



Testodling av jättepoppel-, vårtbjörks-, och tallplantor i torv och granspånssubstrat kombinerat med biokol

*Test cultivation of black cottonwood, silver birch and Scots pine
seedlings in peat and spruce sawdust combined with biochar*

**ALGOT THOREBRING
TOMAS SVARVARE**



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2024:03

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

Testodling av jättepoppel-, vårtbjörks-, och tallplantor i torv och granspåns substrat kombinerat med biokol.

Test cultivation of black cottonwood, silver birch and Scots pine seedlings in peat and spruce sawdust combined with biochar

Algot Thorebring

Tomas Svarvare

Handledare: Daniel Gräns och Elisabeth Wallin, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Eric Sundstedt, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX0938

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2024

Omslagsbild: Vårtbjörksplantor växande i fem olika substratblandningar efter sju veckors testodling. Foto: Tomas Svarvare

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2024:03

Nyckelord: odlingssubstrat, täckrotsplantor, odlingsförsök



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Sammanfattning

På 1960-talet började man i stor skala använda torv som substrat vid odling av skogsplanter i kassetter, så kallade täckrotsplanter. Detta på grund av torvens goda förmåga att hålla vatten, syre och näringsämnen. Torvens egenskaper förbättrade möjligheterna att genom gödsling och kalkning reglera näringstillgången och pH-värdet i odlingssubstratet. Problemet med torvskörd är dess miljöpåverkan då den dikade torvmarken läcker ut växthusgaser. Dessutom förmultnar den skördade torven och frigör snabbt växthusgaser. Den vanligaste efterbehandlingen av torvtäkter har historiskt varit utdikning av området som sedan omvandlats till produktiv skogsmark. Detta förfarande har på senare år ifrågasatts eftersom markerna då även fortsatt släpper ut stora mängder lustgas i samband med den kvarvarande torvens förmultning. Kalkens funktion i odlingssubstratet är att höja pH-värdet i odlingsstorven till ett gynnsamt värde för skogsplanter. Problemen med användning av kalk inom växtodlingen är främst kopplade till framställningen av bränd kalk som innebär att stora mängder koldioxid frigörs.

Sågsån har i viss utsträckning och hittills med varierande framgång testats som ersättning för odlingsstorv. Dagens intresse för alternativ till odlingsstorv gör sågsån till ett intressant möjligt odlingssubstrat för skogsplanter och därför fortsätter försöken. Biokol kan framställas av exempelvis restströmmar från massaindustrin genom två metoder, pyrolys där s.k. pyrokol skapas eller hydrotermisk karbonisering där s.k. hydrokol skapas. Biokol är basiskt och har en god förmåga att binda näringsämnen i odlingssubstratet. Därför är det av intresse att undersöka effekterna av biokolblandning i odlingssubstrat som används för skogsplantproduktion. Intresset för plantering av lövträd har på senare år vuxit inom skogsbruket. Detta tack vare ökade ambitioner gällande biologisk mångfald och en önskan om mer variation i landskapet. En del studier har även via simuleringar visat att trädslag som vårtbjörk och tall skulle gynnas i ett varmare klimat medan gran skulle missgynnas.

I denna studie följdes under sju veckors odling i olika substrat tall- björk- och poppelplantors höjdtutveckling och rothalsdiameter tillväxt. Dessutom bestämdes när odlingen avslutats plantornas rot/skott-kvot, mängden grönbiomassa samt biomassans kväveinnehåll. Under pågående odling mättes även substratens pH-värde och s.k. ledningstal i pressvattnet för att få information om hur mycket näring som utlakades. Odlingssubstraten bestod av vanlig grundkalkad odlingsstorv (kontroll), samt fyra andra olika substrat med kombinationer av ej grundkalkad odlingsstorv, biokol och gransågsån. En hypotes var att tillväxten skulle skilja sig mellan planter i substrat bestående av ej grundkalkad torv samt planter i substratsblandningen med ej grundkalkad torv och sågsån. Dessutom testades hypotesen att plantorna i substratsblandningen innehållande ej grundkalkad torv och biokol skulle ha en högre tillväxt än plantorna odlade i enbart ej grundkalkad torv.

För vårtbjörk gav substratet innehållande ej grundkalkad odlingsstorv och biokol den bästa höjd- och rothalsdiameter tillväxten med 174,4 mm respektive 2,23 mm. Tillväxten och kvävehalten i biomassan var generellt lägre i odlingssubstraten innehållande sågsån. För vårtbjörk och tall odlade i ej grundkalkad odlingsstorv blandad med gransågsån var den genomsnittliga totala höjdtillväxten under odlingen 24,4 mm respektive 42,1 mm. För odlingssubstratet innehållande ej grundkalkad odlingsstorv, gransågsån och biokol var motsvarande siffra 32,5 mm respektive 40,8 mm. Hypotesprövningen gällande skillnader i mängden producerad grönbiomassa visade att för tall var skillnaden mellan substraten ej signifikant medan den för vårtbjörk var signifikant. Resultatet kan dock ifrågasättas på grund av stora skillnader i standardavvikelsen mellan de två samplen. På grund av initialt låg överlevnad, troligen kopplad till för lång lagring av sticklingarna före plantering, så kunde inga säkra slutsatser dras gällande poppelplantornas tillväxt.

Slutligen kan det konstateras att odlingssubstraten innehållande ej grundkalkad odlingsstorv och sågsån hade en lägre höjdtillväxt jämfört med substraten bestående av enbart icke grundkalkad odlingsstorv. Resultaten för vårtbjörk sådd i icke grundkalkad odlingsstorv och biokol tyder på en högre grönbiomassa jämfört med vårtbjörk sådd i enbart icke grundkalkad odlingsstorv. Med de analysmetoder som fanns att tillgå kunde inte alla observerade skillnader bevisas statistiskt och därför bör ytterligare och större odlingsförsök genomföras.

Nyckelord: odlingssubstrat, täckrotsplanter, odlingsförsök

Abstract

In the 1960s, utilization of peat as a cultivation substrate for containerized seedlings became common practice. This was because of its ability to hold water, oxygen, and nutrients. The natural low pH and nutrient content facilitates control the nutrient availability and pH levels of the substrate through fertilization and liming. Harvesting of peat causes environmental impacts however, as the drained peatland emits greenhouse gases. In addition, the harvested peat is usually rapidly decomposed, which also releases greenhouse gases. The most common land use following peat extraction is to drain the site and convert it into productive forest land. This practise has been questioned in recent years due to large emissions of nitrous oxide following the treatment. Often, lime is added to the peat based cultivation substrate to raise the pH levels and make growing conditions more favourable for forest tree seedlings. The problem associated with using lime in plant cultivation is that the production processes, especially of so-called quicklime emits large quantities of carbon dioxide. To some extent, sawdust has already been tested as a growing media to possibly replace peat, with varying degrees of success. Today's interest in alternatives to peat makes sawdust an interesting cultivation substrate and therefore additional research is now conducted. Biochar may be interesting as a substitute for lime in some cases. Biochar can be produced by two methods, pyrolysis where so-called pyrocarbon is created or hydrothermal carbonization where so-called hydrocarbon is created. Biochar possess a good ability to bind nutrients in the cultivation substrate and is alkaline. Planting of deciduous trees such as silver birch is becoming increasingly popular in forestry, partly as a result of an increasing interest in biodiversity and to help maintain more variation in the forest landscape. Also, some simulations show that species such as silver birch and Scots pine may be better adapted to a rapidly changing climate than for example Norway spruce.

The aim of this study was to investigate differences in height development, root neck diameter, root/shoot ratio, the amount of green biomass produced and its nitrogen content for Scots pine and silver birch seedlings and poplar cuttings after six weeks of cultivation in different substrates. In addition, pH levels, and press water conductivity was monitored for all substrates to investigate possible differences in nutrient leakage during cultivation. The cultivation substrates consisted of a control with standard limed peat, and various combinations of non-limed peat, biochar and Norway spruce sawdust. The hypotheses tested were that plants in the substrate consisting of non-limed peat and the plants in the substrate mixture of non-limed peat and sawdust would have different average height growth when compared. In addition, the hypothesis that the plants grown in the substrate mixture containing non-limed peat and biochar would have produced a higher amount of green biomass compared to the plants sown in non-limed peat only was tested.

For silver birch, the substrate containing non-limed peat and biochar had the best height growth, 174.4 mm, and root neck diameter growth, 2.23 mm, in the experiment. The lowest growth and biomass nitrogen content was registered for the substrates containing spruce sawdust. For silver birch and Scots pine grown in a mix of non-limed peat and sawdust, the average total height growth was 24.4 mm and 42.1 mm respectively. Differences in produced biomass between different substrates were not significant for pine while for silver birch, they were significant. Large differences were found in the standard deviation between the two samples however so the results can be questioned. Due to low survival of the poplar cuttings after planting, probably due to long storage and late planting, no conclusions could be drawn regarding their growth in this experiment.

Finally, it can be concluded that the cultivation substrates containing a mix of non-limed peat and sawdust had a lower height growth compared to the substrates consisting of non-limed peat only. The growth data for silver birch sown in a mix of non-limed peat and biochar showed higher green biomass production compared to silver birch sown in non-limed peat only. With the data analysis methods we had available, several observed differences between treatments could were statistically significant. Further trials with larger sample sizes are therefore recommended.

Keywords: growth substrate, containerized plants, plant trials

Förord

Vi vill börja med att rikta ett stort tack till Daniel Gräns och Elisabeth Wallin som har varit våra handledare och gett oss stöd och input under hela tiden. Vi vill även tacka Anders Lindström, SLU som har varit med och utformat studien. Ytterligare tack till Anders Håkansson från Scanpeat som har försett oss med kalk samt torv till vår studie. Även tack till Åke Törnqvist på Älgsjö såg AB som bistod med gransågspån samt Maria Sandberg vid Karlstads universitet som bidragit med biokol. Ett sista tack vill vi rikta till Staffan Stenhag på SLU som har hjälpt oss och gett input gällande de statistiska delarna.

