifikant fler planteringspunkter jämfört med harven. Grävmarkberedning resulterade även i fler planteringspunkter av hög kvalitet med mineraljord på humus, ca 45 % av alla planteringspunkter totalt jämfört med 21 % för harv. Det större antalet godkända planteringspunkter som grävmarkberedningen resulterar i, samt det ökade antalet optimala planteringspunkter på omvänd torva är sannolikt orsaken till den ökade planttillväxten på grävmarkberedda ytor. Ett tillräckligt stort antal planteringspunkter av godkänt kvalitet har sannolikt även bidragit till högre överlevnad, vilket kan vara en orsak till det högre antalet huvudstammar per hektar för grävmarkberedning. Det var under fältinventeringen tydligt att harven haft svårt att skapa planteringspunkter kring hinder, till exempel stora block och lågor, som maskinen behövt köra runt. Flertalet av provytorna i harvade block hade större luckor i föryngringen, oftast i närheten av större hinder där harven inte kommit åt att markbereda. Överlevnaden hos planterade plantor i dessa luckor har sannolikt

varit låg, alternativt om luckorna inte planterats i brist på bra planteringspunkter. I provytorna inom grävmarkberedda block syntes det tydligt att grävmaskinen lyckats skapa planteringspunkter intill dessa större hinder och det var inte lika frekvent stora luckor utan träd i dessa provytor.

Lövuppslaget var generellt lågt på de studerade trakterna, sannolikt på grund av relativt magra och torra marker (Saksa 2013, Holmström et al. 2017). Trots fler huvudstammar per hektar efter en tilltänkt röjning och en något högre tillväxt blev inte nuvärdet högre för grävmarkberedning. Differensen i nuvärdet över en omloppstid mellan markberedningsmetoderna var dock mindre än differensen i markberedningskostnad. Och vid låg ränta, 1 %, visade ett av bestånden som grävmarkberetts högre nuvärde än det harvade. Differensen i nuvärde mellan markberedningsmetoderna vid normal räntenivå, 3 %, var relativt små. Känslighetsanalysen för markberedningskostnaden visar att en 25 % reduktion av grävmarkberedningens kostnad per hektar skulle innebära samma nuvärde för respektive markberedningsmetod. Känslighetsanalysen sett till antalet röstammar visar att en relativt stor ökning (ungefär 5000 fler röstammar per hektar till följd av harvning jämfört med grävmarkberedning) behövs för att i en ungskogsröjning vid två meters medelhöjd vara avgörande till harvningens nackdel sett till nuvärde (vid 3 % ränta).

Endast sett ur en ekonomisk synvinkel finner jag det inte motiverat att på blockrik mark investera i grävmarkberedning framför harvning. Detta så länge prisbilden mellan markberedningsmetoderna skiljer sig som i dagsläget. I ett bredare perspektiv finns dock flera faktorer som kan tala för att välja grävmarkberedning framför harvning på blockrika marker. För skogsföretag som Stora Enso med egen industri och vidareförädling av virket finns ett mervärde i den högre virkesproduktionen som föryngringar markberedda med grävmarkberedning tycks ge över en hel omloppstid. Ur naturvärdessynpunkt är en lägre andel störd mark är att föredra, framför allt på lavrika marker (Roturier & Bergsten 2006). Andra faktorer som kan tala för grävmaskin på blockrika marker är en jämfört med harvning förbättrad arbetsmiljö för maskinförarna. Dessutom ger grävmaskinen möjlighet att utföra andra åtgärder på trakten som kan vara aktuella efter en avverkning. Det kan till exempel vara lagningsarbeten på vägar och terrängen samt dikesrensning. Att kunna utföra sådana åtgärder med samma maskin som markbereder kan också påverka den slutgiltiga kostnaden genom att reducera antalet maskinflyttar.

