



Maskinell plantering med Plantma X

– Terrängegenskapernas påverkan på planteringsmaskinens planteringsresultat

*Mechanized tree planting with the Plantma X planting machine
– the impact of terrain factors on planting quality*

Linnea Tysklind



Examensarbete 30 hp

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU

Skogens biomaterial och teknologi

Jägmästarprogrammet

Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, 2021:7

Umeå 2021

Maskinell plantering med Plantma X

– Terrängegenskapernas påverkan på planteringsmaskinens planteringsresultat

Mechanized tree planting with the Plantma X planting machine -the impact of terrain factors on planting quality

Linnea Tysklind

Handledare: Back Tomas Ersson, universitetslektor, SLU Skogsmästarskolan
Sveriges lantbruksuniversitet

Bitr. handledare:

Bitr. handledare:

Examinator: Tomas Nordfjell, professor, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi, Sveriges lantbruksuniversitet

Omfattning: Examensarbete 30 hp

Nivå och fördjupning: Avancerad nivå A2E

Kurstitel: Mastersarbete i skogskunskap

Kurskod: EX0956

Program/utbildning: Jägmästarprogrammet

Kursansvarig inst.: Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Utgivningsort: Umeå

Utgivningsår: 2021

Omslagsbild: Linnea Tysklind

Serietitel: Rapport från Institutionen för skogens biomaterial och teknolog

Delnummer i serien: 2021:7

Nyckelord: Mekaniserad plantering, kontinuerligt framryckande, planteringspunkt, produktivitet, blockkvot, stubbtäthet, humustjocklek

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens biomaterial och teknologi

Sammanfattning

Utbudet av arbetskraft för manuell plantering minskar, vilket har föranlett att en ny planteringsmaskin har utvecklats med mål att i framtiden kunna ersätta den manuella planteringen av skogsplantor. Genomgående för tidigare kontinuerligt framryckande planteringsmaskiner har varit att planteringsresultatet varit för dåligt, samt att de inte klarat av att plantera i svår terräng. Dåliga planteringsresultat medförde höga kostnader för att skapa godkända föryngringar, och cirka år 2000 lades det sista kontinuerligt framryckande projektet ned. Idag finns en ny kontinuerligt framryckande maskin, Plantma X, som under 2020 planterat på Sveaskogs marker i Bergslagen och södra Norrland.

Syftet med studien var att utvärdera planteringsresultatet från trakterna i Härjedalen som planterades med Plantma X, med hänsyn till terrängegenskaperna blockkvot, stubbtäthet och humustjocklek, samt att jämföra planteringsresultatet med manuell plantering. Ett delsyfte var även att undersöka hur andelen godkända plantor per hektar påverkar den teoretiska produktiviteten för Plantma X. Ett ytterligare delsyfte var att undersöka hur teknisk utnyttjandegrad (TU), traktstorlek och målstamantal påverkar planteringskostnaden för Plantma X i relativ kostnad per hektar.

Studien utfördes under hösten 2020 och omfattade totalt sju trakter planterade med Plantma X och tre manuellt planterade trakter. Fältinventeringen bestod i bedömning av planteringspunkt och inventering av terrängegenskaper.

Resultatet visar att andelen underkända plantor var 38 % på trakter planterade med Plantma X jämfört med 29 % på de manuellt planterade. Ingen av de enskilda terrängfaktorerna hade någon signifikant påverkan på planteringsresultatet för Plantma X, men ökande stubbtäthet och humustjocklek hade tillsammans en signifikant negativ påverkan.

Slutsatser från denna studie är att kombinationen av ökad stubbtäthet och humustjocklek har en negativ påverkan på planteringsresultatet. Enligt fältstudien var andelen godkända plantor under hösten 2020 relativt låg för Plantma X, och att dess planteringsresultat var sämre än manuell plantering under likartade förhållanden. Plantma X har dock en hög produktivitet och stor utvecklingspotential, men maskinen måste utvärderas mer och helst bestyckas med sensorer som kan hjälpa planteringsarmarna att hitta bättre planteringspunkter.

Nyckelord: Mekaniserad plantering, kontinuerligt framryckande, planteringspunkt, produktivitet, blockkvot, stubbtäthet, humustjocklek

Abstract

The supply of labour for manual planting is decreasing. This situation has led to the development of a new tree planting machine. Previous continuously advancing tree planting machines have planted seedlings poorly, and they have not been able to plant in difficult terrain. Poor planting results led to high costs for adequate regenerations, and around the year 2000, the last continuously advancing planting machine ceased operation. Today, there is a new continuously advancing machine, Plantma X, which in 2020 has been planted seedlings on Sveaskog's forestland in Bergslagen and southern Norrland.

The objective of this study was to evaluate the tree planting results on tracts in Härjedalen that were planted with Plantma X, with regard to the terrain properties boulder quota, stump density and humus thickness, and to compare the planting results with manual planting. A secondary objective was to investigate how the proportion of approved seedlings per hectare affects the theoretical productivity of Plantma X. A tertiary objective was to investigate how the mechanical availability (MA), tract size, and target stocking rate affect the planting cost for Plantma X in relative cost per hectare.

The study was carried out in the autumn of 2020 and included a total of seven tracts planted with Plantma X and three manually planted tracts. The field work consisted of an assessment of planting spots and an inventory of terrain characteristics.

The results show that the proportion of inadequate seedlings was 38% on tracts planted with Plantma X compared with 29% on the manually planted tracts. None of the individual terrain factors had any significant impact on the planting results of Plantma X, but increased stump density and humus thickness together had a significant negative impact.

Conclusions from this study are that the combination of increased stump density and humus thickness has a negative impact on the planting result. According to the field study, the proportion of approved seedlings in the autumn of 2020 was relatively low for Plantma X, and that its planting results were poorer than manual planting under similar conditions. However, Plantma X is highly productive and has great development potential. However, the machine must be further assessed, and preferably be equipped with sensors that can help the planting arms to find better planting spots.

Keywords: Mechanical tree planting, continuously advancing, planting spot, productivity, boulder quota, stump density, humus thickness

Förord

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Back Tomas Ersson som genom sitt stora engagemang varit ett viktigt stöd och till stor hjälp för mig under arbetet.

Jag vill även tacka Svenska Skogsplantor AB, Sveaskog och Grangärde Konsult för att jag fick förtroendet att utföra studien, framförallt Ebba Okfors vid Svenska Skogsplantor AB som varit till stor hjälp med material för arbetet.

Till sist vill jag även tacka Tomas Kolmodin på Vallsta skogsmaskiner AB för hjälp och stöd med material till arbetet.

Borlänge, mars 2021

Linnea Tysklind

Innehållsförteckning

1. Inledning	10
1.1. Föryngring av skog	10
1.1.1. Skogsplanteringsmaskinens historia	11
1.1.2. Silva Nova	11
1.1.3. Kategorisering av planteringsmaskiner	12
1.1.4. Biologiska effekter av maskinell plantering	13
1.1.5. Plantmatningen på Silva Nova	13
1.1.6. Plantsättningen med Silva Nova	13
1.1.7. Optimal planteringspunkt	14
1.1.8. Svårigheter och begränsningar med planteringsmaskiner	16
1.2. Plantma X	16
1.3. Tidigare studier	19
1.4. Syfte	19
2. METOD OCH MATERIAL	20
2.1. Vetenskaplig metod	20
2.2. Försökslokaler	20
2.3. Utläggning av provytor och bedömning av terrängegenskaper	22
2.3.1. Inventering	22
2.3.2. Bedömning av terräng	23
2.4. Traktegenskaper	24
2.5. Analys av insamlad data	25
2.6. Produktivitets- och kostnadsanalys	26
3. Resultat	28
3.1. Planteringsresultat med Plantma X	28
3.2. Terrängfaktorernas påverkan på Plantma X planteringsresultat	29
3.3. Manuell plantering	31
3.4. Jämförelse mellan Plantma X och manuell plantering	33
3.5. Produktivitets- och kostnadsanalys	35
4. Diskussion	40

4.1.	Huvudresultatet	40
4.2.	Jämförelse med befintlig kunskap	40
4.3.	Nya kunskaper från studien	42
4.4.	Styrkor och svagheter.....	42
4.5.	Behov av fortsatt forskning	44
4.6.	Slutsatser	44
	Referenser.....	45
5.	Bilagor	47
5.1.	Bilaga 1 –Inventeringsblanketter	47
5.2.	Bilaga 2.....	49
5.3.	Bilaga 3.....	51
5.4.	Bilaga 4.....	52
5.5.	Bilaga 5.....	53
5.5.1.	Formelsamling som använts för kostnadsanalys.....	53
5.5.2.	Uppställning av beräknade data i Excel som användes för framställandet av modeller till kostnadsanalysen.....	54

1. Inledning

1.1. Föryngring av skog

Skogsföryngringen i Sverige sker idag huvudsakligen med hjälp av en markberedning med efterföljande plantering. Planteringen kan ske manuellt eller maskinellt, där det förstnämnda är det vanligaste. Av de 350-400 miljoner plantor som årligen planteras i Sverige planteras bara en bråkdel av dessa maskinellt (Hallsby 2013).

Under 1960-talet minskade tillgången på arbetskraft och den befarades att fortsätta sjunka (Hallonborg 1997). Bristen på arbetskraft blev därmed drivkraften för mekaniseringen av skogsplantering (Hallonborg et al. 1995), under mitten av 1960-talet utvecklades de första planteringsmaskinerna i Sverige och sedan dess har utvecklingen av nya maskiner fortsatt i ett försök att rationalisera skogsbruket (Hallonborg et al. 1995; Ersson 2010). Konceptet kulminerade under slutet av 1980-talet när planteringsmaskinen Silva Nova togs fram (Ersson 2010).

Förutom bristen på arbetskraft har även ekonomin varit en drivkraft för rationaliseringen (Hallonborg et al. 1995; Ersson 2010). Enligt data från Skogforsk (2015-2019) är plantering den dyraste skogsvårdsåtgärden både i norra och södra Sverige, men kostnaderna är något större i söder varje år. Planteringskostnaderna har ökat i södra Sverige med 8 % från 2015 till 2019 och med 9 % i norra Sverige under samma tidsperiod. Planteringskostnaderna består av arbetskraftskostnader (löner) och plantkostnader (Skogforsk 2020). För att minska behovet av arbetskraft och minska risken att urholka skogsbrukets netto, har en planteringsmaskin utvecklats i ett försök att mekanisera skogsplanteringen (Hallonborg et al. 1995; SCA 2020).

1.1.1. Skogsplanteringsmaskinens historia

I början av 1900-talet började planteringsmaskiner att tillverkas i bland annat Nordamerika och Europa men det var inte förrän på 1960-talet som utvecklingen verkligen tog fart (Stjernberg 1985; Ersson 2010). Den första svenska planteringsmaskinen började ta form under år 1965 i ett program som gick under namnet SHS-ÖSA. Maskinen gjorde plogfårar som planterades både kontinuerligt och intermittent, där den sistnämnda var den enda metoden som gav ett godtagbart planteringsresultat. Utvecklingen gick vidare och några år senare skapades DORO-planter som byggde på en skotare där planteringsaggregatet var hjulburet och drogs bakom maskinen. Plantmatningen skedde automatiskt och plantörens arbete bestod av att ladda utmatningen med nya plantor samt att slänga tomma kassetter. En kassett är en plastförpackning som plantorna sitter i när de kommer från plantskolan.

Till en början användes en intermittent markberedningsmetod men senare övergick DORO-plantern till att arbeta kontinuerligt med harvar (Hallonborg 1991). I slutet av 1970-talet byggdes Serlachius planteringsmaskin. Denna maskin var mycket avancerad och krävde endast en operatör till skillnad från tidigare maskiner (Ersson 2010). Basmaskinen var en skotare med fräsar, som drevs av hydraulik, fästade mellan boggi och framhjulen. Serlachius nådde en relativt hög produktivitet på 1100 plantor per timme, dock föll konceptet på att markberedningen inte blev bra på risiga hyggen, samt att en person var tvungen att gå bakom för att rätta till plantor som planterats åt fel håll eller på fel punkter (Ersson 2010).

1.1.2. Silva Nova

Silva Nova (Figur 1) var ett projekt som startades i början på 1970-talet där målet var att ta fram en funktionell planteringsmaskin för konventionell skogsplantering (Hallonborg 1991). I början på 1990-talet lades projektet ner av flertalet anledningar. Maskinen hade för höga investeringskostnader och med de nya reglerna från 1970-talet blev avverkningstrakterna mindre, vilket gjorde att kostnaderna för maskinell plantering blev högre än för manuell eftersom flyttkostnaderna steg. Eftersom maskinen inte klarade av hård terräng, med mycket block och skarp lutning, var den tvungen att plantera på bra trakter, vilket många privata skogsägare menade var dåligt eftersom unga sommarjobbare fick slita för hårt på de dåliga trakterna. Plantöverlevnaden var lägre för de maskinellt planterade plantorna än för de manuellt planterade, och maskinen fick hårt motstånd från privata skogsägare eftersom flertalet plantor ofta hittats liggande ovan jord, dåligt tilltryckta, begravda eller dåligt placerade (Hallonborg 1995; Ersson 2010).

Markberedningen skedde med hjälp av harvtallrikar som var vinklade så att torvan vändes inåt under maskinen, därmed tryckte maskinen till torvan då den körde över den och gav en god planteringspunkt (Nyström 2000).