*Algot Thorebring
Tomas Svarvare*

Skinnskatteberg, December -23

Innehåll

1. INLEDNING	1
1.1 TORVENS HISTORIA SOM ODLINGSSUBSTRAT	1
1.2 SKÖRDETEKNIKER.....	1
1.3 TORVTÄKTERNAS INVERKAN PÅ MILJÖN	2
1.4 KALKENS FUNKTION VID ODLING I TORVBASERADE SUBSTRAT	3
1.5 FRAMSTÄLLNING AV OCH EGENSKAPER HOS BOKOL.....	3
1.6 FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR LÖVTRÄD I FRAMTIDEN	4
1.7 TIDIGARE STUDIER KRING ALTERNATIVA ODLINGSSUBSTRAT	5
1.8 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	5
2. MATERIAL OCH METOD	6
2.1 FÖRSÖKSETABLERING	6
2.2 MÄTNINGAR.....	8
2.3 SLUTMÄTNING	9
2.4 DATAANALYS	13
3. RESULTAT	14
3.1 GRONINGSRESULTAT FÖR FRÖN OCH STICKLINGAR	14
3.2 HÖGT BORTFALL AV JÄTTEPOPPELSTICKLINGAR	14
3.3 LEDNINGSTALENS UTVECKLING	15
3.3.1 JÄTTEPOPPEL.....	15
3.3.2 VÅRTBJÖRK.....	15
3.3.3 TALL	16
3.4 PH-VÄRDETS UTVECKLING	17
3.4.1 JÄTTEPOPPEL.....	17
3.4.2 VÅRTBJÖRK.....	17
3.4.3 TALL	18
3.5 ROTHALSDIAMETERNS UTVECKLING	18
3.5.1 JÄTTEPOPPEL.....	18
3.5.2 VÅRTBJÖRK.....	19
3.5.3 TALL	19
3.6 HÖJDUTVECKLING	20
3.6.1 JÄTTEPOPPEL.....	20
3.6.2 VÅRTBJÖRK.....	20
3.6.3 TALL	21
3.7 ROT/SKOTT- KVOT	22
3.7.1 JÄTTEPOPPEL.....	22
3.7.2 VÅRTBJÖRK.....	22
3.7.3 TALL	22
3.8 GRÖNBIOMASSA.....	23
3.8.1 VÅRTBJÖRK.....	23
3.8.2 TALL	23

3.9 KVÄVEANALYS.....	24
3.9.1 VÅRTBJÖRK.....	24
3.9.2 TALL.....	24
<u>4. DISKUSSION</u>	<u>25</u>
4.1 FELKÄLLOR	27
4.2 SLUTSATS.....	28
<u>REFERENSER.....</u>	<u>29</u>
BILAGA 1.....	32
BILAGA 2.....	33
BILAGA 3.....	34
BILAGA 4.....	35

1. Inledning

1.1 Torvens historia som odlingssubstrat

Redan i slutet på 1800-talet var torv ett viktigt odlingssubstrat för spannmål och djurfoder enligt Runefelt (2010) som beskriver någonting som har kommit att kallas för mosskultur. Mosskultur är odling av spannmål och grödor på dränerade mossar, kärr och myrar och detta var under 1900-talets början ytterst viktigt för att få fram livsmedel till Sveriges snabbt växande befolkning. Torvens betydelse för svenskt jordbruk minskade efter första världskriget och mosskultur kom att klassas som omodernt efter andra världskriget (Runefelt 2010). Än idag används dock vissa av dessa dikade marker med äldre mosskulturer för växtodling.

Torv fick ett nytt uppsving under 1930-talet i Storbritannien som ett odlingssubstrat för trädgårdsplanter och denna utveckling sammanfattas av t.ex. Joeris (2022). Man insåg att planter som odlades i kassetter kunde missgynnas av den begränsade volymen i krukans och tankens vatten- och näringsbehov. Dessutom började odlingsstorven kalkas för att ytterligare förbättra möjligheterna till att hålla god odlingshygien. Odlingssubstratet som bestod av 25 procent torv bar namnet "*John Innes Compost*" och fick stort genomslag i Storbritannien (Agarwal et al. 2021).

Ett liknande odlingssubstrat som bestod av ca 70 procent torv och ca 30 procent lera patenterades i Tyskland år 1948 under namnet "*Enhetsjord*" (Baker 1957). Denna enhetsjord kan antas vara ursprunget till eller åtminstone ha inspirerat utvecklingen av de svenska torvodlingssubstraten som användes under 1960-talet (Joeris 2022). Enligt Carlile et al. (2019) konstaterades av Baker (1957), Penningsfeld och Kuzmann (1966) samt Woods och Kenny (1968) att ren torv lämpade sig utmärkt som odlingssubstrat för täckrotsplanter generellt. Idag har odlingssubstrat baserade på ren torv en överväldigande marknadsandel vilket innebär att skogsplanteskolorna i Sverige ofta är anpassade till ett torvbaserat odlingssubstrat (Joeris 2022). Odlingsbranschen har sedan 1960-talet nyttjat torven för dess goda förmåga att hålla och avge vatten, syre och flertalet näringsämnen. I Sverige slog produktionen av odlingsstorv rekord år 2002 då 1,8 miljoner kubikmeter torv skördades på myrmarker och mossar runt om i Sverige (Runefelt 2010).

Enligt Hansen et al. (2016) bedrevs år 2016 torvskörd på 12 500 hektar torvmark av de totala 6 600 000 hektar torvmark som finns i Sverige. Detta stöds av branschföreningen "Svensk torv" som år 2023 redovisade att torvskörd bedrevs på 12 500 hektar torvmark (Svensk torv 2023) vilket innebär att 0,2 procent av den svenska torvmarken användes till torvskörd.

1.2 Skördetekniker

Tillvägagångssätten vid torvskörd har tidigare beskrivits i olika kunskapsammansättningar och här följer ett kort sammandrag baserat på Runefelt (2010). Torvmossen bör dräneras så att den håller en fukthalt om 30 – 35 procent vid tidpunkten för skörd. Detta är ungefär samma fukthalt som för

färdigproducerad odlings- och energitorv. Vatten avleds från torvmarken via diken som sedan leder ut det överblivna vattnet i ett större vattendrag eller dike. Metodiken för att skörda torv är i stort sett oförändrad sedan 1950-talet och de två största slutprodukterna från de vanligaste skördemetoderna är s.k. ”sticktorv” och ”frästorv” (Runefelt 2010).

Framtagning av sticktorv är det traditionella sättet att skörda torv och går till på så sätt att myrområdet som ska skördas delas in i stråk. Utgrävningen sker därefter antingen med grävmaskin eller med spade i zonen mellan stråken. Schaktet kommer sedan fungera som ett dräneringsdike för den kvarvarande torven runtom. De skördade blocken med torv läggs sedan upp på sidan av schaktet för att tillfrysas under vintern eftersom detta ökar torvens vattenhållande egenskaper. Efter vintern lämnas torven till att torka och vänds på med jämna mellanrum för att sedan transporteras och packas i fabrik (Runefelt 2010).

Metoden för att utvinna frästorv är ett billigare sätt att skörda torv då nästan hela kedjan är automatiserad och detta skulle kunna klassas som ett mer rationellt tillvägagångssätt. Det går till på så sätt att det översta torvlagret (1- 2 centimeter) fräses till ett pulver (för odlingstorv kan en harv nyttjas med gott resultat) och lämnas sedan till att torka under ett par dagar på torvmarken (beroende på väderförhållande). Därefter paketeras torven och transporteras vidare. Vid goda väderförhållanden kan upp mot tio skördar genomföras under en sommar och även om mängden utvunnen torv sjunker för varje skörd är skördenivåerna ändå jämförbara med metoden för framtagning av sticktorv (Runefelt 2010).

1.3 Torvtäkternas inverkan på miljön

I Sverige är det lagstadgat att efter avslutad torvskörd efterbehandla området i enlighet med lagen om vissa torvfyndigheter (1985:620) och sedermera nionde kapitlet i miljöbalken (1998:808). Observera att lagen om vissa torvfyndigheter är upphävd sedan 1 januari 2017 men att vissa befintliga torvtäkter kan ha tillstånd baserade på tidigare lagstiftning (Naturvårdsverket 2023). En preliminär plan för efterbehandling av torvmarken ska finnas med redan i ansökan för öppnande av torvtäkter. För detta finns flera alternativ att välja mellan och några av dessa är; beskogning, anläggning av sjö/våtmark, naturlig återbildning, betes- eller åkermark, naturlig självrensning av avloppsvatten eller annan markanvändning (Hansen et al. 2016). Den vanligast planerade metoden har tidigare varit utdikning av torvmarken följt av beskogning (Hansen et al. 2016) men enligt Weslien (2009) så minskar kanske inte återbeskogning av dränerade torvmarker utsläppen av växthusgaser tillräckligt på grund av de stora mängder lustgas (N₂O) som frigörs vid torvens förmultning. Den av Naturvårdsverket (2016) förespråkade metoden är skapande av nya våtmarker för att bidra till en rik biologisk mångfald och ökad landskapsdynamik (Hansen et al. 2016).

Negativa effekter, som att ”Dikade torvmarker läcker växthusgaser” och att ”Läckaget ökar vid torvutvinning” behandlas i rapporten ”Torvutvinningens och torvanvändningens klimat- och miljöpåverkan” utgiven av Naturvårdsverket (2016). I rapporten påvisas att det kan dröja så mycket som 50 till 100 år under gynnsamma förhållanden för en torvtäkt som efterbehandlats innan den

kompenserat för uppkommen klimatpåverkan. Samma rapport behandlar även problemet med torv som odlingssubstrat ur ett hållbarhetsperspektiv. Skördad torv förmultnar snabbt och frigör den bundna koldioxiden vid nedbrytning.