4.4 Styrkor och svagheter

De områden inom trakterna som markberetts med respektive metod var slumpmässigt utvalda på trakt 1 och 2, men inte trakt 3 och 4 varför ett antagande om fullständig randomisering inte kunde göras. Att båda markberedningsmetoderna utförts på samma trakt medför att skillnaderna i de ståndortsegenskaper som är avgörande för trädutväxten är minimala, vilket borgar för ett rättvisande resultat. Även skillnader i andra faktorer som kan påverka överlevnad och tillväxt, till exempel skadetryck från snytbagge, planttyp och proveniens (Örlander & Nordlander 1998, Johansson et al. 2015) har sannolikt också varit så likartade som möjligt mellan de delar på samma trakt som markberetts med respektive markberedningsmetod. Det finns även flertalet andra utomstående faktorer som kan påverka överlevnad och tillväxten hos planterade plantor. Till exempel spelar plantörens kompetens en viktig roll i förmågan att välja den bästa planteringspunkten, utföra plantvård samt sortera bort dåliga plantor (Hallsby 2013). Hur planteringspunkterna använts vid planteringen är svårt att avgöra flera år efter plantering och har inte undersökts i detta arbete.

Ståndortsegenskaperna de olika trakterna jämfört med varandra var relativt lika. Hade ståndortsegenskaperna varit mer diversifierade mellan trakterna hade det möjliggjort att kunna dra slutsatser kring hur olika ståndortsegenskaper påverkar tillväxten mellan de båda markberedningsmetoderna.

Det finns en brist i inventeringsmetoden för markstörning i och med att inventeringen endast skett en relativt lång tid efter markberedning. Detta då botten- och fältskikt återhämtat sig och det därför bitvis var svårt att avgöra om marken varit störd eller ej. Det hade varit fördelaktigt att som tillägg till denna inventering ha inventerat markskiktet både innan och direkt efter markberedningen för att ha en referens hur vegetationen såg ut innan samt ha ett mer säkert resultat angående arealen störd mark. Att skador på lågor endast inventerats efter markberedning i denna studie är en brist. Det går därför inte att avgöra om skadorna orsakats av maskiner under avverkningen eller av under markberedningen. Magnussons (2015) inventering av skador på lågor finns som referens på trakt 1 och 2 och med tanke på den stora skillnaden i resultat finns anledning att ifrågasätta tillförlitligheten i inventeringsmetoden. Den största osäkerheten i denna inventering finns i tidsspannet mellan markberedning och inventering. Som tidigare diskuterats kan lågor ha tillkommit efter markberedning samt att nedbrytningen av lågorna kan ha påverkat möjligheten att upptäcka tidigare skador.

Valet av huvudstammar respektive bistämmor gjordes subjektivt med stöd av Stora Enso's röjningsinstruktion (Stora Enso 2020b). Subjektiva inventeringar riskerar alltid att ha brister. Valet av huvudstammar vid en röjning görs dock alltid

subjektivt av rójaren. Valet av huvudstammar stämmer därför troligtvis relativt väl överens med de val av huvudstammar som en rójare gör i en framtida rójning av de inventerade bestånden. Eftersom huvudstammarna valdes subjektivt kan det träddata som simulerades i Heureka Standwise därför delvis bestå av data från träd som inte kommer finnas med i beståndet efter rójning. Eftersom Heureka Standwise inte kan ta hänsyn till den spatiala fördelningen mellan stammar eller dess kvalitet vid val av huvudstammar bedömer jag det som säkrare att valet av huvudstammar gjordes subjektivt och att endast data om tilltänkta huvudstammar fördes in i Heureka Standwise. Detta jämfört med att låta Heureka Standwise simulera beståndsutvecklingen med beståndsdata innan en tilltänkt rójning.