Figur 1. Silva Nova planteringsmaskinen (Foto: Bengt Andersson).

Figure 1. The Silva Nova tree planting machine.

1.1.3. Kategorisering av planteringsmaskiner

Planteringsmaskiner kategoriseras främst utefter vilken typ av framryckning de har, samt hur de är konstruerade. Planteringsmaskiner kan antingen framrycka kontinuerligt eller intermittent. Med kontinuerligt framryckande planteringsmaskin menas att maskinen ständigt är i rörelse och planterar med jämna mellanrum. Med intermittent framryckande planteringsmaskin menas att maskinen står still när den planterar och sedan rör sig till nästa punkt där den stannar och planterar. När grävmaskiner med kranspetsmonterade planteringsaggregat används så att plantering och markberedning sker "fläckvis" så använder maskinerna ett intermittent framryckning. Konstruktionen skiljer sig utifrån om maskinen är en komplett maskin som endast används i planterings syfte eller om det är ett aggregat som bärs av en annan maskin, tex skördare eller grävmaskin. (Ersson 2010).

1.1.4. Biologiska effekter av maskinell plantering

Maskinplantering med dagens kranspetsmonterade aggregat ger ett bra biologiskt resultat men jämfört med manuell plantering är produktiviteten generellt sett lägre (Ersson 2014). Det största problemet för dagens planteringsmaskiner är hur bra de klarar av terrängsvårigheten och därmed hur hög produktivitet de kan upprätthålla på svårare marker (Ersson 2010; Ersson 2014). Tilltryckningen samt planteringsdjupet är av stor betydelse för plantans överlevnad och därmed planteringsresultatet, dock tar tilltryckningen tid vilket minskar maskinens produktivitet (von Hofsten 1997a). En planta som planteras djupare tillväxer snabbare och klarar sig bättre om det blir en torr sommar (Luoranen och Viiri 2016).

Plantöverlevnaden var ca 10 % lägre för maskinell plantering med Silva Nova jämfört med manuell plantering enligt en jämförande studie utförd av Skogforsk under 1990-talet (von Hofsten 1997a). Antalet godkända plantor som planterats maskinellt blev lägre när högre krav ställdes på planteringspunkten, något som kunde förklaras med att maskinen var blind, och planterade plantor med jämna mellanrum där marken tillät. Inga samband kunde påträffas mellan överlevnad och ökade krav på planteringspunkt. Tillväxtskillnaden mellan manuellt planterade plantor och maskinellt planterade plantor var något bättre för den manuella (von Hofsten 1997a).

1.1.5. Plantmatningen på Silva Nova

Silva Nova bar med sig ett lager med plantor i dess bakre del och operatören som satt längst bak hade som uppgift att kontinuerligt förse maskinen med plantor. Detta gjordes genom att plantorna packades upp ur kassetterna och placerades i en plantkarusell på vardera sida. Plantkarusellen rörde sig på en räls och på signal från planteringsarmen matades karusellen fram ett hack och en planta matades ner i en slang med hjälp av tryckluft. Plantan åkte via röret ner i en tratt som ledde ner till själva planteringsröret och blev sedan planterad när röret fann en lämplig punkt efter spåret (Cormier och Ryans 1992).

1.1.6. Plantsättningen med Silva Nova

Plantsättningscykeln på Silva Novan började med att planteringsarmen rörde sig mot marken. Sedan trycktes planteringsröret ner i marken, och om djupet och planteringspunkten bedömdes vara acceptabel öppnades plantröret och plantan

planterades. Efter planteringen var utförd rörde sig planteringsarmen uppåt igen med hjälp av hydraulik, samtidigt som tilltryckningsplattor packade jorden runt plantan (Cormier och Ryans 1992). Svårigheten med Silva Novans plantering var att maskinen var “blind” vilket gjorde att den ibland accepterade planteringspunkten fast den egentligen inte borde, tex kunde plantan hamna i humus eller för grunt (von Hofsten 1997a), vilket medförde en dålig tilltryckning (Cormier och Ryans 1992; Hallonborg 1997) och risk för uttorkning och snytbaggeangrepp (Ersson 2014). En dålig tilltryckning eller för grund plantering ökar risken för uttorkning eftersom vattnet inte lika lätt kan nå plantans rötter (Malmberg 1990).

1.1.7. Optimal planteringspunkt

En optimal planteringspunkt för barrträd är i en omvänd torva med ett lager av mineraljord ovanpå (Figur 2).



Figur 2. En optimal planteringspunkt i en omvänd torva med ett täcke av mineraljord ovanpå humustorvan (Bild: Sveaskog).

Figure 2. An optimal planting spot comprising a cover of mineral soil over buried humus.

Plantan kan även placeras direkt i mineraljorden i tex ett harvspår om ingen acceptabel omvänd torva finns (SCA 2019; Figur 3).



Figur 3. En planteringspunkt direkt i mineraljorden, tex i ett harvspår (Bild: Sveaskog).

Figure 3. A planting spot directly in the mineral soil, for example in a trenching furrow.

Plantan ska placeras 10 cm från humuskanten för att få ett bra skydd mot snytbagge (Figur 4). Plantan bör ha kontakt med mineraljord för att undvika uttorkning som lätt sker om plantan planteras i enbart humus. Vid plantering av barrträd bör vissa platser undvikas, punkter inom fuktiga partier eller inom 10 meter från naturliga vattendrag bör ej planteras. Plantan bör ej planteras under ris eller träd som lämnats kvar efter avverkningen då de riskerar att hamna i skugga. Varje planta ska ha minst 1 meters mellanrum till nästa planta (Sveaskog 2020). På friska och fuktiga marker bör plantan planteras högt för att marken runt ska dräneras för att undvika syrebrist för rötterna. Plantan bör även planteras djupt då torvklumpen inte får vara synlig efter planteringen, vilket kräver större storlekar på plantorna för att de inte ska begravas (Ersson 2010).



Figur 4. En välplanterad planta i mineraljord och med god tilltryckning och djup. Märkena från planteringsarmarnas tilltryckningsplattor syns tydligt i jorden. (Foto: Linnea Tysklind)

Figure 4. A well planted seedling in mineral soil with good soil compaction and planting depth. The marks from the planting arms' pressure plates are clearly visible in the surrounding soil.

Planteringsmaskiner i boreal skog planterar enbart täckrotsplantor, och en homogen storlek på plantorna underlättar planteringen (Ersson 2010). Tidigare forskning på Silva Novan visade exempelvis att gröndelen på plantorna skulle vara mellan 10–12 centimeter långa för att den maskinella planteringen ska fungera optimalt

(Nyström 2000), medan gröndelarna på plantor planterade av Bracke Planter helst bör vara 25–30 cm (Ersson et al. 2018).

1.1.8. Svårigheter och begränsningar med planteringsmaskiner

Den genomgående begränsningen för alla planteringsmaskinerna har varit problemet med att hålla en tillräckligt hög produktivitet samtidigt som planteringsresultatet varit godtagbart. Svårigheten har framför allt legat i att ta fram en maskin som klarat av att markbereda och skapa bra planteringspunkter på marker med varierande och svåra terrägegenskaper (Hallonborg 1995; Hallonborg 1997; Ersson 2010). Små trakter är svårare att uppnå en godtagbar kostnadseffektivitet på eftersom flyttkostnaderna blir höga och flyttarna tar lång tid (Hallonborg et al. 1995).

Det finns en stor potential för vidareutveckling av planteringsmaskinen och därmed goda chanser att höja produktiviteten (Ersson 2010; Ersson 2014; Hallonborg 1995). Fördelen som planteringsmaskinen har jämfört med manuell plantering med markberedning är att maskinens markberedning kan anpassas efter platsens egenskaper och därmed kan bättre planteringspunkter skapas (Malmberg 1990). Ibland skapar dock maskinen bra planteringspunkter som missas och istället planterar maskinen på en felaktig punkt (Hallonborg et al. 1995). Maskinen orkar även plantera på ett bra djup (Nyström 2000) hela dagen, jämfört med manuell plantering då arbetet är slitsamt och få människor orkar plantera djupt hela dagarna (Hallonborg et al. 1995; Ersson 2010).

1.2. Plantma X

Plantma X (Figur 5) är en planteringsmaskin som tagits fram av Grangärde Konsult, Innovation AB, ATEK Arvidsson Teknik, MidiFlex, Alftaprodukter och Grangärde Maskin i samarbete med Sveaskog och Svenska Skogsplantor AB (Andersson 2019; SCA 2020). Plantma X bygger på Silva Nova konceptet, även om Plantma X skiljer sig på många punkter. Maskinen är en prototyp och ska förhoppningsvis kunna bidra till att lösa den fortsatta bristen på arbetskraft för manuell plantering i Sverige. Plantma X markbereder med hjälp av harvtallrikar som är fästa i midjan på skotarchassit.



Figur 5. Planteringsmaskinen Plantma X på en av Sveaskogs trakter i södra Norrland. (Foto: Linnea Tysklind).

Figure 5. The Plantma X tree planting machine, on one of the Sveaskog's tracts in southern Norrland.

Planteringen med Plantma X sker med hjälp av två planteringsarmar med planteringsrör, så kallade plantkäppar, som är fästa i maskinens bakre del (SCA 2020). Maskinen kräver två operatörer, en som kör maskinen framåt och en som kontrollerar planteringen samt matar fram nya plantor (Andersson 2019). Plantorna transporteras i den bakre delen av maskinen och laddas manuellt. Plantorna faller från ett revolverband genom en tratt ner i planteringsröret. Ibland kan denna matning misslyckas vilket leder till att plantor ramlar bredvid och hamnar ovan jord (Figur 6.) När plantan är väl nere i planteringsröret sker plantsättningen på samma vis som det gjorde för Silva Novan (med hjälp av tryckluft), med skillnaden att även Silva Novans armar matades med hjälp av tryckluft (på Plantma X matas plantorna endast med hjälp av plantans egen tyngd).



Figur 6. Här har planteringsmaskinen missat att plantera en planta. Förmodligen har plantan vid laddning missat tratten till planteringsröret och ramlat bredvid på marken, vilket förklarar varför den ligger helt ovan jord (Foto: Linnea Tysklind).

Figure 6. Here the planting machine has failed to plant a seedling. The seedling has probably missed the funnel at the top of the planting tubes during seedling feeding of the planting dibbles, which explains why the seedling is lying completely above ground.

För att kunna anpassa planteringspunkten och planteringsdjupet är Plantma X utrustad med sensorer som kan känna av sten eller om marken är hård eller mjuk. Påträffas en sten eller om marken är för hård väljer planteringsarmarna en annan punkt. Är marken för mjuk måste planteringsarmarna anpassa planteringsdjupet så att inte plantorna planteras för djupt (SCA 2020). Plantma X togs i drift under våren 2020 och har planterat på Sveaskogs marker i södra och norra Bergslagen samt i södra Norrland. Plantma X lånades även ut till SCA under sommaren 2020 för testkörning på deras marker (SCA 2020).

1.3. Tidigare studier

Silva Nova är den mest jämförbara maskinen med Plantma X eftersom den har många likheter. Inga tidigare studier har gjorts på just Plantma X, vilket gör föreliggande studie extra intressant och viktig för att undersöka framtiden för denna nya planteringsmaskin.

1.4. Syfte

Syftet med examensarbetet var att utvärdera planteringsresultatet på hyggen som planterades med Plantma X under barmarkssäsongen (sommar/höst) 2020, med hänsyn till terrängegenskaperna blockkvot, stubbtäthet och humustjocklek på moränmark.

Ett delsyfte var även att jämföra Plantma X planteringsresultat med resultatet från manuellt planterade trakter med jämförbara egenskaper. Ett annat delsyfte var att undersöka hur andelen godkända plantor påverkar den teoretiska produktiviteten för Plantma X, i termer av antal godkända plantor per timme. Ett ytterligare delsyfte var att undersöka hur teknisk utnyttjandegrad (TU), traktstorlek och målet för antal planterade plantor per hektar påverkar den relativa planteringskostnaden för Plantma X per hektar.