1.4 Kalkens funktion vid odling i torvbaserade substrat

De barrplantor som används i det svenska skogsbruket idag trivs bäst i ett substrat med pH-värde runt 5-6 (Johansson 2008). Den poppel som odlas i Sverige har svårt att växa på surare skogsmarker eftersom trädslaget föredrar ett pH-värde på 5 eller högre (Hjelm & Rytter 2016). Vårtbjörken klarar av betydligt surare marker och kan växa på marker med pH-värde ner mot 3,5 (Ericsson & Lindsjö 1981). Den odlingsstorv som nyttjas till skogsplantodling idag har ofta ett lågt pH-värde runt 4.0 - 4.5. För att höja pH-värdet i odlingssubstratet grundkalkas det till pH 5.4 - 6.5 vilket kan anses som lämpligt för de flesta plantor (Jackson et al. 2009). Detta innebär att olika sorters kalk blandas in i torven. Så kallad lithokalk innehåller; kalcium (Ca), bränd kalk (CaO) och kalksten bestående av kalciumkarbonat (CaCO₃) (Agromer 2007). Kalkbrytningen som krävs för att utvinna dessa material och i synnerhet produktionen av bränd kalk resulterar i utsläpp av växthusgaser (CO₂) och påverkar även på andra sätt miljön negativt (Simoni et al. 2022). Vidare släpper även kalciumkarbonaten som kalkstenen består av ut CO₂ när den kommer i kontakt med vatten och bildar då kolsyra (H₂CO₃) (Biasi et al. 2008).

1.5 Framställning av och egenskaper hos biokol

Biokol kan framställas genom olika processer. Vid så kallad pyrolys framställs pyrokol. Detta görs genom att biomassa (ofta restprodukter) hettas upp till 350 – 1 000 grader Celsius i en syrefattig miljö. Upphettningen gör att biomassan förkolnas och när pyrolysen är klar återstår biokol som innehåller cirka 70 procent kol (C) samt olika icke organiska ämnen, såsom fosfor, kalium, karbonater och metaller (Bäckman 2022). Den kemiska sammansättningen varierar beroende på vilken typ av biomassa som används i processen samt pyrolysisprocessens temperatur. Det finns vissa egenskaper som är gemensamma för denna typ av biokol. Bland annat är de stabila och reagerar mycket lite kemiskt med omgivande miljö. Tack vare den porösa strukturen har dessa biokol hög vattenhållande förmåga. Utöver tidigare nämnda gemensamma egenskaper har biokol en hög förmåga att binda näringsämnen samt är en bra miljö för mikroorganismer på grund av de mikroskopiska sprickorna som uppkommer i materialet (Fransson et al. 2020).

Hydrokol är en annan typ av biokol som framställs med hjälp av så kallad hydrotermisk karbonisering (HTC), även kallat våt hydrolys kombinerat med våtoxidation. Denna process görs genom att vått slam från reningsverk tas till vara och hettas upp till 180 - 260 grader Celsius under högt tryck (2 - 6 MPa) i en syrefattig miljö med vatten (Akhlaghi 2022). Processen kan pågå mellan 5 - 240 min. Sedan behöver materien avvattnas då den är våt när den tas upp. Detta görs genom så kallad mekanisk avvattning. En fördel med denna process för att framställa biokol är att ingen förtorkning krävs då biomassan ska vara våt när processen utförs, alltså undviker man extra energiåtgång för att torka materialet (Akhlaghi 2022).

Tillsatser av biokol kan ge förbättrade egenskaper hos odlingssubstrat (Bäckman 2022). Enligt Eskandari et al. (2019) gav inblandning av biokol positiva resultat vid odling av tallplantor. Resultaten från denna undersökning visade bland annat att rothalsdiametern för tall odlad i torvsubstrat med en 20-procentig inblandning av biokol var betydligt större jämfört med tallplantor odlade i substrat utan inblandning av biokol. Man såg även att det krävdes mindre gödsel för att få en liknande rot/skott-kvot som för tallplantor i substrat utan biokol (Eskandari et al. 2019). Det har konstaterats att urlakningen av näringsämnen minskat vid tillsats av biokol tack vare en god katjonbyteskapacitet, samt en förbättrad vattenhållningsförmåga eftersom biokol innehåller många porer som håller vatten (Bäckman 2022). Utöver de tidigare nämnda ur odlingssynpunkt positiva effekterna ändras även substratens struktur och kolhalt vid tillsats av biokol (Bäckman 2022). Biokol består av stabilt kol vilket tar lång tid att bryta ner. Detta gör det möjligt att lagra kol i biomassa istället för att biomassan bryts ned fort och kolet frigörs i form av koldioxid (CO₂). Kolinlagringspotentialen beror på hur stabilt biokolet är. Ju mer stabilt, desto längre kan kolet lagras i marken. Hur stabilt biokolet är beror på vilken biomassa det framställts från (Akhlaghi 2022).

1.6 Förutsättningar för lövträd i framtiden

Sverige har historiskt haft ett förhållandevis kallt klimat på grund av dess geografiska läge. Dock förändras klimatet på grund av den globala uppvärmningen. Detta betyder att de trädslag som länge har nyttjats för produktion inom den svenska skogssektorn kanske inte kommer att växa lika bra i framtiden. Enligt en studie gjord av Nissinen et al. (2020) kan vårtbjörk och tall vara de trädslag som har bäst förutsättningar i ett framtida varmare klimat. De fann att vid en simulerad klimatuppvärmning om 1,3 grader som varade under två växtsäsonger så hade vårtbjörksplantor som utsattes för värmebehandlingen en ökad höjdtillväxt motsvarande 43 procent och en ökad diametertillväxt om 19 procent samt en ökad skottbiomassa om 41 procent jämfört med de plantor som inte utsattes för den simulerade uppvärmningen. Liknande siffror kunde i den aktuella studien redovisas för tall men de kom fram till att gran inte frodades på samma sätt vid en högre temperatur. Tallen är redan i dagsläget ett viktigt trädslag i det svenska skogsbruket då det under år 2022 levererades 229 miljoner tallplantor för plantering (Skogsstyrelsen 2023).

Vidare är intresset för alternativa trädslag ämnade för produktion stort inom skogssektorn och kan ses som ett verktyg för att nå Sveriges långsiktiga mål om netto noll utsläpp 2045 (Trees for me 2023; Naturvårdsverket U.Å.). Projektet *“Trees for me”* drivs av forskare från SLU (Sveriges lantbruksuniversitet) och LTU (Luleås tekniska universitet) i samarbete med skogssektorn och Energimyndigheten (Trees for me 2023). Projektets vision är: *“att utnyttja de snabbväxande lövträdsarterna vårtbjörk, asp, poppel och hybridasp. Förutom att bidra till ökad diversitet kan kortare omloppstider och ökad produktion bidra till att bygga ett hållbart energisystem på relativt kort sikt.”* (Trees for me 2023).

1.7 Tidigare studier kring alternativa odlingssubstrat

En tidigare studie med gransågspån som odlingssubstrat visade att höjdtillväxten för tall och vårtbjörk som odlats i en blandning av 50 procent grundkalkad torv och 50 procent gransågspån var något lägre än för de plantor som odlats i 100 procent grundkalkad torv. Även diametertillväxten var något lägre för tall och vårtbjörk som odlats i det blandade substratet. Rot/skott-kvoten (som uttrycker förhållandet mellan skott- och rot-del) för vårtbjörk var något lägre medan den för tallen var marginellt högre i ovan nämnda blandade substrat jämfört med plantor odlade i enbart torv. Kväveinnehållet i grönbiomassan var något lägre i de plantor som odlats i blandningen av grundkalkad torv och gransågspån, särskilt för björk men i viss mån även för tall (Bodell & Westlund 2023).

1.8 Syfte och frågeställningar

Syftet med detta examensarbete var att studera utvecklingen av vårtbjörk (*Betula pendula*), jättepoppel (*Populus trichocarpa*) och tall (*Pinus sylvestris*) i olika substrat och blandningar av substrat. De testade substraten bestod av biokol (hydrokol + pyrokol), gransågspån, samt grundkalkad och icke grundkalkad odlingsstorv.

Försöksodlingen gjordes i syfte att undersöka vilka substrat och blandningar av substrat som fungerade bäst för plantor av olika trädslag under de förutsättningar som gavs i växthus och som kan antas likna förutsättningarna i en skogsplantaskola. I studien undersöktes även möjligheten att använda biokol som ersättning för grundkalkning av odlingsstorv för att höja pH-värdet i torvs substrat.

Följande hypoteser testades: Försöksleden med ej grundkalkad odlingsstorv och gransågspån och försöksleden med ej grundkalkad odlingsstorv har olika medelhöjdtillväxt. Försöksleden med substrat innehållande ej grundkalkad torv och biokol har i medeltal mer grönbiomassa än försöksleden innehållande endast ej grundkalkad odlingsstorv.

2. Material och metod

2.1 Försöksetablering

För att framställa odlingssubstraten användes olika kombinationer innehållande ett eller flera av följande material: Blocktorv (fraktion 3–10 mm och 3–18 mm), lithokalk, torrt gransågspån (fukthalt cirka 8 procent) samt biokol. Sågspånet hade hämtats från ett gransågverk och fraktionsfördelningen bestod av fyra procent 0 – 0,25 mm, åtta procent 0,25 – 0,5 mm, 19 procent 0,5 – 1 mm, 44 procent 1 – 2 mm, 23 procent mellan 2 – 4 mm och två procent mellan 4 och 8 mm. Sågspånet bestod av cirka 50 procent splintved och 50 procent kärnved. Biokolet bestod av 50 procent hydrokol och 50 procent pyrokol som innan det blandades hade stötts i en mortel.