4.5 Framtida studier

Stenig och blockrik terräng med svår ytstruktur påverkar både arbetsmiljön för maskinföraren och slitaget på maskinerna. Det kan därför vara motiverat att i framtiden jämföra förarnas arbetsmiljö och slitagekostnader på maskiner för de båda markberedningsmetoderna. Jag finner det även motiverat att jämföra tillväxtskillnader i föryngringar markberedda med de båda markberedningsmetoderna på trakter med ett vidare spann av traktegenskaper, till exempel markfuktighet och bonitet. Magnusson (2015) drog slutsatsen att plantering utan markberedning skulle kunna vara ett alternativ på denna typ av blockrik mark då tillgången på användbara planteringspunkter är relativt god även utan markberedning. Ekonomin i sådana föryngringar som inte föregåtts markberedning har inte undersökts i denna studie. Det finns även ytterligare aspekter kopplat till de båda markberedningsmetodernas påverkan på natur- och övriga miljövärden, däribland påverkan på vatten och kultur- samt fornlämningar.

4.6 Slutsatser

Efter att ha jämfört föryngringar markberedda med harvning kontra grävmarkberedning på blockrik mark och undersökt naturvärdespåverkan, tillväxt och ekonomi kan följande slutsatser göras:

- Den främsta skillnaden i naturvärdespåverkan mellan markberedningsmetoderna är arealen markstörning de orsakar och hur vegetationen återhämtar sig. Den del av markytan som efter 8–10 år kan bedömas ha varit störd av markberedning är lägre för grävmarkberedning kontra harvning. Det finns en skillnad mellan markberedningsmetoderna hur den mark som varit störd återkoloniserats. Det finns i föreliggande studie inget stöd för att mångfalden av trädslag eller andelen skadade lågor

i ungskogar markberedda med respektive markberedningsmetod skiljer sig åt.

- Grävmarkberedning ger enligt studien fler huvudstammar per hektar av barrträd i röjningsfasen. Därtill resulterar grävmarkberedning i en något högre ackumulerad- och löpande träd tillväxt sett till diameter, höjd och toppskottslängd jämfört med harvning. Studien ger inget stöd för någon skillnad i antalet röstammar mellan markberedningsmetoderna.
- Skillnad i nuvärde över en hel omloppstid mellan bestånd markberedda med respektive markberedningsmetoderna är relativt små vid normala räntenivåer, dock generellt högre för harvning.
- En något ändrad prisbild mellan markberedningsmetoderna och, eller, en ökad framtida röjningskostnad för harvning kan avgöra nuvärdet till fördel för grävmarkberedning.

Referenser

- Andersson, S.-O. (1976). En studie av miljöns betydelse för granplantors tillväxt på ett hygge i östra Svealand. Institutionen för skogsskötsel, Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser (1976:8). Stockholm.
- Anon. (1991). SLA Norr. Prestationsprognos för motormanuell röjning eller förrensning. Arbetsblankett.
- Bengtsson, A. (2017). Skonsam markberedning för virkesproduktion och andra ekosystemtjänster. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (2017:8) Umeå.
- Berg, S. (1982). Terrängtypsschema för skogsarbete. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Skogforsk. Gävle.
- Bergstrand, K-E, Lindman, J. & Petré, E. (1986). Underlag för prestationsmål för motormanuell röjning. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse Nr 7: sid. 8.
- Bäcke, J., Larsson, M., Lundmark, J.E. & Örlander, G. (1986). Ståndortsanpassad markberedning – teoretisk analys av några markberedningsprinciper. Redogörelse nr 3. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten. Uppsala.
- Dehlin, H., Nilsson, M., Wardle, D. & Shevtsova, A. (2004). Effects of shading and humus fertility on growth, competition, and ectomycorrhizal colonization of boreal forest tree seedlings. *Canadian journal of forest research*, 34 (12), 2573–2586.
- Edholm, A. (2012). Kartläggning av markberedning i svår terräng på SCA Skog. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsmästarprogrammet (2012:10). Skinnskatteberg.
- Folkesson, B. & Barring, U. (1982). Exempel på en riklig björkförekomst inverkan på utvecklingen av unga tall- och granbestånd i norra Sverige. Rapport 1. Sveriges lantbruksuniversitet, avdelningen för skoglig herbiologi. Uppsala.