2. METOD OCH MATERIAL

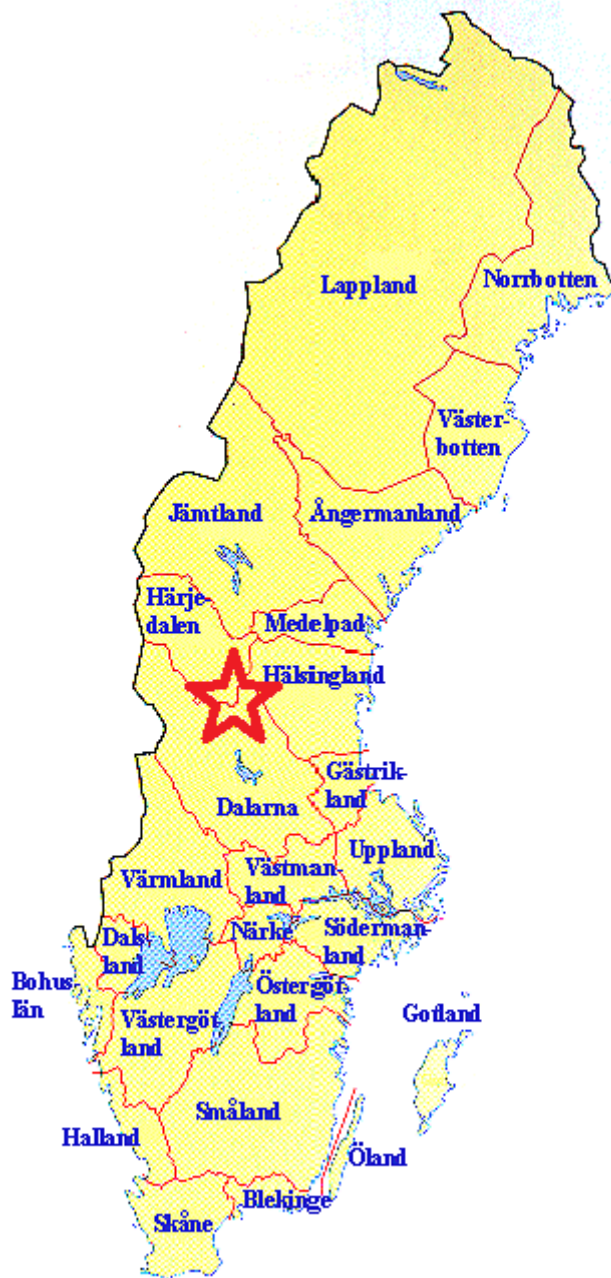
2.1. Vetenskaplig metod

Arbetet inleddes med litteraturstudier för att skapa en bakgrund till Plantma X:s utveckling och samla information om dess styrkor och svagheter med avseende på planteringsresultat och terrängegenskaper. Nästa steg i studien bestod av en plantinventering på trakter planterade med planteringsmaskinen Plantma X för att undersöka planteringsresultat i olika terränger. Tillsammans med insamlad information från inventeringen beräknades kostnader för maskinen till produktivitetsanalysen. Maskinens prestationer kommer att jämföras med Silva novas, eftersom det idag inte finns någon annan liknande maskin i bruk.

2.2. Försökslokaler

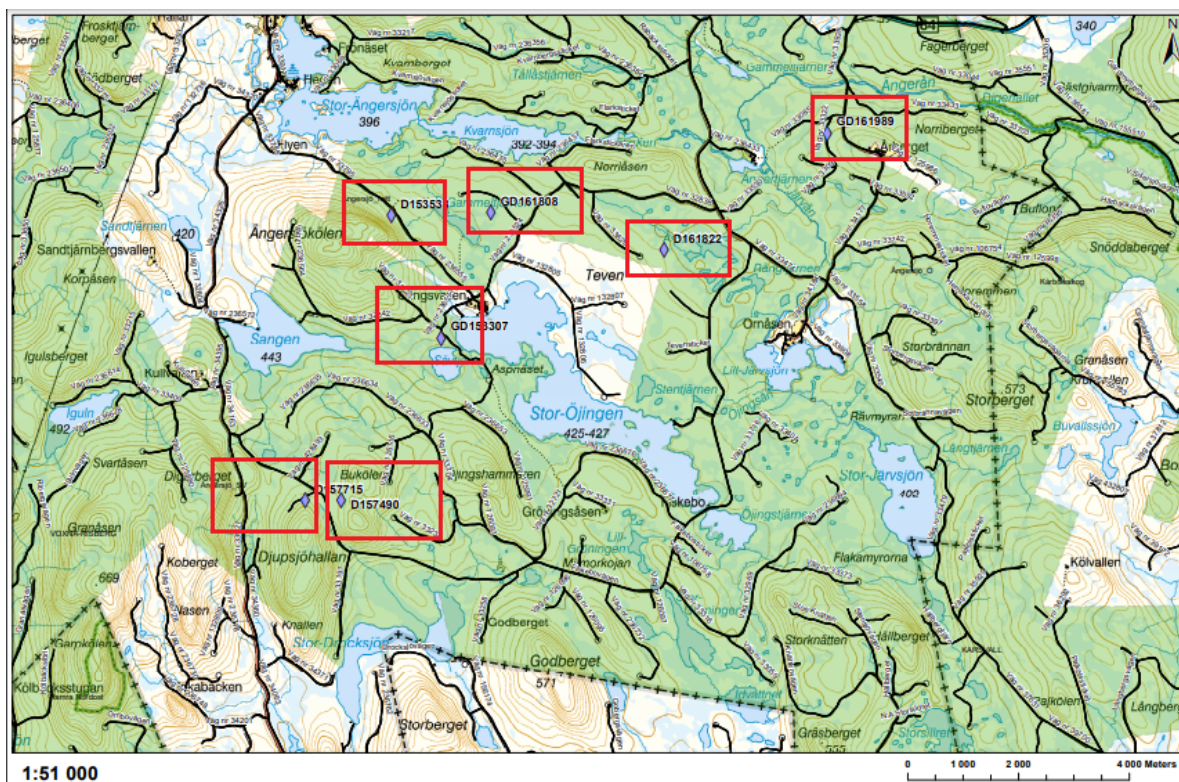
Maskinen har mestadels planterat på Sveaskogs marker i södra och norra bergslagen samt i södra Norrland. Till denna studie valdes trakterna i södra Norrland (Figur 7) för inventering där målet var att undersöka planteringsresultatet av Plantma X. Fokus lades på att undersöka hur den klarar av olika terrängegenskaper såsom blockighet, stubbtäthet, humustjocklek och markfuktighet

Fältinventeringen genomfördes i september- oktober 2020 på Sveaskogs marker i södra Norrland. Totalt inventerades 10 trakter varav 7 var maskinellt planterade (Figur 8) och 3 var planterade manuellt. Anledningen till den ojämna fördelningen mellan maskinella och manuella trakter berodde på att fokus låg på att samla in data för den maskinella planteringen samt tidsbrist för datainsamling om den manuella planteringen. De manuella trakterna inventerades för att kunna göra en konkret jämförelse av planteringskvalitet från manuell plantering kontra maskinell.



Figur 7. Karta över Sverige där stjärnan markerar området där inventeringen utfördes (Foto: Karta över Sverige).

Figure 7. Map of Sweden where the star marks the area where the inventory was performed.



Figur 8. Översiktskarta över de maskinellt planterade trakterna.

Figure 8. Overview map of the tracts that were mechanically planted.

2.3. Utläggning av provytor och bedömning av terrängegenskaper

2.3.1. Inventering

För att med största sannolikhet inkludera områden med önskvärda terrängegenskaper studerades kartmaterial och trakterna i verklighet för att subjektivt välja områden där inventeringen skulle ske. Inom de subjektivt valda områdena lades 3 provytor ut objektivt med en radie av 5,64 meter. För att lägga ut de subjektiva inventeringspunkterna studerades kartmaterial för att finna de önskade terrängerna. Traktdirektiv användes för att få information om antalet stammar vid avverkning och därmed få en uppskattning av stubbtätheten. Fältinventeringen skedde genom en kombination av Sveaskogs och SCA:s standarder för plantinventering och med hjälp av GPS position återfanns provytecetrum i fält där planter inom en radie av 5,64 meter räknades in och en bedömning av terräng gjordes. Vid inventeringen användes en fältblankett för bedömning (Bilaga 1).

På de maskinellt planterade trakterna inventerades totalt 126 provytor fördelat på 18 provytor per trakt. Totalt lades 6 subjektiva ytor ut på varje trakt inom vilka 3 provytor lades ut objektivt. Varje subjektiv yta hade en viss karaktär, de olika karaktärerna var ”hög blockkvot”, ”låg blockkvot”, ”hög stubbtäthet”, ”låg stubbtäthet”, ”torr mark” och ”fuktig mark”, vilket innebär att för varje terrängkaraktär inventerades 3 provytor per trakt, vilket resulterar i 18 provytor totalt per trakt.

På de manuellt planterade trakterna inventerades totalt 54 provytor fördelat på 18 provytor per trakt med samma uppdelning på terrängkaraktärer som för de maskinellt planterade provytorerna.

2.3.2. Bedömning av terräng

Terrängbeskrivning (GYL)

Terrängbeskrivningen kan delas upp i tre olika punkter, grundförhållanden (G), ytstruktur (Y) samt lutning (L). Grundförhållande avser markens beskaffenhet med avseende på jordart och markfuktighet då detta påverkar bärigheten i marken. Ytstrukturen syftar till hur ojämn markytan är, med mycket stora block blir det svårt för en maskin att ta sig fram. Lutningen avser hur mycket marken lutar, en brant lutning medför svårigheter då maskinen inte kan köra i allt för kraftig sidlut då risk finns att den tippas. Varje klass bedöms med en siffra mellan 1–5 där 1 är enkla förhållanden och 5 är svåra förhållanden (Berg 1982).

Blockkvot (B)

Med blockkvot menas hur många stenar som syns eller ligger dolda under markytan till och med 20 centimeters djup (Berg 1982). Bedömningen av blockkvot gjordes med hjälp av en jordsond där 20 nedslag om minst 20 centimeter gjordes inom provytan, varje nedslag som träffade sten räknades och gav sedan en procentsats. Procentsatsen gavs genom att dividera antalet ”stenträff” med antalet nedslag.

Stubbtäthet (T)

Medelstubbtätheten för trakten kunde uppskattas med hjälp av traktdirektiv där antalet stammar/ha från avverkningen angavs. Stubbtätheten i varje provyta beräknades genom att räkna antalet synliga stubbar och sedan multiplicera med 100 för att få antal per hektar.

Humustjocklek/ Markfuktighet (M)

Humustjockleken beror på hur mycket förmultnande förna (löv och annat dött organiskt material) som humuslagret består av. Humuslagret kan delas in i olika delskikt utifrån graden av nedbrytning som förnan genomgått, den kan tex precis ha börjat brytas ner och fortfarande se ut som växtdelar eller vara helt nedbruten till en brun gegga (SLU 2020b). Humustjockleken mäts med hjälp av nerstick med jordsonden, samt att studera hjulspår på provytan.

Markfuktigheten är ett mått på hur stor påverkan grundvattennivån har på den omgivande terrängen. Markfuktigheten i fält kan bedömas genom att studera topografin och omgivande terräng och växtlighet. Finns det våtmark eller diken, samt synliga sänkor med vatten tyder det på att markfuktigheten i området är hög. Markfuktigheten klassas efter 5 klasser: torr, frisk, frisk-fuktig, fuktig och blöt (SLU 2020a).

2.4. Traktegenskaper

En optimal traktform är cirkulär vilket innebär att maskinen kan arbeta kontinuerligt och slipper vända. Medeltrakten för Plantma X var 22,5 hektar medan den för manuell plantering var 16,3 hektar (Tabell 1) (Svenska Skogsplantor 2020). Jordarten på de manuella trakterna var samma som för de maskinella, sandig moig morän.

Tabell 1. Traktegenskaper för de maskinellt planterade trakterna i Härjedalen hösten 2020. Med form menas kvoten mellan beräknad köravstånd per trakt och faktisk köravstånd per trakt. En kvot på 1 betyder att maskinen inte behövt köra något extra avstånd, vilket den behöver göra på trakter som kräver flera vändningar och långa köravstånd tillbaka till avlägg för att hämta plant.

Table 1. Tract characteristics for the tracts in Härjedalen that were planted mechanically in autumn 2020. "Form" is defined as the ratio between estimated driving distance and the actual driving distance for each tract. A ratio of 1 means that the machine doesn't drive any farther distance than planned, which it must do on tracts that requires turns and long driving distances to pick up new seedlings at the roadside depot.

Trakt	Blockkvot (%)	Form	Storlek (ha)	Jordart
Årberget	15	0,88	31,2	Sandig-moig morän
Klåkmyran	27	0,95	10,4	Sandig-moig morän
Gammeltjärnen	17	0,91	45	Sandig-moig morän
Ängersjökölen	6	0,91	14	Sandig-moig morän
Öjingsvallen	16	0,89	16,6	Sandig-moig morän
Bukölen 2	9	0,94	18,6	Sandig-moig morän
Bukölen 1	12	0,88	21,7	Sandig-moig morän

2.5. Analys av insamlat data

Det insamlade datat sammanställdes i Excel och analyserades i programmet MiniTab. I MiniTab genomfördes linjära regressioner, korrelationstest och t-tester, vid analyserna användes ett konfidensintervall på 95%.

2.6. Produktivitets- och kostnadsanalys

En analys av produktivitet och kostnader genomfördes för att undersöka hur Plantma X presterat under de veckor den planterat på trakterna i Härjedalen under hösten 2020. Indatat och beräkningarna finns i Tabell 2. Kostnaderna uppskattades med hjälp av entreprenörer, forskare och övriga skogliga tjänstemän.

Insamlat data infogades i Microsoft Excel (Bilaga 5) Beräkningar av kostnaden per hektar utfördes med hjälp av fyra modeller som var för sig tog hänsyn till: variationer i produktivitetsnivå (plantor per grundtimme) och andel godkända plantor per grundtimme, variationer i TU, variationer i traktstorlek och målstamantal (se Figur 14, 15, 16 och 17). I detta arbete används den SI-kompatibla förkortningen $h_{(G)}$ för grundtimme.

Trakterna som Plantma X planterat i Härjedalen under hösten var stora (Svenska Skogsplantor 2020) jämfört med medeltrakten för regionen, södra Norrland (Skogsstyrelsen 2020). I jämförelse var medelstorleken på de tre manuellt planterade trakterna cirka 38 % lägre än för de trakter planterade med Plantma X. Enligt Skogsstyrelsens statistik var medeltrakterna under år 2019 för norra Norrland 5 hektar, för södra Norrland 3,8 hektar, för Svealand 3,4 hektar samt för Götaland 2 hektar (Skogsstyrelsen 2020).