Totalt fem olika substratblandningar användes i försöket. Procentandelarna baseras på volym och mängden ej grundkalkad torv eller ej grundkalkad torv och gransågspån som nyttjades i försöket var cirka 25 liter per substrat.

- 100 % grundkalkad torv
- 100 % ej grundkalkad torv
- 90 % ej grundkalkad torv + 10 % biokol
- 50 % ej grundkalkad torv + 50 % sågspån
- 45 % ej grundkalkad torv + 45 % sågspån + 10 % biokol

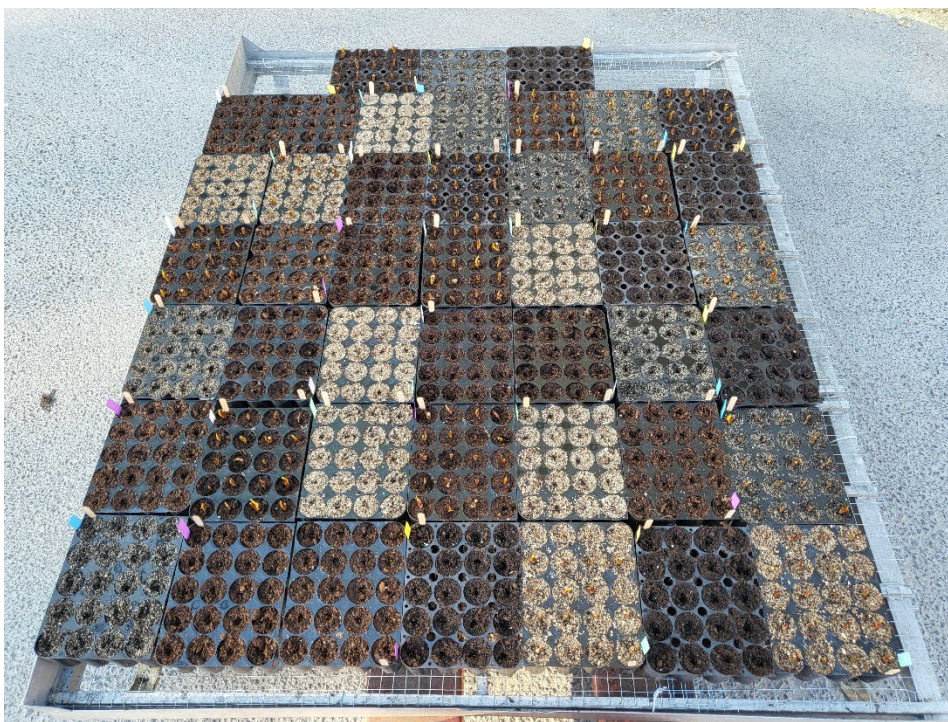
En betongblandare användes för att göra iordning de olika substratkombinationerna. Först mixades innehållet utan tillsatt vatten och därefter hölls respektive blandning upp i separata plastbackar. Till varje plastback som innehöll cirka 25 liter torrt substrat tillsattes därefter cirka sex liter vatten. Substraten förvarades sedan i backarna under två dygn så att vattnet kunde absorberas. Därefter mixades innehållet ytterligare en gång i betongblandaren. När substraten var färdigblandade fylldes de i odlingskassetter (HIKO V93) med en behållarvolym på 93 ml. Kassettenheter hade kapats till från större kassetter till en storlek om 20 krukor/kassett (4*5 plantor). Samtliga försöksled syns i figur 1 där det tydligt syns skillnad på de olika substratkombinationer som undersöktes. Bilden är tagen direkt efter första bevattningen i samband med sådd och plantering.

Tall (*Pinus sylvestris*) av proveniens Hade såddes i en tredjedel av kassetterna och vårtbjörk (*Betula pendula*) av proveniens Hausjärvi såddes i en tredjedel av kassetterna. I den resterande tredjedelen sattes sticklingar av jättepoppel (*Populus trichocarpa*) från klonen SnowTiger 6. Sådd och plantering av sticklingar skedde den 11:e juni 2023. Sticklingarna klipptes från poppelplantor i fält under april och hade förvarats i kylrum fram till planteringen. Totalt bestod försöket av följande 15 försöksled där varje försöksled hade tre upprepningar (kassettenheter) vilket gav totalt 60 plantor per försöksled:

Försöksled 1: 100 % Grundkalkad torv, Jättepoppel

Försöksled 2: 100 % Grundkalkad torv, Vårtbjörk

Försöksled 3: 100 % Grundkalkad torv, Tall
 Försöksled 4: 100% Ej grundkalkad torv, Jättepoppel
 Försöksled 5: 100 % Ej grundkalkad torv, Vårtbjörk
 Försöksled 6: 100 % Ej grundkalkad torv, Tall
 Försöksled 7: 90 % Ej grundkalkad torv + 10 % Biokol, Jättepoppel
 Försöksled 8: 90 % Ej grundkalkad torv + 10 % Biokol, Vårtbjörk
 Försöksled 9: 90 % Ej grundkalkad torv + 10 % Biokol, Tall
 Försöksled 10: 50 % Ej grundkalkad torv + 50 % sågspån, Jättepoppel
 Försöksled 11: 50 % Ej grundkalkad torv + 50 % Sågspån, Vårtbjörk
 Försöksled 12: 50 % Ej grundkalkad torv + 50 % Sågspån, Tall
 Försöksled 13: 45 % Ej grundkalkad torv + 45 % Sågspån + 10 % Biokol,
 Jättepoppel
 Försöksled 14: 45 % Ej grundkalkad torv + 45 % Sågspån + 10 % Biokol,
 Vårtbjörk
 Försöksled 15: 45 % Ej grundkalkad torv + 45 % Sågspån + 10 % Biokol, Tall



Figur 1. Odlingsförsöket med samtliga upprepningar för de olika försöksleden direkt efter sådd och plantering av sticklingar i odlingskassetter med fem olika varianter av substrat.

Tall och vårtbjörk såddes med hjälp av flerkornssådd i öppna såddhål vilket innebar att flera frön såddes i ett öppet hål i varje kruka för att få minst en groddplanta per kruka. Jättepoppel sattes i form av små sticklingar genom att en stickling med en knopp stacks ned i varje kruka. Nio dagar efter att de sådda plantorna grott kontrollerades gröningsresultatet. Efter kontrollen hjälpplanterades groddar så det fanns minst en groddplanta per kruka i varje kassett där det var möjligt. Hjälpplanteringen skedde genom att en groddplanta plockades upp ur en kruka där det fanns fler än en groddplanta och sedan försiktigt med hjälp en grillpinne planterades den i den tomma behållaren. När plantorna stabiliserat sig ytterligare gjordes en enkelställning vilket skedde i samband med andra mättilfället som ägde rum den 28/6. Enkelställningen gjordes med hjälp av en

pincett där plantor försiktigt plockades från de krukor där fler än en planta grott tills det enbart fanns en planta i varje kruka.

Från och med att plantorna såddes och planterades skedde bevattning manuellt två gånger om dagen. Bevattning utfördes med hjälp av en vattenslang med ett munstycke med ställbart tryck för att undvika att vattna bort fröna. Vattning skedde till det att substratet var ordentligt genomvattnat. När plantorna hade grott och stabiliserat sig användes en vattenspridare och timer för att bevattna plantorna. Timern var inställd på fyra minuter bevattning var åttonde timme. Under hela växtperioden följdes temperatur och luftfuktighet vid växtplatsen via en s.k. TinyTag-logger.

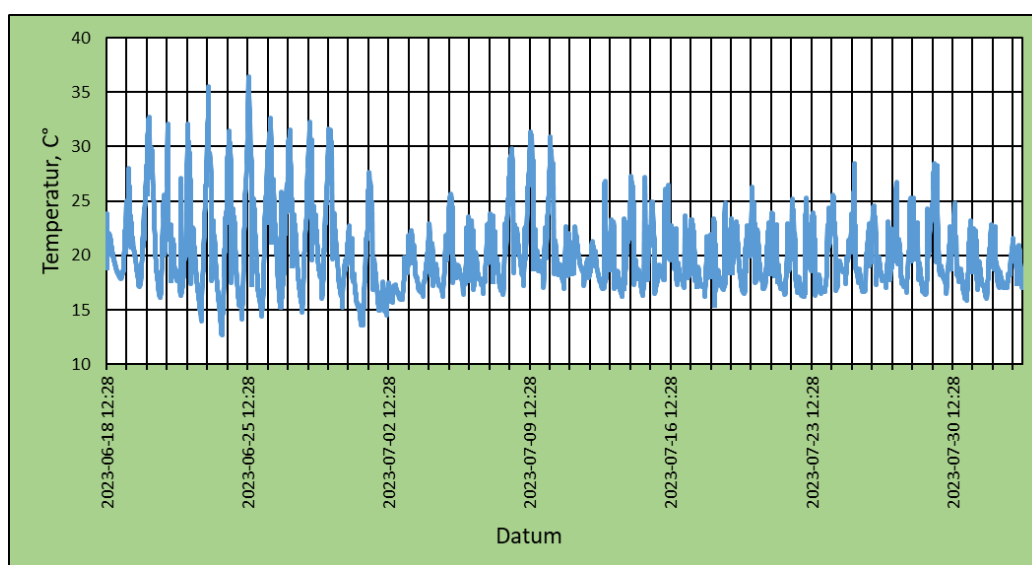
Plantorna gödslades första gången den 28/6 vilket var andra mättillfället. Gödslingen skedde efter att alla mätningar utförts för att minska risken för missvisande värden. Koncentrerad Wallco-gödsel späddes med vatten före användning. Först delades kassetterna upp i två rader som var två kassetter breda. Sedan blandades gödsel i en vattenkanna. Vid första tillfället gödslades plantorna med en halv giva vilket innebar 1,5 g kväve per m² och vecka. För att blanda en halv giva tillsattes 15 ml koncentrerat gödsel i två liter vatten och sedan vattnades detta ut jämnt över kassetterna i första raden med hjälp av ett brett munstycke på vattenkannan. Samma procedur upprepades för andra raden av kassetter. Cirka 30 minuter efter gödsling duschades samtliga plantor av med vatten med ett munstycke inställt på dimstråle. Detta för att undvika att gödsel skulle fastna och bränna plantorna. Andra gödslingen skedde den 5/7 med samma utförande som vid första gödslingen. Sedan skedde ytterligare en gödsling med samma utförande fyra dagar senare. Därefter ökades dosen till en hel giva per vecka och gödsling utfördes i samband med mätningstillfällena. Vid dessa gödslingar fick plantorna en hel giva motsvarande 3 g kväve per m² och vecka. En hel giva blandades till genom att 30 ml koncentrerad gödsel tillsattes i två liter vatten och sedan vattnades detta ut på samma sätt som vid tidigare gödslingstillfällen.