- Fries, C. (1993). Development of planted *Pinus sylvestris* and *P. contorta* after soil preparation in a northern climate. *Scandinavian journal of forest research*, 8 (1), 73-80.
- Frölén, D. (2019). *Markberedarnas tekniska utveckling*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (2019:6). Umeå.
- Hallsby, G. (2013). *Plantering av barrträd*. Skogsskötselserien nr 3. Skogsstyrelsen. Jönköping.
- Hansson, L., George, M. R. & Gärdenäs, A. (2014). *Markberedning i svenskt skogsbruk nu och i framtiden med fokus på miljökonsekvenser*. Litteraturstudie och expertintervjuer med Skogsstyrelsen. (CLEOrapport D1.2.2) Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för Mark och Miljö. Uppsala.
- Hjelm, K., Nilsson, U., Johansson, U. & Nordin, P. (2019). Effects of mechanical site preparation and slash removal on long-term productivity of conifer plantations in Sweden. *Canadian journal of forest research*, 49 (10), 1311–1319.
- Holmström, E., Karlsson, M. & Nilsson, U. (2017). Modelling birch seed supply and seedling establishment during forest regeneration. *Ecological modelling*, 352, 31–39.
- Hyytiäinen, K., Tahvonen, O. & Valsta, L. (2005). Optimum juvenile density, harvesting and stand structure in even-aged Scots pine stands. *Forest Science* 51(2): 120–133.
- Hyytiäinen, K., Ilomäki, S., Mäkelä, A. & Kinnunen, K. (2006). Economic analysis of stand establishment for Scots pine. *Canadian journal of forest research*, 36 (5), 1179–1189.
- Johansson, K., Nilsson, U. & Örlander, G. (2013). Comparison of long-term effects of scarification methods on the establishment of Norway spruce. *Forestry*, 86 (1), 91–98.
- Johansson, K., Hajek, J., Sjölin, O. & Normark, E. (2015). Early performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* - a comparison between seedling size, species, and geographic location of the planting site. *Scandinavian journal of forest research*, 30 (5), 388–400.
- Johansson, M. (2016). *Markberedning i brant och stenig terräng: en jämförande studie mellan markberedning med harv, grävmaskin och spadförsedd skördare*. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogens biomaterial och teknologi (2016:14). Umeå.

- Lundmark, J-E. (2006). Val av markberedningsmetod med hänsyn till markegenskaperna. Ståndortsanpassad markberedning. Inledningsanförande vid NSFP-temadag i Tammerfors, 23 mars 2006.
- Löf, M., Ersson, B.T., Hjältén, J. & Nordfjell, T., Oliet, J.A. & Willoughby I. (2016). Site Preparation Techniques for Forest Restoration. In: Stanturf, J.A (ed). Restoration of Boreal and Temperate Forests. Second edition. CRC press, Taylor & Francis Group.
- Mäkitalo, K. (1999). Effect of site preparation and reforestation method on survival and height growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1999, 14 (6), 512-525.
- Nilsson, U. & Hällgren, J.-E. (1993). Changes in growth allocation owing to competition for light in young fertilized Norway spruce trees. *Forest ecology and management*, 62 (1), 157–172.
- Nordlander, G., Hellqvist, C., Johansson, K. & Nordenhem, H. (2011). Regeneration of European boreal forests: Effectiveness of measures against seedling mortality caused by the pine weevil *Hylobius abietis*. *Forest ecology and management*, 262 (12), 2354–2363.
- Odin, H. (1969). Hyggesstruktur och mikroklimat. Särtryck från kurskompendium 1969: Föryngringsfrågor i det mekaniserade skogsbruket. Sveriges Jägmästares och Forstmästares Riksförbunds Fortbildnings AB & Institutionen för skogsföryngring.
- Petersson, M. & Örlander, G. (2003). Effectiveness of combinations of shelterwood, scarification, and feeding barriers to reduce pine weevil damage. *Canadian journal of forest research*, 33 (1), 64–73.
- Roturier, S. & Bergsten, U. (2006). Influence of soil scarification on reindeer foraging and damage to planted *Pinus sylvestris* seedlings. *Scandinavian journal of forest research*, 21 (3), 209–220.
- Roturier, S., Bäcklund, S., Sundén, M. & Bergsten, U. (2007). Influence of ground substrate on establishment of reindeer lichen after artificial dispersal. *Silva fennica*, 41 (2), 269–280.
- Saksa, T., Nerg, J. & Tuovinen, J. (1990). State of 3–8 years old Scots pine and Norway spruce plantations. *Folia Forestalia* 753, 1-30.