Tabell 2. Indata till analys av kostnaden för maskinell plantering med Plantma X hösten 2020.*Table 2. Input data for the costs analysis of the mechanized tree plantation with Plantma X during autumn 2020.*

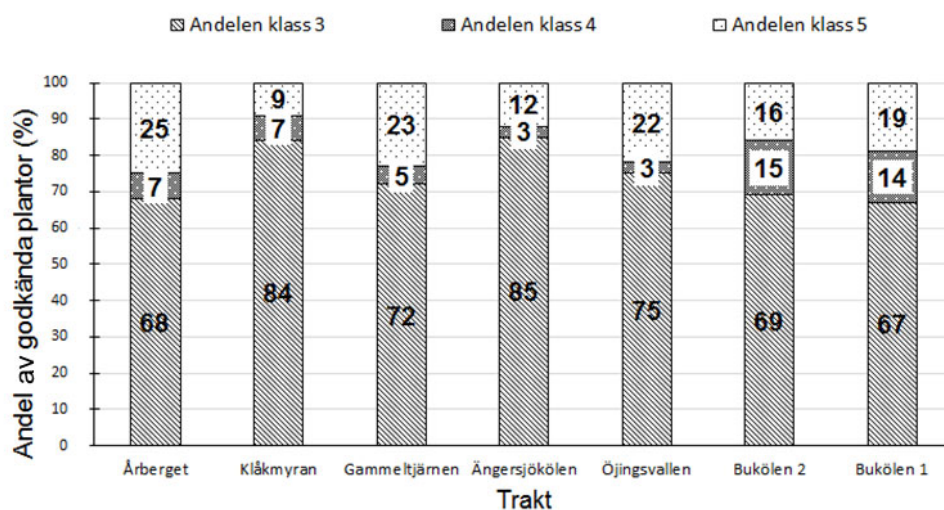
Data	Grundantagande	Varians
Inköpskostnad (kr)	7 000 000	-
Restvärde (kr)	1 000 000	-
Kalkylränta (%)	5	-
Vinstpåslag (%)	10	-
Kapitalkostnad (kr/år)	827 027	-
Fasta kostnaders andel av totala timkostnaden (%)	27	-
Uppskattade rörliga kostnaders andel av totala timkostnaden (%)	63	-
Totala timkostnaden (kr/h)	2400	-
Bränsleförbrukning (liter per grundtimme; l/ h _(G))	25	-
Produktivitet (plantor/h _(G))	1 200	1 000-1 800
Teknisk utnyttjandegrad (TU) (%)	76	65-85
Utnyttjande timmar per år (h _(U) /år)	1 900	-
Grundtimmar per år (h _(G) /år)	1444	-
Flyttkostnad (kr/h _(G))	1 500	-
Tidsåtgång flytt (h/flytt)	3	-
Plantkostnad (kr/st)	2,15	-

3. Resultat

3.1. Planteringsresultat med Plantma X

Totalt inventerades 126 provytor fördelat på de 7 maskinellt planterade trakterna, och totalt 54 provytor inventerades på de 3 manuellt planterade trakterna.

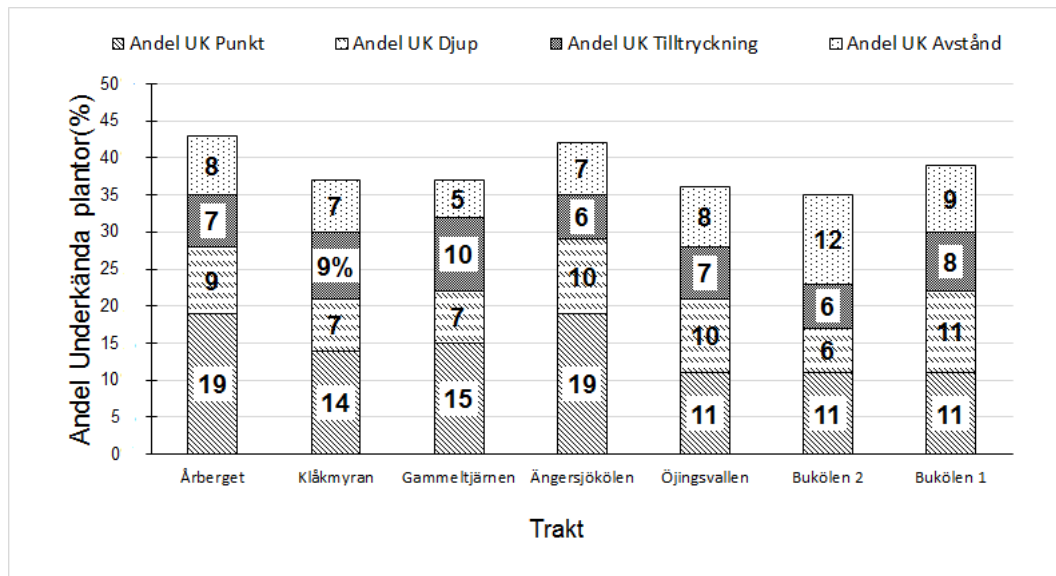
Andelen godkända plantor var i medeltal 62 (standardavvikelse [SD] = 2,6; max = 65; min = 58) procent och andelen plantor i bedömningsklass 5 var större än andelen plantor i bedömningsklass 4 för de maskinellt planterade trakterna (Figur 9).



Figur 9. Fördelningen av godkända plantor per trakt och bedömningsklass för trakter på tallmarker planterade med Plantma X i Härjedalen hösten 2020.

Figure 9. The proportion of approved seedlings for each tract and assessment class for tracts planted with Plantma X in Härjedalen autumn 2020.

Andelen underkända plantor på trakterna som planterats av Plantma X var i medeltal 38 (SD = 2,6; min = 35; max = 42) procent (Figur 10). Den vanligaste anledningen till underkännande var undermålig planteringspunkt.



Figur 10. Fördelning av underkända plantor på orsak per trakt för tallmarker planterade med Plantma-X i Härjedalen hösten 2020.

Figure 10. The proportion of rejected seedlings and the reasons for rejection for each tract planted with Plantma X in Härjedalen during autumn 2020.

3.2. Terrängfaktorernas påverkan på Plantma X planteringsresultat

Vid skapandet av regressionsmodeller konstaterades att ingen av de enskilda inventerade terrängfaktorerna (blockkvot, stubbtäthet, humustjocklek och markfuktighetsklass) hade någon signifikant påverkan på andelen underkända plantor (Tabell 3; Bilaga 1). Markfuktighetsklassen hade en signifikant påverkan, vilket betyder att med ökad markfuktighet minskade andelen godkända plantor, men eftersom förklaringsgraden var så pass låg antogs att den praktiska betydelsen var försumbar (Tabell 3).

Tabell 3. Resultat från linjär regression och korrelationstest mellan terrängfaktorer och andelen godkända plantor för maskinell plantering med Plantma X i Härjedalen hösten 2020.

Table 3. Results from linear regression and correlation test for terrain factors and the proportion of approved seedlings during mechanized tree planting with Plantma X in Härjedalen autumn 2020.

Terrängfaktor	R ² -värde (%)	Korrelation (Pearson)	P-värde
Blockkvot (%)	0,58	0,076	0,395
Stubbtäthet (antal/ha)	1,80	0,134	0,135
Humustjocklek (cm)	2,58	-0,161	0,072
Markfuktighetsklass	3,7	0,191	0,032

För att vidare undersöka om några av faktorerna tillsammans hade en påverkan, gjordes en multipel regression (Tabell 4). Resultatet visade att humustjocklek och stubbtäthet hade en signifikant samverkande effekt, dvs att med ökande stubbtäthet och humustjocklek ökar andelen underkända plantor.

Tabell 4. Resultat från multipel regression av de olika terrängfaktorernas påverkan på andelen godkända plantor vid plantering med Plantma X i Härjedalen hösten 2020.

Table 4. Results from multiple regression of the various terrain factors' effect on the proportion of approved seedlings when tree planting with Plantma X in Härjedalen autumn 2020.

Terrängfaktor	R ² -värde (%)	P-värde
Blockkvot (%)	6,02	0,055
Stubbtäthet (antal/ha)		
Humustjocklek (cm)		
Stubbtäthet (antal/ha)	5,51	0,031
Humustjocklek (cm)		
Humustjocklek (cm)	2,76	0,179
Blockkvot (%)		
Blockkvot (%)	2,93	0,161
Stubbtäthet (antal/ha)		

3.3. Manuell plantering

Samma analyser gjordes för den manuella planteringen som för den maskinella och utifrån den linjära regressionsanalysen konstaterades att ingen av de enskilda terrängfaktorerna hade någon signifikant påverkan på planteringsresultatet (Tabell 5, Bilaga 2).

Tabell 5. Resultat från linjär regression, mellan terrängfaktorer och andelen godkända plantor, och korrelationstest för manuell plantering.

Table 5. Results from linear regression, of terrain factors and the proportion of approved seedlings, and correlation test for manual tree planting.

Terrängfaktor	R ² -värde (%)	Korrelation (Pearson)	P-värde
Blockkvot (%)	3,64	0,191	0,167
Stubbtäthet (antal/ha)	1,28	-0,113	0,415
Humustjocklek (cm)	1,36	-0,117	0,401

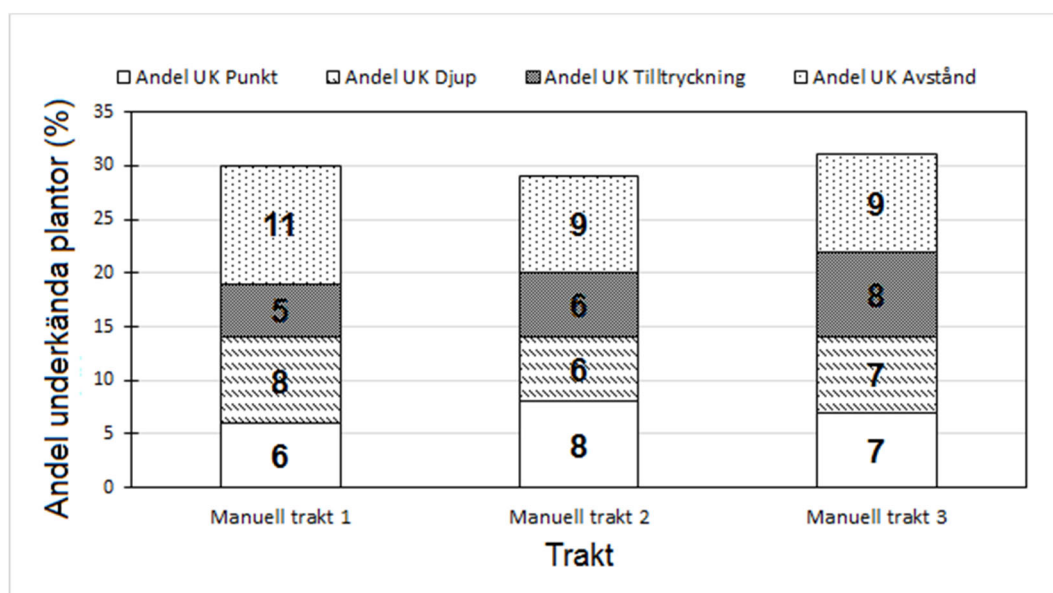
Vid den multipla regressionen kunde till skillnad från den maskinella planteringen inga signifikanta samband mellan några terrängfaktorer påvisas (Tabell 6).

Tabell 6. Resultat från multipel regression av terrängfaktorernas påverkan på planteringsresultatet för manuell plantering.

Table 6. Results from the multiple regression of the terrain factors' effect on the proportion of approved seedlings for manual tree planting.

Terrängfaktor	R ² -värde (%)	P-värde
Blockkvot (%) Stubbtäthet (antal/ha) Humustjocklek (cm)	5,15	0,445
Stubbtäthet (antal/ha) Humustjocklek (cm)	2,88	0,475
Humustjocklek (cm) Blockkvot (%)	4,12	0,342
Blockkvot (%) Stubbtäthet (antal/ha)	4,5	0,309

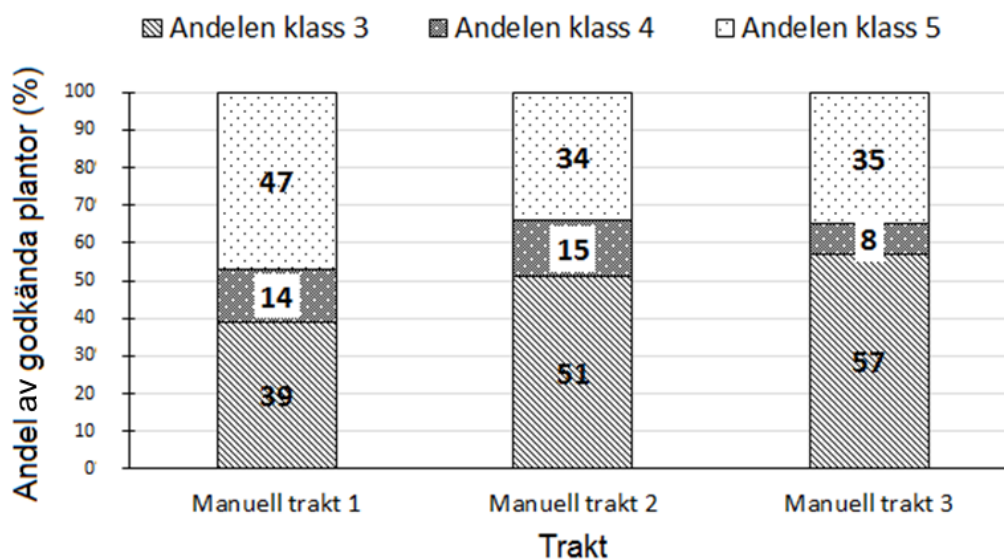
För den manuella planteringen var den främsta anledningen till underkännande att avståndet mellan planta och humus var för litet, även om det var jämnare fördelat mellan klasserna än för maskinell plantering (Figur 11).