2.2 Mätningar

Under odlingsvecka två (nio dagar efter sådd) gjordes de första mätningarna kopplade till odlingssubstraten. Ett försöksled vattnades åt gången tills vatten började droppa från undersidan av kassetterna. När kassetterna vattnats fick de stå och droppa av spillvatten i var sin balja. Spillvattnet hälldes sedan upp i små bägare (en för varje kassett) där mätningar av pH-värde och ledningstal gjordes. Med hjälp av en ledningstalsmätare (Hach, Sension5) som sattes i spillvattnet lästes ett ledningstal av. Ledningstalet indikerar omfattning av urlakning av näring i spillvattnet. Mätinstrumentet tvättades av i tre bägare med avjoniserat vatten samt torkades av efter tvätt för att undvika kontaminering mellan spillvatten samt utspädning av proverna. En pH-mätare (Milwaukee, pH55) användes för att mäta spillvattnets pH-värde. Mellan varje mätning tvättades pH-mätaren för att undvika kontaminering från tidigare spillvatten. Den andra mätningen av pH-värde och ledningstal skedde under odlingsvecka tre (sexton dagar efter sådd). Mätningarna genomfördes på samma sätt som vid första tillfället.

Under odlingsvecka tre utfördes den första höjdmätningen genom att mäta avståndet från överkant på kassetten upp till toppen av plantans skott. Höjdmätningarna skedde på de två mittersta raderna i varje kasset. Om en planta i de mittersta raderna var död mättes istället plantan på samma position men i raden utanför. Om denna planta också var död registrerades plantan som död i protokollet och inga mätningar utfördes. Från och med det första höjdmätningstillfället genomfördes höjdmätningar med en veckas mellanrum. PH-värde och ledningstal mättes varannan vecka. Den 5/7 inventerades antalet levande jättepoppelar eftersom flertalet då hade dött.

Under tillväxtperioden mättes luftens temperatur i växthuset och denna varierade mellan $+36,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ som varmest och $+12,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ som kallast. Medeltemperaturen i växthuset under försöksperioden var $+20,11\text{ }^{\circ}\text{C}$, se figur 2.



Figur 2. Lufttemperaturens variation i växthuset under försöksperioden.

2.3 Slutmätning

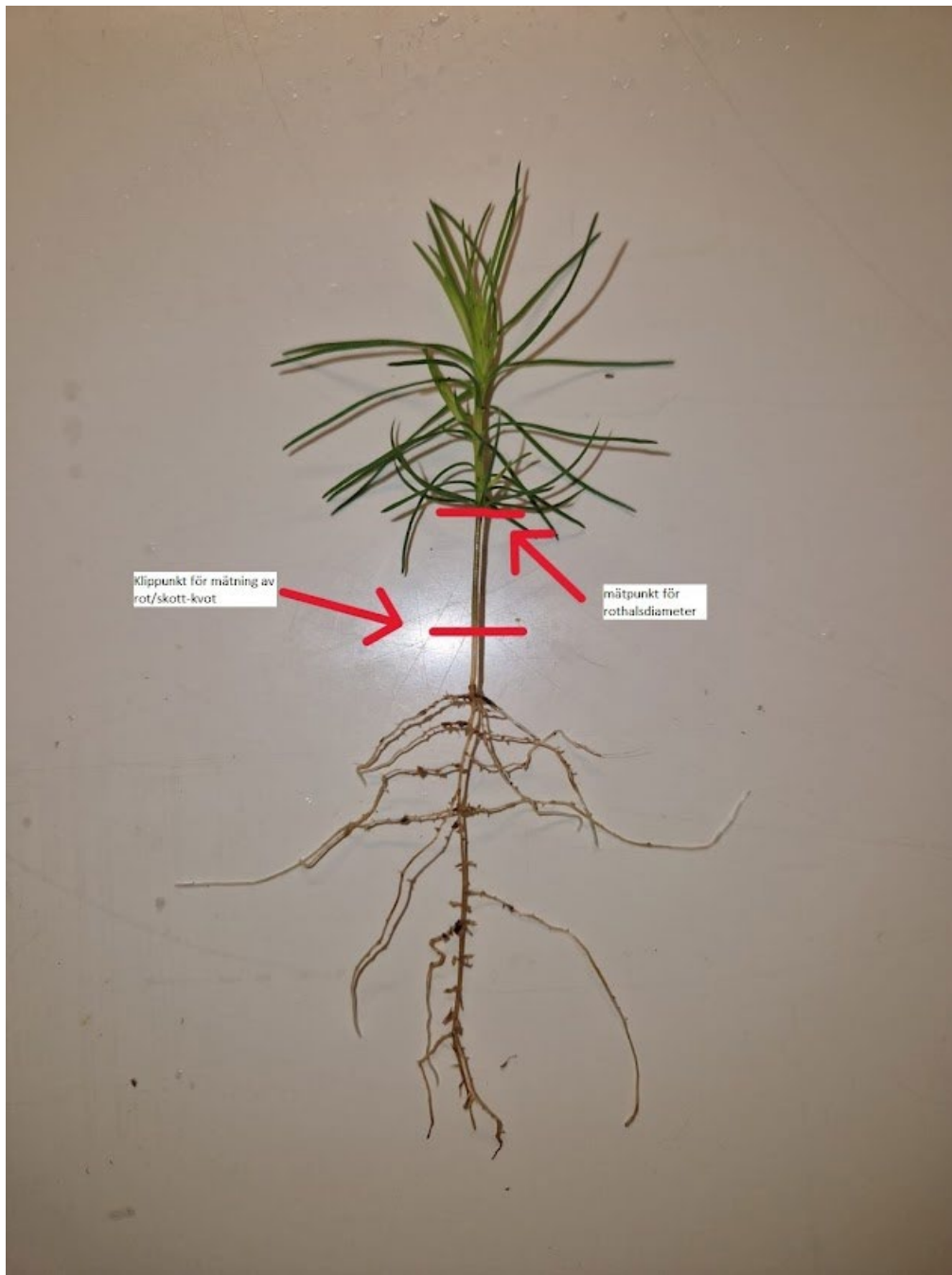
Vid slutmätningen som skedde den 2/8 mättes pH-värde, ledningstal och höjd på samma sätt som tidigare beskrivits. Ytterligare mätningar som genomfördes var; mätning av rothalsdiameter, bestämning av rot/skott-kvot samt insamling av grön biomassa för näringsanalys. Mätningen av rothalsdiametern utfördes med hjälp av ett digitalt skjutmått och utfördes på samma plantor som vid mätning av höjdtillväxten. Det digitala skjutmättet nollställdes efter mätning av varje upprepning, vilket motsvarade tio plantor. Rothalsdiametern mättes för tall vid övergången mellan skott och stjälk (se figur 4). För vårtbjörk mättes rothalsdiametern direkt under det nedersta bladet, oberoende av bladets storlek (se figur 3). Rothalsdiametern för jättepoppel mättes direkt där det nya skottet fäste vid den satta sticklingen (se figur 5).

Bestämning av rot/skott- kvot baserades på en slumpvis utvald rad av de två rader där höjdtillväxten tidigare följts, totalt 15 plantor per försöksled. Gällande mätningarna för tall och vårtbjörk klipptes plantan av vid substratsnivån med en sekator och allt som fanns under substratsnivån kom att klassas som rot och allt