- Saksa T. (2013). Regeneration after stump harvesting in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 290: 79–8.
- Samuelsson, D. & Wiik, M. (2020). Kostnadsanalys och kvalitetskontroll av markberedning på blockiga/steniga marker. Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsmästarprogrammet (2020:29). Skinnskatteberg.
- SFS 1979:429. Skogsvårdslag. Näringsdepartementet.
- Sikström, U., Hjelm, K., Hanssen, K.H., Saksa, T. & Wallertz, K. (2020). Influence of mechanical site preparation on regeneration success of planted conifers in clearcuts in Fennoscandia - a review. *Silva fennica*, 54 (2).
- Skogsstyrelsen (2020a). Åtgärder i skogsbruket. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/atgarder-i-skogsbruket/> [2022-08-22].
- Skogsstyrelsen (2020b). Kostnader i det storskaliga skogsbruket 2020: Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/statistik/statistiska-meddelanden/jo0307-statistiska-meddelanden-kostnader-i-det-storskaliga-skogsbruket-2020.pdf> [2022-08-22].
- Skogsstyrelsen (2022). Minskad andel godkända förnygringar. Tillgänglig: <https://www.skogsstyrelsen.se/nyhetslista/minskad-andel-godkanda-fornygringar/> [2022-08-22].
- Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU. (2020). Ytblockighet. Tillgänglig: <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/markinfo/markprofil/ytblockighet/> [2020-08-10]
- Stora Enso (2022). Prislister H822-1A & H122-3A.
- Stora Enso (2020a). Miljöhänsyn vid avverkning. Falun. Tillgänglig: https://forest.storaenso.com/-/media/sub-sites/forest/documents/miljohansyn_vid_avverkning.pdf
- Stora Enso (2020b). Röjningsinstruktion.
- Sörensen, R., Johansson, F., Johanneson, T., Eliasson, L., Hajek, J. & Bergkvist, I. (2019). Utvärdering av markberedningsmetoden pytsning. Skogforsk. Arbetsrapport nr 21-2019.

- Uotila, K., Rantala, J., Saksa, T. & Harstela, P. (2010). Effect of soil preparation method on economic result of Norway spruce regeneration chain. *Silva fennica* (Helsinki, Finland: 1967), 44 (3).
- Webb, E.T. 1998. Survival, persistence, and regeneration of the reindeer lichen, *Cladina stellaris*, *C. rangiferina* and *C. mitis* following clearcut logging and forest fire in northwestern Ontario. *Rangifer*, Special issue 10: 41–47.
- Weslien, J-O & Westerfelt, P. (2017). Drivning och markberedning slår hårt mot död ved. *Skogforsk*. Nr 49-2017.
- Örlander, G., Gemmel, P. & Hunt, J., (1990). Site preparation: A Swedish overview, FRDA Report (105).
- Örlander, G., & Norlander, G., (1998). Skärmar, markberedning och andra skogsskötselåtgärder - kan de minska snytbaggeskadorna? *Kungliga Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift*, 137(15), 59-69. Stockholm.

Personlig kommunikation

- Stattin, Eva (2022). Föryngringsspecialist Stora Enso.

Bilaga 1 Inventeringsblankett

Trakt	
Block/Provyte-ID	
GYL	
MB	
SI	
Vegtyp	
Jordart	
Antal lågor (varav skadade)	

Trädart	H/B	Dia (mm)	Höjd (dm)	Toppskott (cm)

Fritext