Figur 11. Fördelning av underkända plantor på orsak per trakt för de manuellt planterade trakterna på tallmarker i Härjedalen hösten 2020. UK är förkortning för underkänd.

Figure 11. The proportion of rejected seedlings for each tract planted manually in Härjedalen autumn 2020.

Andelen planter i bedömningsklass 5 var större för manuell plantering än för maskinell plantering; vid manuell plantering var medelandelen planter i klass 5 39 % (Figur 12).

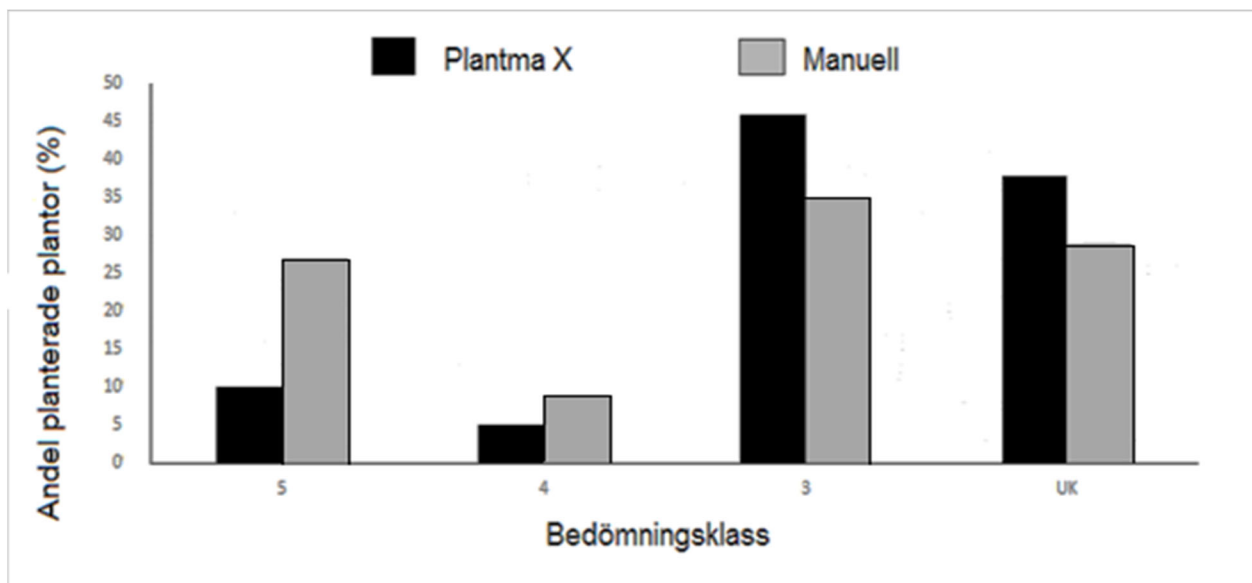


Figur 12. Fördelning av godkända planter på bedömningsklass för de manuellt planterade trakterna på tallmarker i Härjedalen hösten 2020.

Figure 12. The proportion of approved seedlings for each tract and assessment class for each tract planted manually in Härjedalen autumn 2020.

3.4. Jämförelse mellan Plantma X och manuell plantering

Antalet planterade planter på planteringspunkter av klass 5 och klass 4 var högre för den manuella planteringen än för den maskinella. Andelen underkända planter var lägre för den manuella än för den maskinella planteringen (Figur 13).



Figur 13. Fördelningen av andelen plantor i bedömningsklasser för plantor planterade med Plantma X och manuellt planterade plantor. Klass 5 är bäst planterade och UK står för underkända plantor.

Figure 13. The proportion of seedlings in the assessment classes for seedlings planted with Plantma X and manually planted seedlings. Class 5 is the best planted and UK stands for rejected seedlings.

För att undersöka när och om det verkligen skiljde sig i andelen plantor i de olika bedömningsklasserna mellan den maskinella och den manuella planteringen, genomfördes ett tvådelat t-test (Tabell 7; Bilaga 3). Resultatet visade att det finns en signifikant skillnad i alla klasser, den manuella planteringen har fler godkända plantor i bedömningsklasserna 5 och 4.

För att kunna påvisa en signifikant skillnad i andelen godkända plantor per bedömningsklass gjordes en Bon-ferroni korrektion av signifikansnivån. Fyra enskilda t-test genomfördes och därmed dividerades den förutsatta signifikansnivån med fyra vilket gav en signifikansnivå på 1,25 %. Eftersom alla p-värden är lägre än 1,25% kan man konstatera att det finns en signifikant skillnad mellan manuellt och maskinellt planteringsresultat.

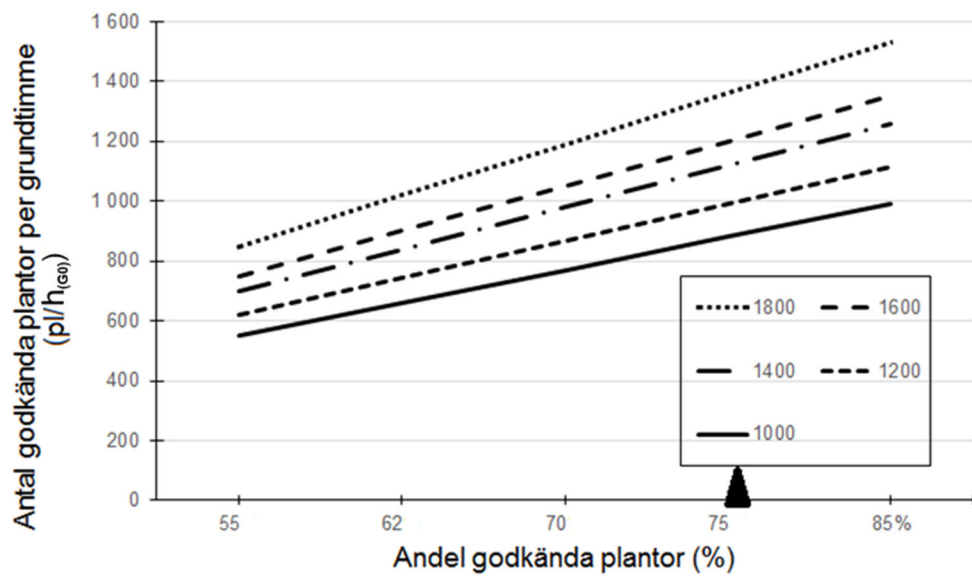
Tabell 7. Tvådelat t-test för manuellt och maskinellt planteringsresultat med Bon-Ferroni justerade p-värden.

Table 7. Two-sample t -test of the manual and mechanized planting results with Bon-Ferroni adjusted p-values.

Bedömningsklass	Andel Maskinell(%)	Andel Manuell(%)	Differens(%)	T-värde(%)	DF-värde	P-värde
5	10,5	2,7	7,8	8,7	87	<0,0001
4	5	8,8	3,8	3	80	0,004
3	46,3	34,8	11,5	5,2	86	<0,0001
UK	38,3	29,3	9	5,6	166	<0,0001

3.5. Produktivitets- och kostnadsanalys

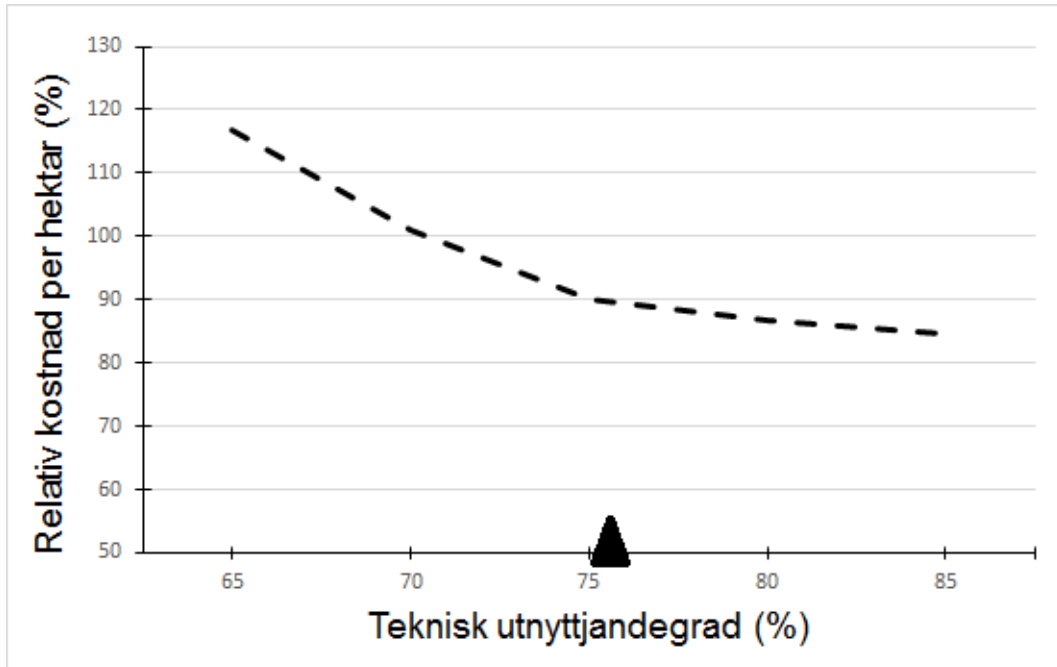
Antalet godkända plantor per grundtimme ökar med ökande produktivitetsnivå (plantor/h_(G)) och andel godkända plantor per hektar (Figur 14). En produktivitet på 1000 plantor per grundtimme och en medelandel godkända plantor på 55% ger det lägsta antalet godkända plantor per grundtimme (cirka 550 plantor/h_(G)). Nästan tre gånger fler godkända plantor per grundtimme uppnås med en produktivitet på 1800 plantor/h_(G) och en medelandel godkända plantor på 85 % (cirka 1500 plantor/h_(G)).



Figur 14. Variationen i antalet godkända plantor per grundtimme (utan avbrott, $h_{(G_0)}$) beroende på planteringsresultat och produktivetsnivå. Linjerna symboliserar olika produktivetsnivåer ($pl/h_{(G)}$) och triangeln markerar medelantalet godkända plantor (62%) enligt inventeringsresultatet

Figure 14. The variation in the number of approved seedlings per productive hour (without delays, depending on the planting results and level of productivity). The lines symbolize the different levels of productivity and the triangle marks the average proportion of approved seedlings per hectare according to this study's inventory.

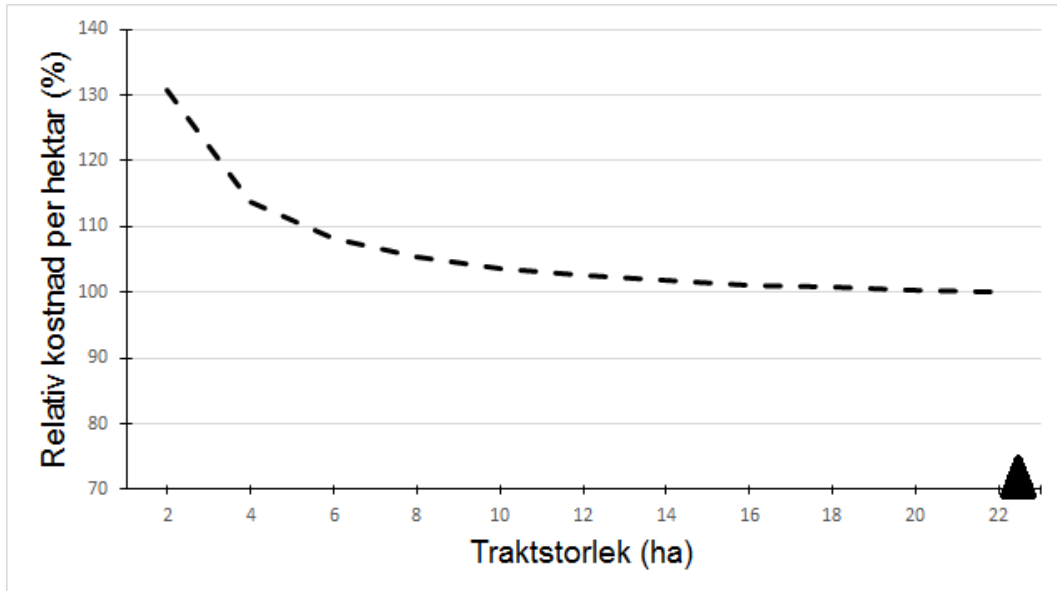
Kostnaden för maskinplanteringen med Plantma X minskar med en ökande teknisk utnyttjandegrad (Figur 15). Kostnaden ökar avsevärt för en teknisk utnyttjandegrad under 70 %.