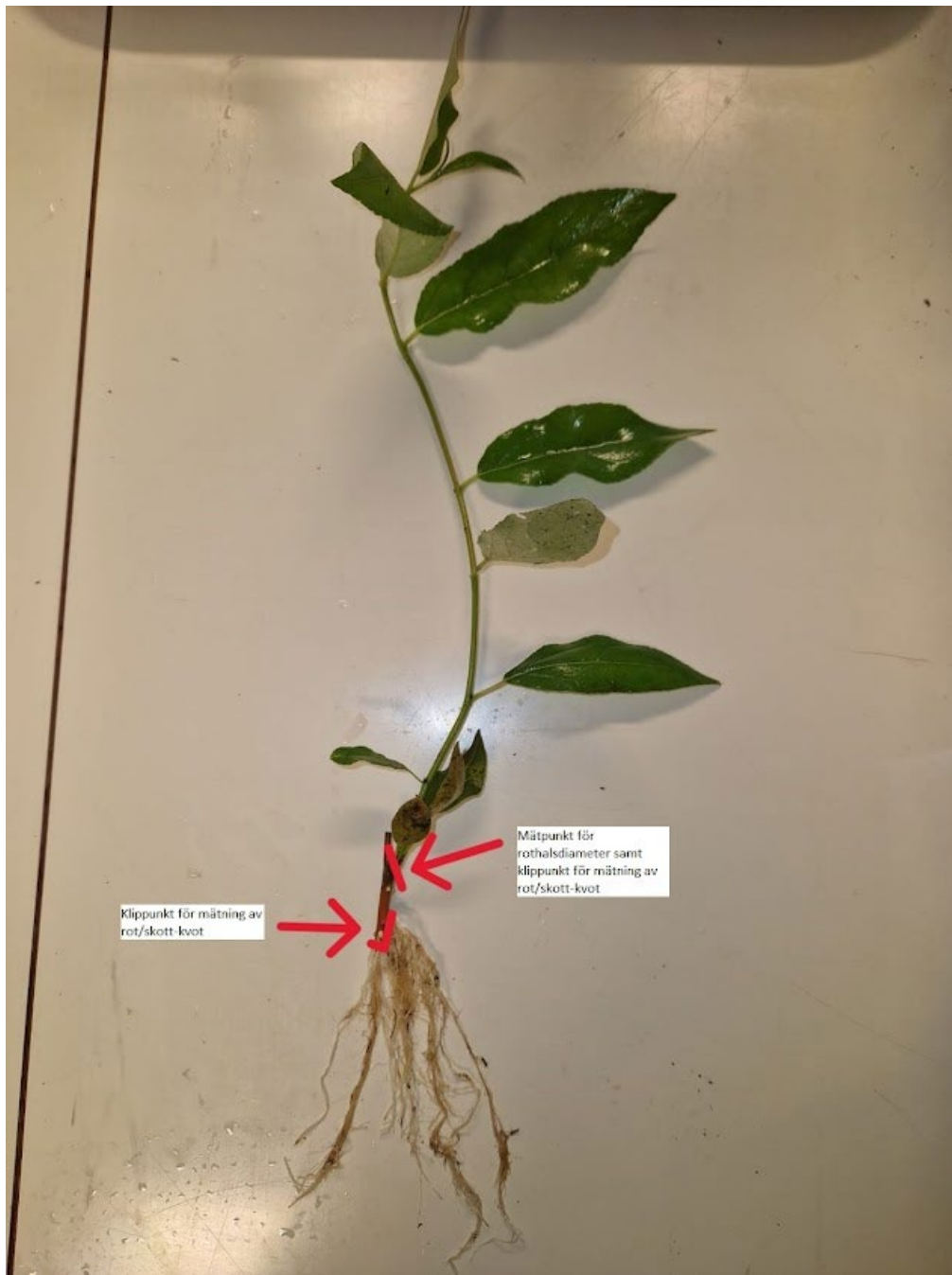
ovan som skott (se figur 3 och 4). För jättepoppel klipptes skottet och rötterna från den satta sticklingen (se figur 5). Detta för att enbart samla in data för tillväxten av rötter och skott då vikten för de satta sticklingarna varierade. Samtliga plantor tvättades grundligt och lades sedan plantvis med skott- och rot-del i varsitt kuvert. Dessa kuvert torkades sedan i torkskåp i +105 °C under ett dygn. Kuverten lades sedan att svalna i en exsickator innehållande fuktbindande material. Då kuverten svalnat vägdes skott- och rot-del var för sig med en högprecisionsvåg (Sartorius 2001 MP2) med en noggrannhet på en 10 000-dels gram.



Figur 3. Rotsystemet samt skott på en vårtbjörksplanta ingående i försöket, de röda strecken symboliserar mätpunkt för rothalsdiameter samt klippunkt för mätning av rot/skott-kvot.



Figur 4. Rotsystemet samt skott på en tallplanta ingående i försöket, de röda strecken symboliserar mät punkt för rothalsdiameter samt klipp punkt för mätning av rot/skott- kvot.



Figur 5. Rotsystemet samt skott på en jättepoppelstickling ingående i försöket, de röda strecken symboliserar mätpunkt för rothalsdiameter samt klippunkt för mätning av rot/skott-kvot.

Insamlingen av grön biomassa för mätning kväveinnehåll genomfördes försöksledsvis. Biomassan klipptes loss från samtliga resterande plantor som ej använts för mätning av rot/skott-kvot. Biomassan vägdes sedan med målet att varje prov skulle ha en färskvikt i spannet 20 – 25 gram. I de fall där vikten ej uppnåddes kompletterades vikten med skottbiomassan från rot/skott-kvotsmätningen. Dessa prov torkades i torkskåp i +105 °C under ett dygn. Sedan förvarades proven i en exsickator med fuktbindande material tills proverna skickades till laboratoriet på SLU Ultuna för mätning av totalt kväveinnehåll. Analysen utfördes genom att proverna förbrändes med hjälp av ren syrgas (O²) vid en temperatur på +1 350 °C. Detta ledde till att allt tillgängligt kväve i

proverna omvandlades till kväveoxid (NO_x) och gasen transporterades sedan med hjälp av helium (He) till en reduktionszon där koppar reducerade kväveoxiden till kvävgas som sedan kunde mätas med en detektor för termisk konduktivitet. Massan av kvävgasen beräknades sedan och uttrycktes som procent kväve baserat på provets torrsvikt.

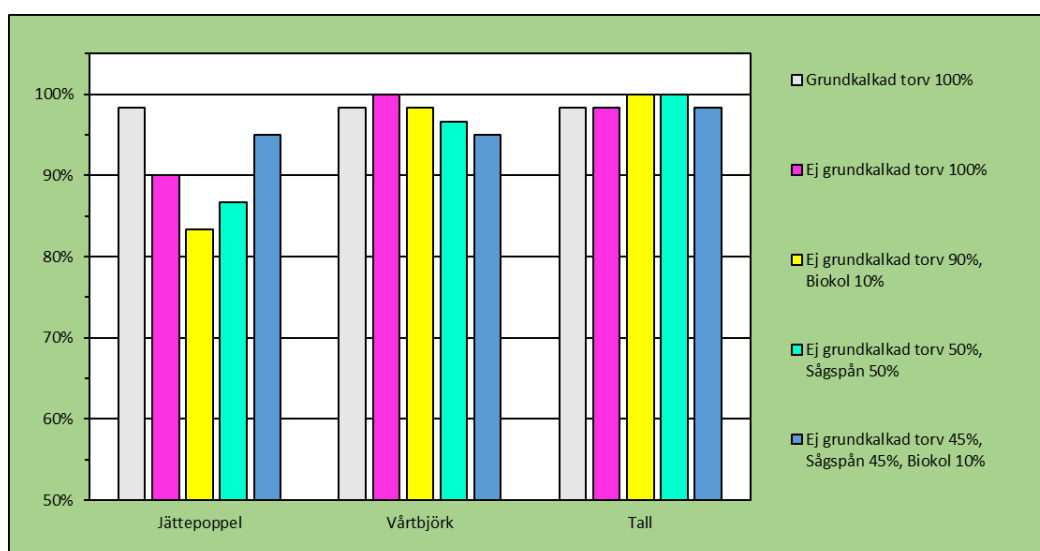
2.4 Dataanalys

Den hypotesprövning som utförs i detta försök utgår från formler hämtade ur Stenhags (2021) kompendium ”Åt skogen med statistik”. De formler som användes var 6.2.2 samt 6.2.3. Eftersom sampelstorlekarna i de olika hypotesprövningarna varierade så användes olika formler. Formel 6.2.2 användes då ett krav för Formel 6.2.3 var att sampelstorleken skulle vara minst 30 vilket den inte var vid hypotesprövningarna gällande höjdtillväxt. För övriga hypotesprövningar användes formel 6.2.3 då sampelstorlekarna var tillräckliga.

3. Resultat

3.1 Groningsresultat för frön och sticklingar

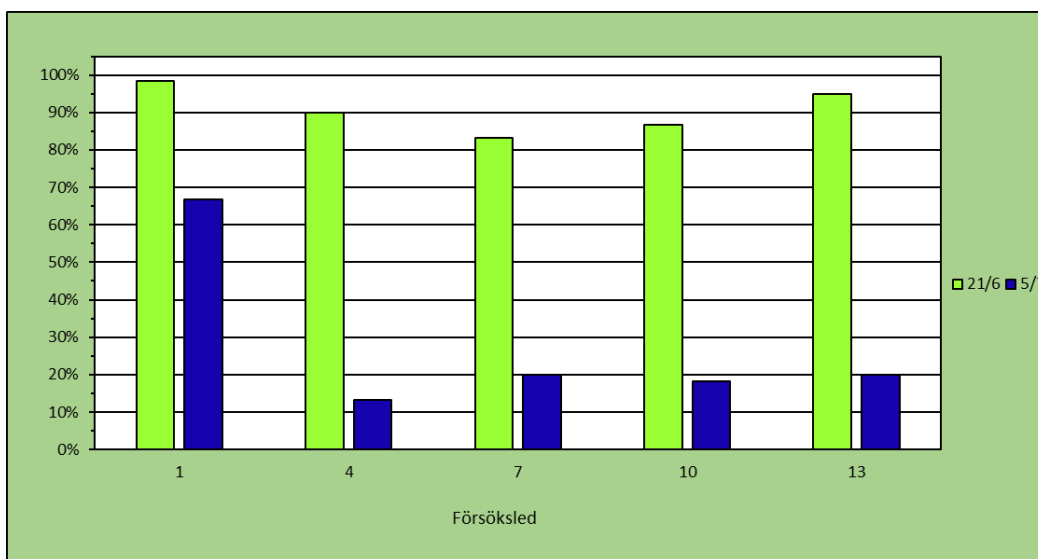
Grobarheten mättes vid den första inventeringen som ägde rum den 21 juni, nio dagar efter sådd/plantering. Den var 98 procent för försöksled ett till tre där odlingssubstratet bestod av grundkalkad odlingstörv. I försöksleden fyra till sex som bestod av ej grundkalkad odlingstörv hade jättepoppeln en överlevnad på 90 procent, medan grobarheten för vårtbjörksfröna var 100 procent och tallfröna 98 procent. I försöksled sju till nio som bestod av grundkalkad odlingstörv och biokol registrerades en överlevnad på 83 procent för jättepoppel, och för vårtbjörken 98 procent grobarhet och för tallen 100 procent grobarhet. Plantorna som växte i ej grundkalkad odlingstörv och sågspån utgjorde försöksleden tio till tolv och hade en överlevnad på 87 procent för jättepoppel, samt grobarhet 97 procent för vårtbjörk och 100 procent för tall. Försöksleden 13 till 15 med odlingssubstrat bestående av ej grundkalkad odlingstörv hade en överlevnad på 95 procent för jättepoppel, samt en grobarhet motsvarande 95 procent för vårtbjörk och 98 procent för tall (figur 6).



Figur 6. Överlevnad (jättepoppel), grobarhet (björk, tall) i procent för samtliga försöksled vid den första inventeringen 21/6 nio dagar efter sådd.

3.2 Högt bortfall av jättepoppelsticklingar

En överlevnadsinventering utfördes 5 juli och för försöksleden innehållande vårtbjörk och tall uppmättes överlevnaden till 100 procent. För försöksleden innehållande jättepoppel var procentsatsen lägre, följande uppmättes; för jättepoppel planterad i grundkalkad odlingstörv var överlevnaden 67 procent. I ej grundkalkad odlingstörv var resultatet 13 procents överlevnad, i substratet bestående av ej grundkalkad odlingstörv samt biokol var motsvarande siffra 20 procent. Jättepoppelsticklingarna planterade i försöksledet bestående av ej grundkalkad odlingstörv och gransågspån hade en överlevnad på 18 procent och i försöksledet som bestod av ej grundkalkad odlingstörv, gransågspån och biokol var resultatet 20 procents överlevnad (figur 7).

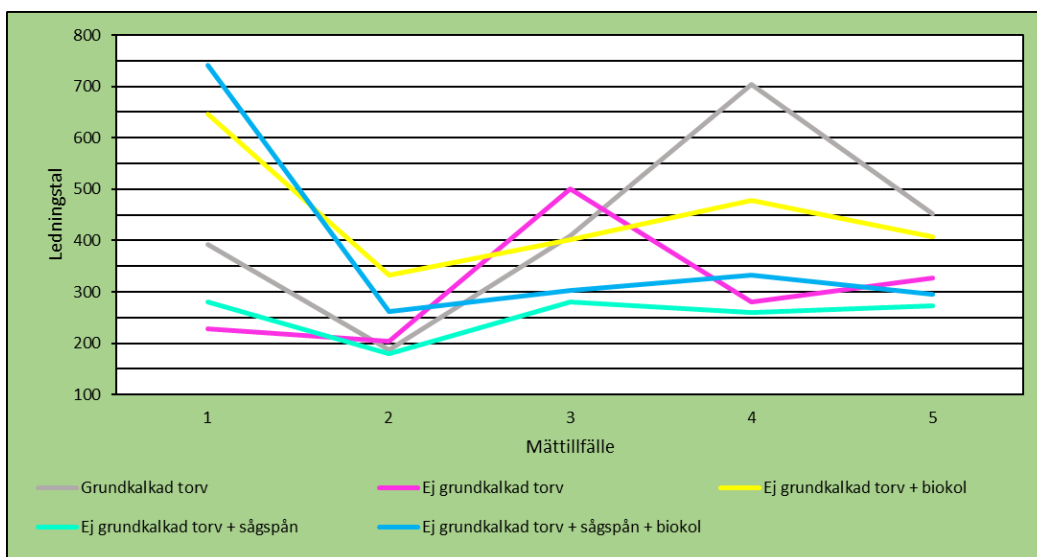


Figur 7. Antal levande jättepoppelplantor vid den första (21/6) och den andra (5/7) kontrollen.

3.3 Ledningstalens utveckling

3.3.1 Jättepoppel

Pressvattnets ledningstal för de olika substraten varierade mycket (från cirka 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ till cirka 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$) mellan olika substrat och mättillfällena för försöksleden med poppelplanter (figur 8). Samtliga försöksled utom de med substrat bestående av grundkalkad odlingstorgv höll sig dock mellan 200 och 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ efter det första mättillfället (figur 8).

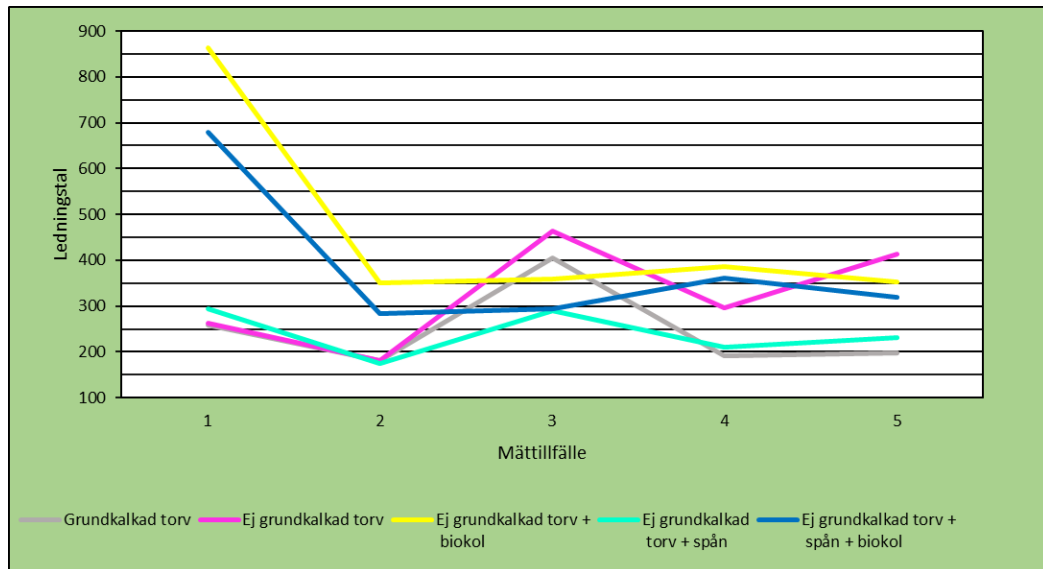


Figur 8. Förändring över tid gällande det uppmätta ledningstalet i spillvattnet från samtliga försöksled planterade med jättepoppelsticklingar.

3.3.2 Vårtbjörk

Pressvattnets ledningstal varierade något mellan de olika substraten och försöksleden för vårtbjörk (figur 9). Efter det första mättillfället var ledningstalet i pressvattnet från samtliga substrat varierande mellan 200 och 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

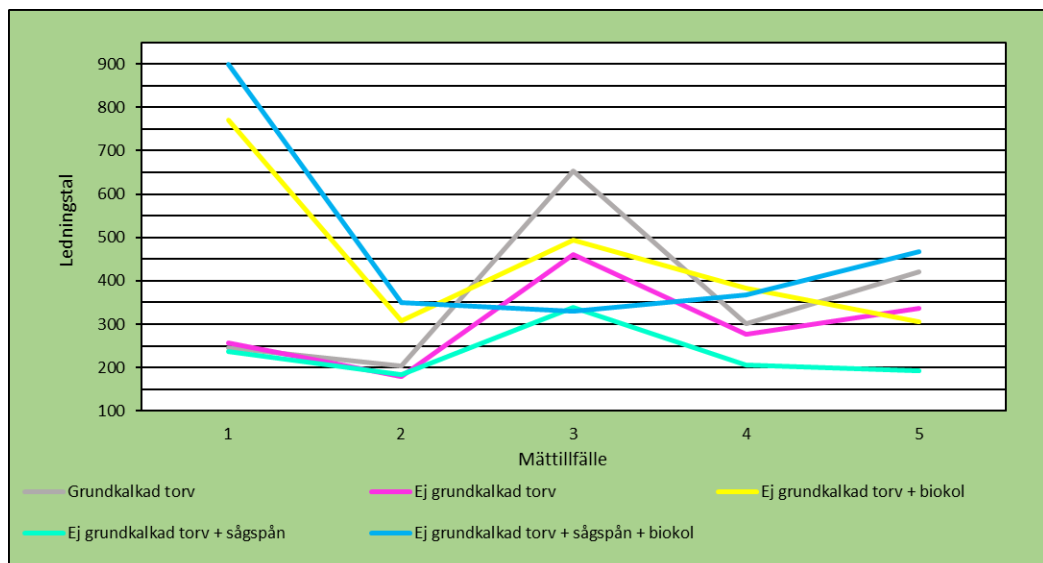
Substratet innehållande ej grundkalkad odlingstorf och biokol varierade minst och fluktuerade mellan 350 och 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figur 9).



Figur 9. Förändring över tid gällande det uppmätta ledningstalet i spillvattnet från samtliga försöksled planterade med vårtbjörksplanter.

3.3.3 Tall

Ledningstalet från försöksledens pressvatten varierade mycket, mellan 200 och 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figur 10) från och med det andra mättillfället. Det försöksled som utmärkte sig var återigen innehållande substratet grundkalkad odlingstorf där ett högt ledningstal uppmättes. Pressvattnet i de övriga substraten varierade mellan 200 och 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (figur 10).