Figur 15. Den relativa planteringskostnaden per hektar beroende på planteringsmaskinens tekniska utnyttjandegrad (TU). Triangeln markerar den tekniska utnyttjandegrad (76%) som Plantma X i genomsnitt uppnådde under planteringen i Härjedalen under hösten 2020.

Figure 15. The relative planting cost per hectare as a function of Plantma X mechanical availability. The triangle marks the average mechanical availability rate that Plantma X achieved during planting in Härjedalen during autumn 2020.

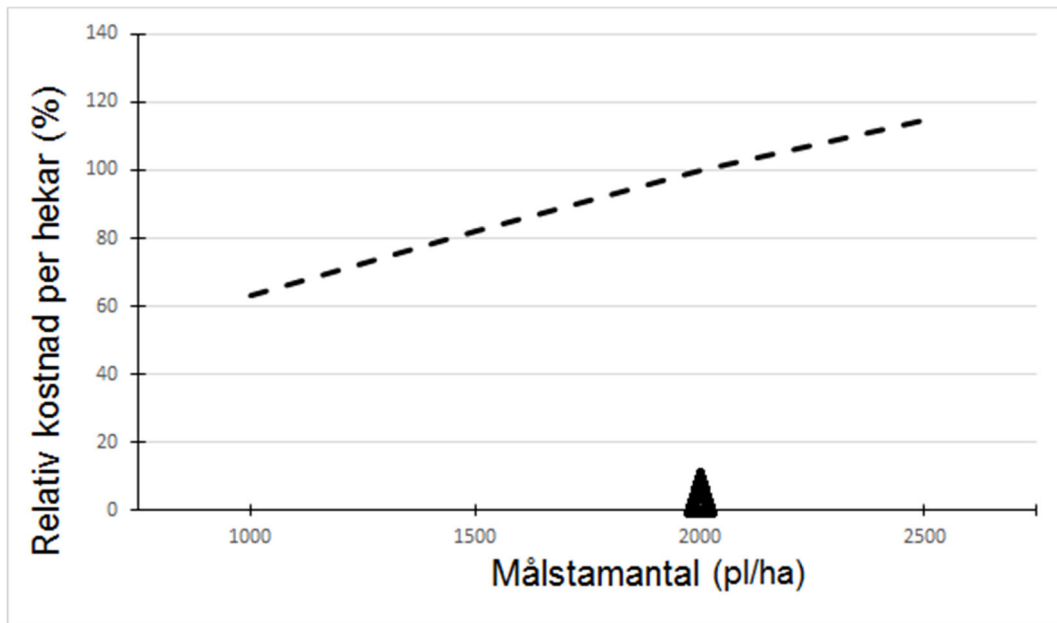
Kostnaden per hektar ökar när traktstorleken minskar (Figur 16). Vid minskande medeltraktstorlek var kostnadsökningen till följd av sänkt teknisk utnyttjandegrad och ökade flyttkostnader.



Figur 16. Traktstorlekens påverkan på den relativa kostnaden för att plantera 2000 godkända plantor per hektar med Plantma X. Triangeln markerar medelstorleken på de trakter som planterades av Plantma X i Härjedalen hösten 2020.

Figure 16. The effect of the tract size on the relative cost of planting 2000 approved seedlings per hectare with Plantma X. The triangle marks the average size of the tracts that were planted with Plantma X in Härjedalen during autumn 2020.

Kostnaden per hektar ökar med ett ökat målstamantal (Figur 17). Om målstamantalet minskar från 2000 till 1500 pl/ha minskar hektarkostnaden med 18%.



Figur 17. Påverkan av målstamantal för godkända plantor på den relativa planteringskostnaden per ha för Plantma X inklusive flyttkostnad för medelhygget i södra Norrland (3,8 ha). Triangeln markerar målstamantalet för de trakter som Plantma X planterade i Härjedalen under hösten 2020.

Figure 17. The impact of target stocking rate of approved seedlings on the relative planting cost per hectare for Plantma X including relocation cost for the average tract size in southern Norrland. The triangle marks the target stocking rate for the tracts planted by Plantma X during autumn 2020.

4. Diskussion

4.1. Huvudresultatet

Resultaten från studien visar att de enskilda terrängfaktorerna, blockkvot, stubbtäthet och humustjocklek, inte har någon enskild påverkan på planteringsresultatet med Plantma X. Markfuktighetsklass hade en signifikant negativ påverkan men förklaringsgraden var för låg för att ge praktisk relevans (Tabell 3). Dock hade kombinationen ökande stubbtäthet och humustjocklek en negativ effekt på planteringsresultatet i denna studie (Tabell 4). Vid jämförelse med manuell plantering var andelen godkända plantor i bedömningsklasserna 4 och 5 signifikant lägre för maskinell plantering med Plantma X (Tabell 7; Figur 13). Andelen underkända plantor var också högre för den maskinella planteringen (Figur 13). Den vanligaste anledningen till underkännande för både den maskinella och manuella planteringen var undermålig planteringspunkt (Figur 9), där det för den manuella planteringen främst var avståndet till humus som var bristfälligt (Figur 11).

4.2. Jämförelse med befintlig kunskap

Tidigare studier på planteringsresultat från maskinell plantering visar att terrängegenskaperna spelar roll för maskinens produktivitet (Rantala et al. 2009; Hallonborg et al. 1995). Dock har de flesta tidigare studier gjorts på intermitterande framryckande planteringsmaskiner, men terrängegenskaperna spelade även roll för Silva Novan då dess planteringsresultat påverkades negativt av bland annat en hög blockkvot (Hallonborg et al. 1995). Plantma X borde också påverkas av de enskilda terrängegenskaperna (så som blockkvot) även om inte denna studie indikerar detta. Troligen var de inventerade trakterna för homogena eller så var inventeringsförfarandet för blockkvot för grovt. För att noggrannare inventera

blockkvoten hade fler nedstick i harvfårorna kunnat göras då det i studien endast gjordes ett nedstick per meter.

Jämfört med en studie på de intermittent framryckande planteringsmaskinerna Bracke Planter och M-Planter kan inga slutsatser dras om huruvida terrägegenskaperna har någon påverkan på maskinens produktivitet. För både Bracke Planter och M-Planter sjunker produktiviteten med ökad blockkvot, stubbtäthet och andel grot (Rantala et al. 2009). Eftersom ingen av de inventerade terrägegenskaperna hade någon enskild signifikant påverkan på planteringsresultatet för Plantma X, kan inga slutsatser dras om huruvida dessa egenskaper påverkar maskinens produktivitet.

I en omfattande studie av Skogforsk visade Silva Novan ett sämre planteringsresultat än manuell plantering (von Hofsten 1997a). Föreliggande examensarbete styrker det resultatet då Plantma X:s planteringsresultat var sämre än det för manuell plantering. Troligtvis beror detta resultat på att Plantma X är blind och inte kan välja planteringspunkt. Därmed blev också felaktig planteringspunkt den vanligaste anledningen till underkännande (Figur 9). Plantma X är dock utrustad med sensorer som gör att planteringsarmarna inte planterar om de slår i sten eller annan hård mark, utan väntar tills de finner en lämpligare punkt. Denna egenskap borde innebära att blockkvoten spelar roll för planteringsresultatet men enligt föreliggande studie har ingen enskild terrängfaktor någon signifikant effekt på planteringsresultatet (Tabell 3; Tabell 4) Men studien visade också att blockkvot och humustjocklek tillsammans nästan hade en signifikant effekt på planteringsresultatet ($p=0,055$; Tabell 4).

I tidigare studier har planteringsdjupet lyfts fram som en fördel med maskinell plantering eftersom de kan plantera plantan djupt, speciellt i omvänd torva (Hallonborg et al. 1995; Ersson 2014). Planteringsdjupet är av stor betydelse för planteringsresultatet då en djup planterad planta har högre överlevnadschanser än en planta som planteras för grunt, (då plantan riskerar uttorkning och får en lägre tillväxt; Luoranen och Viiri 2016). Dock har uppdragsgivaren aktivt valt att inte ställa krav på att Plantma X skulle plantera i omvänd torva under hösten 2020. Detta faktum gör att inga slutsatser kan dras i föreliggande studie om hur bra Plantma X djupplanterar i omvänd torva.

Under höstens planteringar på trakterna i Härjedalen höll Plantma X en medelproduktivitet på 1200 plantor per timme (Svenska Skogsplantor 2020), men enligt entreprenören förväntas Plantma X kunna nå en produktivitet på 1500–1600 plantor per timme i framtiden. Den enda planteringsmaskinen som Plantma X går att jämföra med är Silva Novan, som under 1990 talet planterade omkring 1000–

1200 plantor per timme (Hallonborg et al. 1995; Lantz 1998). Detta innebär att Plantma X redan nu har nått samma produktivetsnivå som Silva Novan hade när den var som mest utvecklad. Intermittent framryckande planteringsmaskiner såsom Bracke Planter och Ecoplanter som har använts sedan 1990-talet, och når en produktivitet på 170–250 plantor per timme (Ersson et al. 2018), vilket inte är i närheten av produktiviteten som kontinuerligt framryckande maskiner som Plantma X uppnår.

4.3. Nya kunskaper från studien

Föreliggande studie indikerar att planteringskostnaden blir hög när andelen godkända plantor per hektar är låg (Figur 17) (Skogforsk 2020). Enligt fältinventeringen var endast 62% av plantorna som planterats med Plantma X godkända. Detta beror med största sannolikhet på att maskinen inte aktivt kan välja planteringspunkter, utan planterar kontinuerligt där den inte träffar hinder (SCA 2020). I sin tur leder detta till ett behov av sensorer som kan hjälpa maskinen att finna optimala planteringspunkter, vilket skulle öka antalet godkända plantor och därmed sänka planteringskostnaden (Manner och Ersson 2020).

De inventerade trakterna som planterats av Plantma X har varit stora, med en medelareal på drygt 22 hektar (Tabell 1). Enligt analysen stiger kostnaderna drastiskt om medelarealen sjunker under 10 hektar (Figur 16), vilket gör att maskinen i detta nu inte skulle lämpa sig för mindre trakter då kostnaderna blir allt för höga. Plantma X timkostnad är idag relativt hög (>2500 kr/h, Tabell 2), detta beror dels på att det krävs mer personal än för andra skogsmaskiner i samma storlek, (tex markberedare), dels för att Plantma X haft höga reparationskostnader då den stått stilla mycket för reparations- och vidareutvecklingsarbete (Tomas Kolmodin, Vallsta Skogsmaskiner, produktionschef. pers. komm. 2021-02-22). Kostnaden per hektar ökar med ett ökat målstamantal något som kan förklaras med den relativt låga andelen godkända plantor per hektar som Plantma X enligt inventeringen uppnådde. Vid teknisk utnyttjandegrad på 70% eller lägre stiger kostnaderna drastiskt.

4.4. Styrkor och svagheter

Eftersom maskinen är ny och fortfarande ännu inte utvärderad är det svårt att dra några slutsatser angående dess funktionalitet eller biologiska resultat. Maskinen har endast planterat under barmarkssäsongen 2020 och inga vetenskapliga

uppföljningar på planteringsresultat eller produktivitet finns. En förutsättning för kostnadseffektiviteten och därmed konkurrenskraften gentemot den manuella planteringen är att arbetet utförs på ett effektivt och högkvalitativt sätt.

Insamlingen av fältdata genom inventering har endast skett av studieförfattaren vilket gör att datainsamlingen skett på ett opartiskt och likartat sätt på varje trakt. Både de maskinellt och manuellt planterade trakterna har planterats under hösten 2020 vilket gör att fältdatat är aktuellt och jämförbart då väderleken varit densamma för båda planteringsförfaranden. Kostnadsuppskattningarna som gjordes i analysen är baserade på maskinens prestationer under hösten 2020 vilket gör att datat kan anses som aktuellt och därmed ge en relevant bedömning av Plantma X:s konkurrenskraft. De trakter som under hösten 2020 planterats maskinellt, med Plantma X, och manuellt i Härjedalen ligger inom samma geografiska område (Figur 8) vilket gör att de lämpar sig bra för jämförelse. Trakterna är även jämförbara i det avseende att de har liknande egenskaper, både terrängmässigt och storleksmässigt, vilket bidrar till att jämförelsen av planteringsresultatet blir relevant och rättvisande.

De huvudsakliga svagheter i studien var tre, den första var att maskinen fortfarande är en prototyp och har inte använts i kommersiellt bruk, vilket gör det svårt att uppskatta kostnader för maskinen. Under perioden som maskinen planterat har det krävts flertalet stopp för reparationer och vidareutveckling av maskinen vilket sänkt maskinens körtid och gett höga kostnader. Datat som använts i analysen har uppskattats till viss del väldigt grovt, vilket gör att kostnadsanalysen får ses mer som en uppskattning snarare än konkret. Dessutom finns ingen liknande maskin i bruk idag vilket begränsar jämförelsematerialet. Den andra svagheter var att flyttkostnaden uppskattades likna den för en större skotare, även om Plantma X är mer komplicerad att lasta. Sannolikt ökar dock flyttkostnaden än mer pga att plantor ska transporteras och förarantalet alltid är minst två personer. Den tredje svagheter var att inventeringsdatat från fältstudierna bara visar hur maskinen presterat på tallmarker med låg bonitet i södra Norrland. För att kunna göra mer konkreta analyser av maskinprestandan bör data från andra trakter samlas in och tas med i analysen.

Enligt planteringsinstruktionen är en optimal planteringspunkt i en omvänd torva, men eftersom det inte används något skydd för snytbagge i södra Norrland kan det vara bra att plantera i ren mineraljord för att på så sätt undvika angrepp (Hallsby 2013). Om maskinen istället ska plantera på trakter där det krävs att plantan planteras i omvänd torva kan andelen godkända plantor komma att minska jämfört med denna studie. Detta eftersom det inte fanns något krav på plantering i omvänd torva på trakterna som inventerats i föreliggande studie. Resultatet från

kostnadsanalysen visar tydligt att för mindre traktstorlekar sjunker maskinens tekniska utnyttjandegrad och således ökar också kostnaderna per hektar. Denna omständighet kan komma att bli ett problem om maskinen ska användas på sydligare områden (Götaland och Svealand) där medeltrakterna är lägre än för områdena i Härjedalen (Tabell 1).

4.5. Behov av fortsatt forskning

Planteringsresultatet från denna studie visar endast hur Plantma X lyckats plantera tallplantor på tallmarker, vilket gör att det hade varit intressant att se hur maskinen klarar av att plantera gran på granmarker. Enligt tidigare studier på Silva Nova visade sig överlevnaden för granplantor vara sämre än för tallplantor (von Hofsten 1997b). Plantering av gran innebär också att Plantma X bör kunna plantera i omvänd torva. Vid plantering i omvänd torva blir valet av planteringspunkt mer komplex än vid plantering i harvfåror, därför kommer sannolikt sensorer för lokalisering av planteringspunkter att spela en stor roll för maskinell plantering.

4.6. Slutsatser

- Andelen godkända plantor var relativt låg (i genomsnitt 62 %) för trakterna som var planterade med Plantma X. Den vanligaste orsaken till underkännande var undermålig planteringspunkt.
- Fältstudien indikerade att ingen av de enskilda terrägegenskaperna blockkvot, stubbtäthet eller humustjocklek hade någon påverkan på Plantma X:s planteringsresultat. Dock visade fältstudien att ökad stubbtäthet tillsammans med ökad humustjocklek verkar ha en signifikant negativ inverkan på planteringsresultatet.
- Under likartade förhållanden var andelen planterade plantor i bedömningsklass 4 och 5 (god respektive optimal planteringspunkt) lägre för Plantma X än för manuell plantering.
- Plantma X har en likvärdig produktivitet med den som Silva Nova hade, och en högre produktivitet än vad manuell plantering har. Utifrån denna prototyp visar maskinen på potential till en eventuell serietillverkad planteringsmaskin. Plantma X måste dock utvärderas mer innan några konkreta slutsatser kan dras om dess konkurrenskraft.

Referenser

- Andersson, G. (2019). *Första bilden på nya planteringsmaskinen*. Land Skogsbruk nr 45.
- Berg, S. (1982). *Terrängtypsschema för skogsarbete*. Spånga: Forskningsstiftelsen Skogsarbeten.
- Bjurulf, A., Westerberg, D. (1992). *Alternativa förband- utredning av prestationer, kostnader och konsekvenser*. Skogforsk. Stencil 1992-09-28.
- Cormier, D., Ryans, M. (1992). *Short and long-term evaluation of the Silva Nova planting machine*. Forest engineering research institute of Canada. Québec. Technical Note TN-190.
- Ersson, B.T. (2010). *Possible concepts for mechanized tree planting in southern Sweden*. Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Institutionen för skoglig resurshushållning, Arbetsrapport 269.
- Ersson, B.T. (2014). *Concepts for mechanized tree planting in southern Sweden*. Avhandling. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2014:76.
- Ersson, B.T., Laine, T., Saksa, T. (2018). *Mechanized tree planting in Sweden and Finland: Current state and key factors for future growth*. Forests, 9(7):370.
- Hallonborg, U. (1991). *Den maskinella planteringen utveckling*. Faktablad. Institutionen för skogsproduktion, Sveriges lantbruksuniversitet, Garpenberg. Plantnytt 1991:1.
- Hallonborg, U., von Hofsten, H., Mattsson, S., Hagberg, J., Thorsén, Å., Nyström, C. & Arvidsson, H. (1995). *Maskinell plantering med Silva Nova – nuvarande status samt utvecklingsmöjligheter i jämförelse med manuell plantering*. Skogforsk. Uppsala. Redogörelse nr 6.
- Hallonborg, U. (1997). *Aspects of mechanized tree planting*. Avhandling. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae Silvestria 29.
- Hallsby, G. (2013). *Plantering av barrträd*. Skogsskötselserien 3, Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Lantz, M-Å. (1998). *Historik SCA:s planteringsmaskin Silva nova med PLS-plantmatningsautomatik*. Skogsvårdsavdelningen, SCA. Sundsvall.
- Luoranen, J., Viiri, H. (2016). *Deep planting reduces risk of drought damage and increases growth on Norway spruce container seedlings*. New Forests, 47(5): 701-714.

- Malmberg, C E. (1990). *Mekanisering av skogsodling*. Styrelsen för Teknisk Utveckling. Stockholm. STU-info: 783-1990.
- Manner, J., Ersson, B.-T. (2020). *Mechanized tree planting in Nordic forestry: simulating a machine concept for continuously advancing site preparation and planting*. Journal of Forest Science, 67(5), 242-246.
- Nyström, C. (2000). *Maskinell plantering ger bra biologiskt resultat*. Plantaktuellt. Högskolan Dalarna och Skogforsk, nr 4, s 1-2.
- Rantala, J; Harstela, P; Saarinen, V-M; Tervo, L. (2009). *A Techno-Economic Evaluation of Bracke and M-Planter Tree Planting Devices*. Silva Fennica, 43(4): 659-667
- SCA (2019). *Planteringsinstruktion*. SCA Skog, Sundsvall.
- SCA. (2020). *Plantma X - framtidens skogsvårdslösning?* SCA. Nyheter 2020-09.
- Skogforsk (2019). *Framtidens plantering och markberedning*. Skogforsk. Vision nummer 3. s22-24.
- Skogforsk. (2020). *Skogsbrukets kostnader och intäkter 2015-2019*. Nr 43:2020.
- Skogsstyrelsen (2020). *Statistik efter ämne*. Skogsstyrelsen.
<https://www.skogsstyrelsen.se/statistik/statistik-efter-amne/> [2021-02-10].
- SLU. (2020a). *Markinfo: Ståndort: Markfuktighet*. Sveriges lantbruksuniversitet.
- SLU. (2020b). *Miljöanalys: Markprofil: Humuslager*. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Stjernberg, E. (1985). *Tree planting machines- a review of the intermittent-furrow and spot planting types*. Forest Engineering Research Institute of Canada. Special report no. SR-31.
- Sveaskog (2020). *Instruktion för plantering*. Sveaskog.
- Svenska Skogsplantor (2020). *Plantma X maskinuppföljning*. Svenska Skogsplantor. Internmaterial.
- von Hofsten, H. (1997a). *Plantsättning, plantöverlevnad och planttillväxt – en jämförande studie av manuell plantering kontra maskinell plantering med Silva Nova*. Skogforsk, Uppsala. Redogörelse nr 5.
- von Hofsten, H. (1997b). *Plantsättning, plantöverlevnad och planttillväxt- en jämförande studie av manuell och maskinell plantering med Bräcke planter*. Skogforsk, Uppsala. Arbetsrapport 349.

Personlig kommunikation

Kolmodin, Tomas. Produktionschef. Vallsta skogsmaskiner. 2021-02-22.

Okfors, Ebba. Verksamhetsutvecklare. Svenska Skogsplantor. 2021-02-28.

5. Bilagor

5.1. Bilaga 1 –Inventeringsblanketter

Blankett för inventering av planteringsegenskaper i fält.

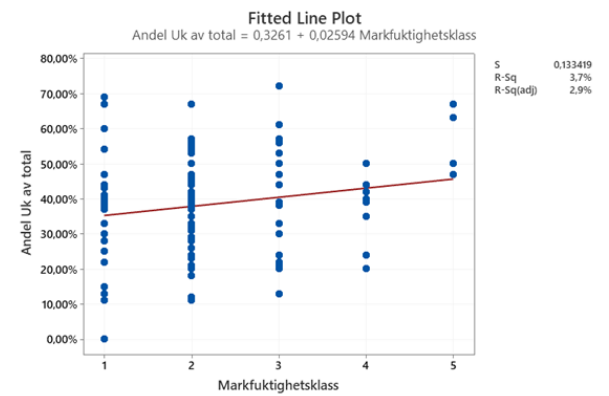
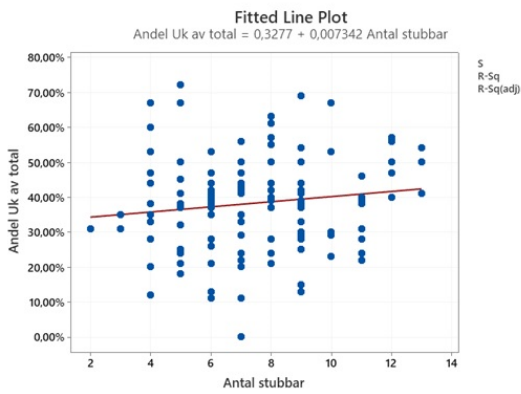
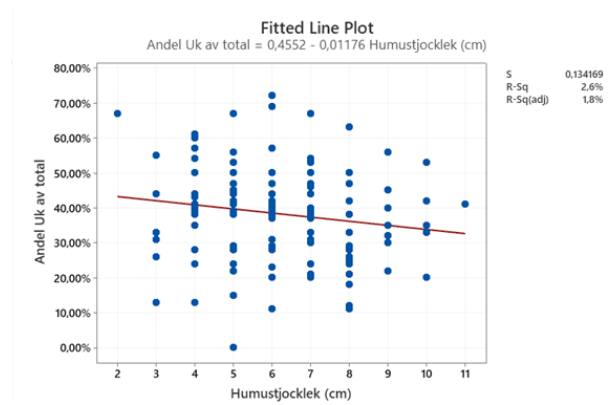
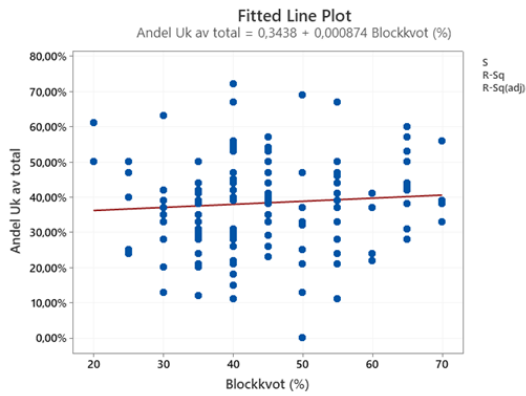
Trakt/objekt:						Datum:						
Antal plantor av respektive planteringsklass						Antal plantor som blivit underkända						
Provyta	Klass 5	Klass 4	Klass 3 (Mineral)	Klass 3 (Torv)	Klass 3 (Humus)	Provyta	Antal planterad	Punkt	Djup	Tilltryckning	Avstånd	Summa UK
1						1						
2						2						
3						3						
4						4						
5						5						
6						6						
7						7						
8						8						
9						9						
10						10						
11						11						
12						12						
13						13						
14						14						
15						15						
16						16						
17						17						
18						18						
Summa:						Summa:						
Medel:						Medel:						

Blankett för terrängbedömning i fält.

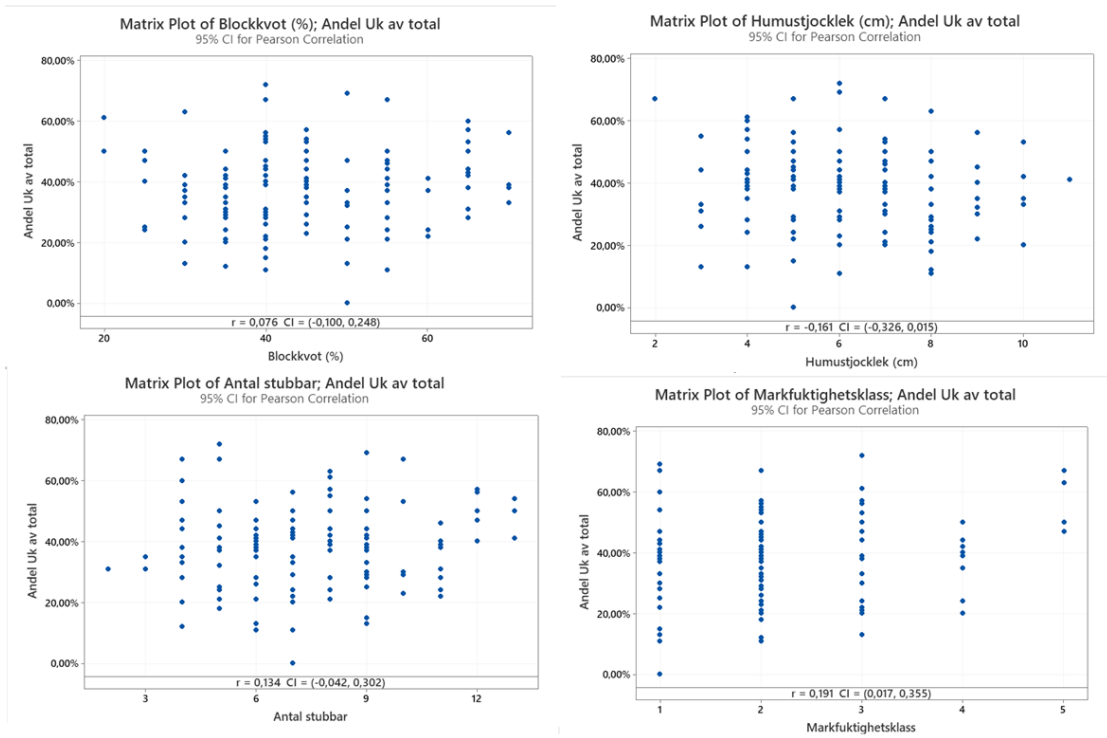
Terrängbedömning								
Jordart	Markfuktighetsklass	Grundförhållanden (G)	Ytstruktur (Y)	Lutning (L)	Block-kvot(%)	Antal stubbar	Humus-tjocklek	Grot-tjocklek
Summa:								
Medel:								

5.2. Bilaga 2

Resultatet från linjär regressionsanalys i Minitab för den maskinella planteringen tillhörande Tabell 3.

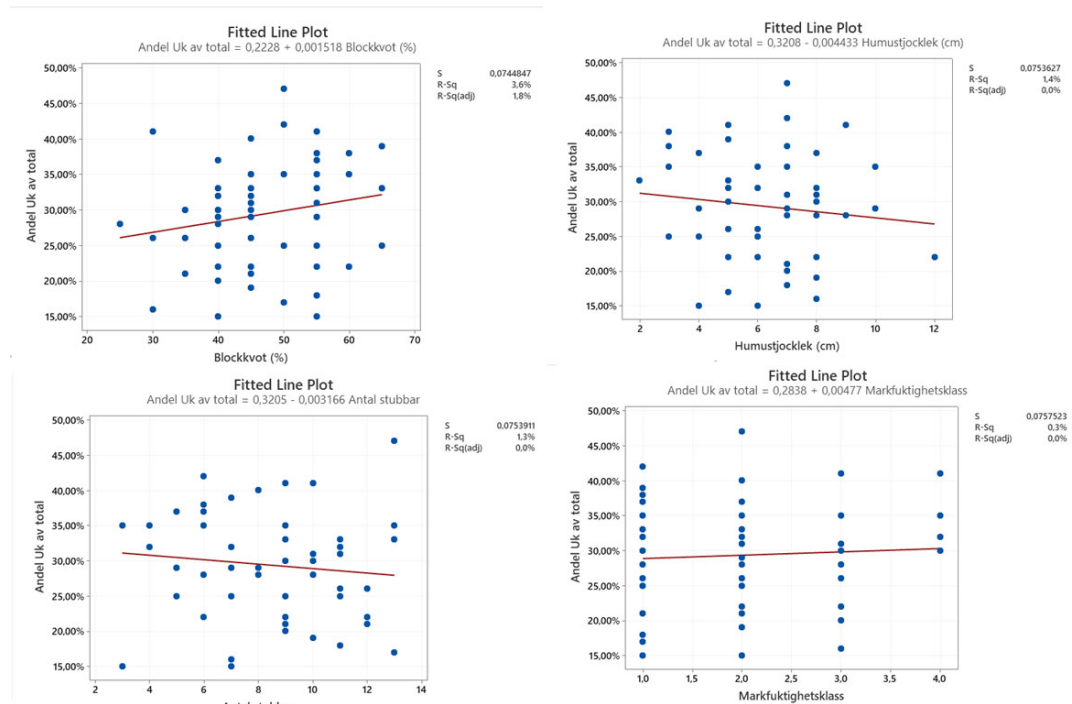


Korrelationstest för den maskinella planteringen tillhörande Tabell 3.

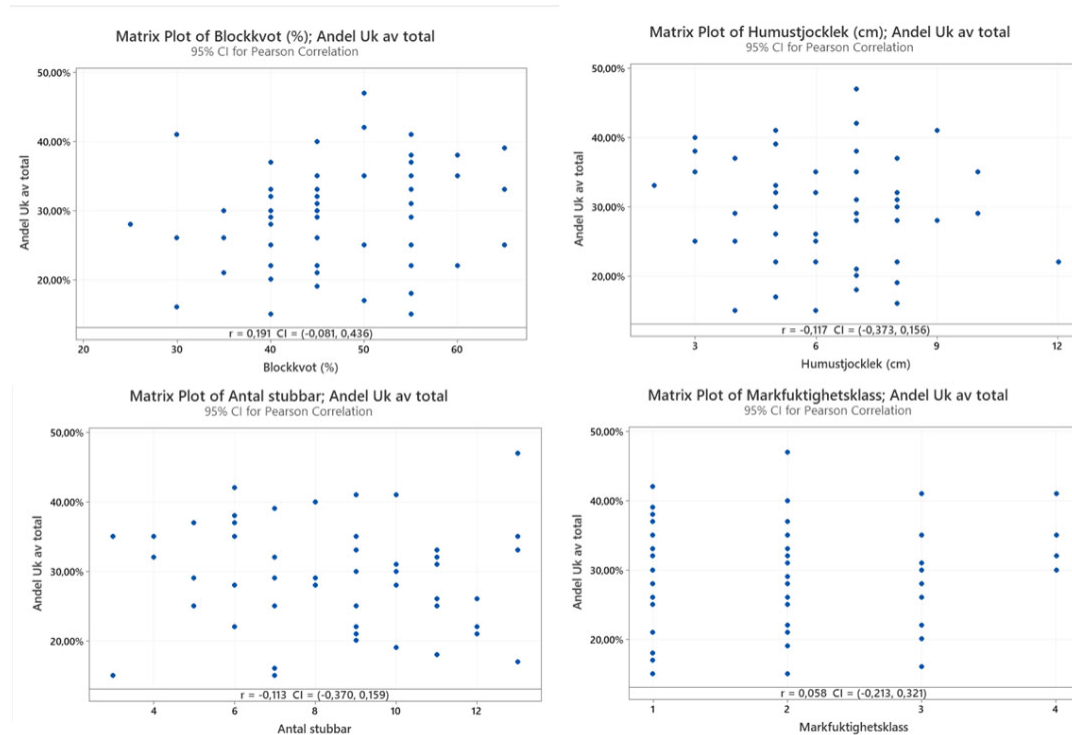


5.3. Bilaga 3

Linjär regressionsanalys för den manuella planteringen tillhörande Tabell 5.



Korrelationstest för den manuella planteringen tillhörande Tabell 5.



5.4. Bilaga 4

Minitab resultat av tvådelat t-test för manuell och maskinell plantering tillhörande Tabell 7.

Method

μ_1 : population mean of Andel Uk av total
 μ_2 : population mean of Andel Uk av total_1
 Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Andel Uk av total	126	0,383	0,135	0,012
Andel Uk av total_1	54	0,2933	0,0752	0,010

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
0,0894	(0,0581; 0,1206)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
5,65	166	0,000

Method

μ_1 : population mean of Andel 4
 μ_2 : population mean of Andel 4_1
 Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Andel 4	126	0,0503	0,0639	0,0057
Andel 4_1	54	0,0881	0,0838	0,011

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
-0,0378	(-0,0632; -0,0125)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
-2,97	80	0,004

Method

μ_1 : population mean of Andel 3
 μ_2 : population mean of Andel 3_1
 Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this ar

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Andel 3	126	0,463	0,119	0,011
Andel 3_1	54	0,348	0,142	0,019

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
0,1151	(0,0712; 0,1590)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
5,21	86	0,000

Method

μ_1 : population mean of Andel 5
 μ_2 : population mean of Andel 5_1
 Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Andel 5	126	0,105	0,105	0,0094
Andel 5_1	54	0,271	0,123	0,017

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
-0,1662	(-0,2044; -0,1281)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
 Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
-8,67	87	0,000

5.5. Bilaga 5

5.5.1. Formelsamling som använts för kostnadsanalys.

$$K_D = K_T / P$$

K_D = Drivningskostnad för aktuell maskin (kr/m³)
 P = Produktivitet (m³ /h)

$$K_T = K_{\text{fast}} + K_{\text{rörl}}$$

K_T = Timkostnad för aktuell maskin (kr/h)
 K_{fast} = Fast kostnad (kr/h)
 $K_{\text{rörl}}$ = Rörlig kostnad (kr/h)

$$K_{\text{fast}} = (K_{\text{kap}} + K_{\text{uf}}) / M$$

K_{kap} = Kapitalkostnad (kr/år)
 K_{uf} = Fast underhållskostnad (kr/år)
 M = Maskinarbetstid (h/år)

$$K_{\text{rörl}} = K_{\text{ur}} + K_{\text{driv}} + K_{\text{för}}$$

K_{ur} = Rörlig underhållskostnad (kr/h)
 K_{driv} = Drivmedelskostnad (kr/h)
 $K_{\text{för}}$ = Förelön (kr/h)

$$K_{\text{kap}} = (I - R_n) \times A$$

I = Investering (kr)
 R_n = Restvärdets nuvärde (kr)
 A = Amorteringsfaktor (Annuitetsfaktor)

$$R_n = R \times (1+i)^{-n}$$

R = Restvärde (kr)
 i = Kalkylränta (%/100)
 n = Ekonomisk livslängd (år)

5.5.2. Uppställning av beräknade data i Excel som användes för framställandet av modeller till kostnadsanalysen.

Produktivitetsnivå (pl/h)	1000	1200	1400	1600	1800
TU (%)	65%	70%	76%	80%	85%
Andel godkända plantor/ha (%)	55%	62%	70%	75%	85%
Målstamantal (antal/ha)	1000	1300	1500	2000	2500
Antal godkända plantor/h	550	744	980	1200	1530
Tidsåtgång per godkänt ha (h/ha)	3,64	2,69	2,04	1,67	1,31
Timkostnad (kr/h)	3115	2443	2664	2307	2251
Kostnad/godkänd planta (kr/pl)	4,19	3,28	3,58	3,10	3,03
Kostnad för varje hektar av godkända plantor (kr/ha)	8374	6567	7161	6202	6051

För beräkningen av modellen med varierad produktionsnivå (Figur 14) gjordes en matris där varje produktionsnivå dividerades med de olika nivåerna av antal godkända plantor.

		Produktivitetsnivå (pl/h)				
Antal godkända plantor/h		1000	1200	1400	1600	1800
55%		550	660	770	880	990
62%		620	744	868	992	1116
70%		700	840	980	1120	1260
75%		750	900	1050	1200	1350
85%		850	1020	1190	1360	1530

För beräkningen av hur kostnaden per hektar ändras av ett förändrat TU användes formelsamlingen i 5.5.1 för att beräkna fram timkostnaden för respektive nivå av TU. Andelen godkända plantor per timme beräknades genom produktionsnivån ($1200 \text{ pl/h}_{(G)}$) *(andelen godkända plantor (62%)) vilket gav 744 godkända plantor per timme. Kostnaden för varje godkänd planta gav sedan av timkostnaden (kr/h) / 744 (godkända plantor per h). Målstamantalet för Plantma X under planteringen i Härjedalen hösten 2020 var 2000 stammar per hektar, för att få kostnaden per hektar multiplicerades kostnaden per godkänd planta med målstamantalet.

För beräkningen av hur den totala kostnaden per hektar påverkas av en förändrad medeltraktstorlek antogs att det mestadels var flyttkostnaden som påverkades.

Först användes formlerna i Bilaga 5.5.1 för att beräkna det nya antalet grundtimmar per år med den nya traktstorleken, en lägre traktstorlek ger ett lägre TU eftersom mer tid går åt till flytt, antalet flyttar ökar när objekten blir mindre då fler objekt per år hinns med samt att timkostnaden ökar. För att räkna ut flyttkostnaden per hektar dividerades flyttkostnaden med antal hektar. Den totala kostnaden beräknades genom att addera flyttkostnaden per hektar, timkostnaden och kostnaden för varje hektar av godkända plantor.

För beräkningen av hur kostnaden per hektar påverkas av ett förändrat målstamantal användes maskinens effektivitet ($ha/h_{(G)}$) för att beräkna hur lång tid det tar att markbereda (tidsåtgång mb) ett hektar mark, detta gjordes genom att dividera $1/0,55 = 1,82 h_{(G)} /ha$.

Vid ett lägre antal målstammar används längre slagmellanrum, vilket gör att produktiviteten ökar (Bjurulf och Westerberg 1992). Med ett slagavstånd av 4 meter och ett målstamantal på 1000 stammar/ha ökar produktionen med 24% (Bjurulf och Westerberg 1992). För att få fram hur många hektar per timme som kan köras med produktionsökningen inräknad dividerades tidsåtgången för markberedningen med produktionsökningen.

Tidsåtgången för planteringen beräknades genom att dividera målstamantalet med antalet godkända plantor per hektar. Den totala kostnaden beräknades genom $(Tidsåtgång \text{ med produktions ökning} * \text{timkostnad}) + (\text{Flyttkostnad} / \text{Traktstorlek}) + ((\text{Målstamantal} / \text{andel godkända plantor} / \text{ha}) * \text{Plantkostnad})$.