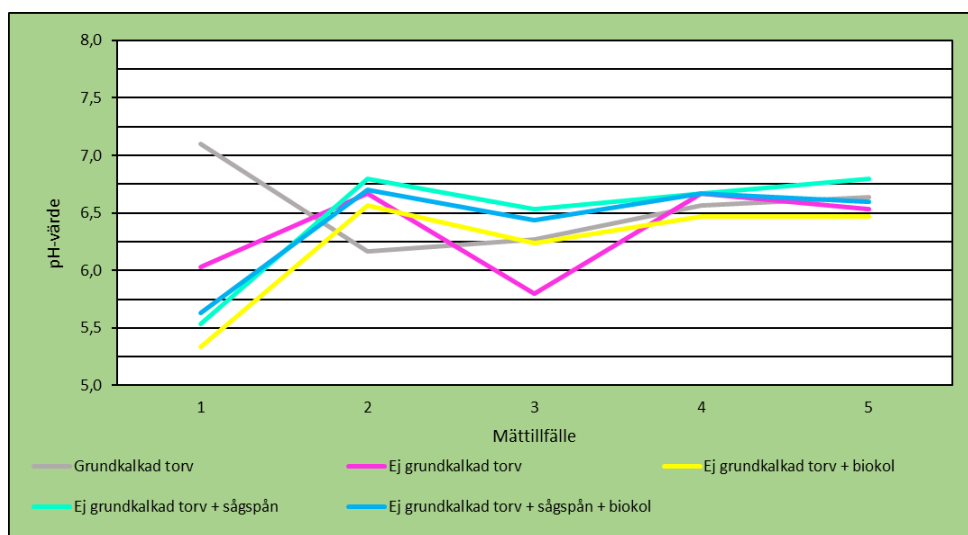


Figur 10. Förändring över tid gällande det uppmätta ledningstalet i spillvattnet från samtliga försöksled planterade med tallplanter.

3.4 pH-värdets utveckling

3.4.1 Jättepoppel

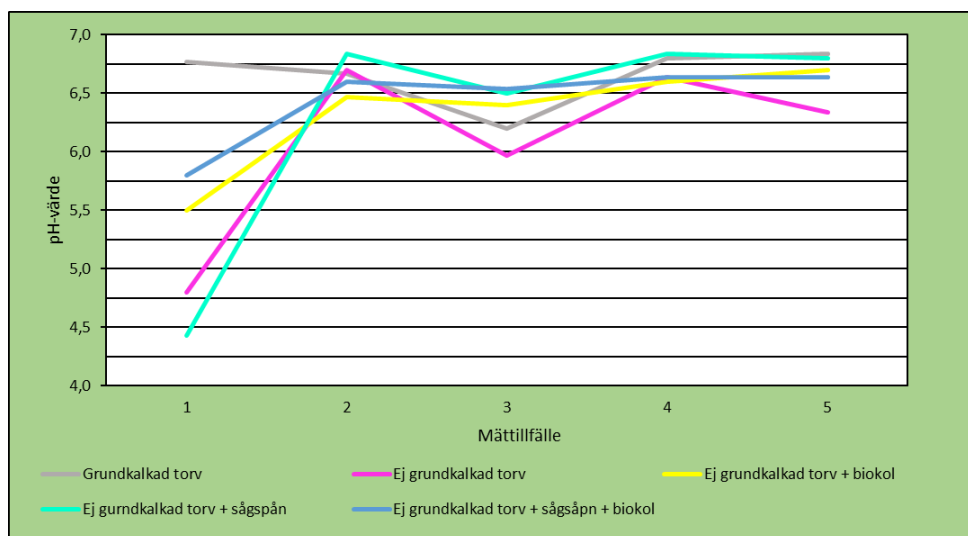
PH-värdet för de olika försöksleden vid det andra mättillfället och framåt varierade mellan 5,75 och 6,75 (figur 11). Det försöksled som utmärkte sig var det innehållande ej grundkalkad odlingstorf som uppmätte det lägsta pH- värdet om 5,75. De övriga substraten varierade mellan pH-värde 6,25 och 6,75 (figur 11).



Figur 11. Förändringen över tid gällande det uppmätta pH-värdet i spillvattnet för samtliga försöksled planterade med jättepoppelsticklingar.

3.4.2 Vårtbjörk

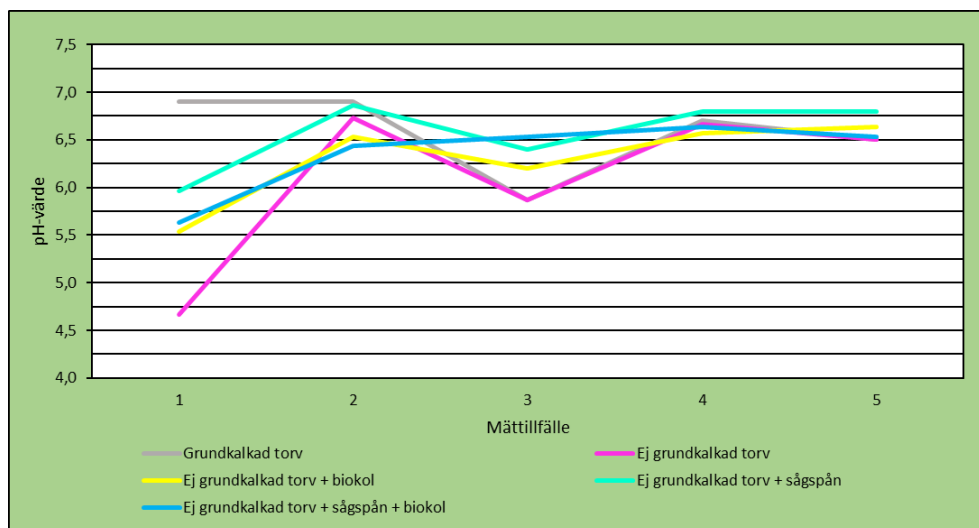
PH-värdet för de olika försöksleden varierade mellan pH- värde 6 och 6,75 (figur 12). Det försöksled som utmärkte sig var återigen det innehållande ej grundkalkad odlingstorf vilket uppmätte det lägsta pH-värdet om 6. De övriga försöksleden hade mindre fluktuation i förhållande till varandra och pH- värdet varierade mellan 6,25 och 6,75 (figur 12).



Figur 12. Förändringen över tid gällande det uppmätta pH-värdet i spillvattnet för samtliga försöksled planterade med vårtbjörksplantor.

3.4.3 Tall

PH-värdena varierade mellan 5,6 och 6,9 från och med mättillfälle två fram till slutmätningen. Försöksledet innehållande grundkalkad odlingstorv samt försöksledet innehållande ej grundkalkad odlingstorv var de försöksled som stack ut något med de lägst uppmätta pH-värdena. Vid slutmätningen varierade pH-värdena för de olika försöksleden mellan 6,5 och 6,6 (figur 13).



Figur 13. Förändringen över tid gällande det uppmätta pH-värdet i spillvattnet för samtliga försöksled planterade med tallplantor.

3.5 Rothalsdiameters utveckling

3.5.1 Jättepoppel

Den genomsnittliga rothalsdiametern för jättepoppel vid slutinventering för de sticklingar som växt i substratet bestående av endast grundkalkad odlingstorv var 2,84 millimeter. Motsvarande värde för poppel som vuxit i den ej grundkalkade odlingstorven var 4,30 millimeter. Popplar odlade i substrat bestående av ej grundkalkad odlingstorv och biokol hade en medel- rothalsdiameter på 3,93 millimeter. Försöksledet med ej grundkalkad odlingstorv och gransågspån hade en genomsnittlig rothalsdiameter på 2,26 millimeter. Substratet som bestod av ej grundkalkad odlingstorv, gransågspån och biokol gav en rothalsdiameter motsvarande 2,72 millimeter (tabell 1).

Tabell 1. Försöksled, odlingssubstrat och genomsnittlig rothalsdiameter för jättepoppel.

Försöksled	Substrat	Diameter, mm
1	Grundkalkad odlingstorv	2,84
4	Ej grundkalkad odlingstorv	4,30
7	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	3,93
10	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	2,26
13	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	2,72

3.5.2 Vårtbjörk

För vårtbjörk var medelrothalsdiametern enligt följande. För försöksled nummer två bestående av vårtbjörk sådd i grundkalkad odlingstorv var rothalsdiametern i genomsnitt 1,44 millimeter. För nästa substrat vilket bestod av ej grundkalkad torv var resultatet 1,67 millimeter. Vårtbjörken som var sådd i ej grundkalkad odlingstorv och biokol utgjorde försöksled nummer åtta och resultatet blev 2,23 millimeter. Det fjärde substratet i ordningen bestod av ej grundkalkad odlingstorv och gransågspån och i detta substrat var medelrothalsdiametern lägre och mätte 0,79 millimeter. Det sista substratet med sådd vårtbjörk var ej grundkalkad odlingstorv, gransågspån och biokol. I detta försöksled var medelrothalsdiametern 0,81 millimeter (tabell 2).

Tabell 2. Försöksled, odlingssubstrat och genomsnittlig rothalsdiameter för vårtbjörk.

Försöksled	Substrat	Diameter,mm
2	Grundkalkad odlingstorv	1,44
5	Ej grundkalkad odlingstorv	1,67
8	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	2,23
11	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	0,73
14	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	0,81

3.5.3 Tall

Medelrothalsdiametern för tallen i det första substratet som bestod av grundkalkad odlingstorv var 0,97 millimeter. I det nästkommande substratet som bestod av, likt för tidigare träslag av ej grundkalkad odlingstorv var medelrothalsdiametern 0,94 millimeter. Försöksled nummer nio var sått i substratet som bestod av ej grundkalkad odlingstorv och biokol och i detta försöksled var medelrothalsdiametern 0,87 millimeter. Försöksledet som testades i det fjärde substratet bestod av tall sådd i ej grundkalkad odlingstorv och gransågspån. I det försöksledet var medelrothalsdiametern 0,74. Det sista substratet med sådda tallar utgjorde försöksled nummer 15 och där var medelrothalsdiametern 0,81 millimeter (tabell 3).

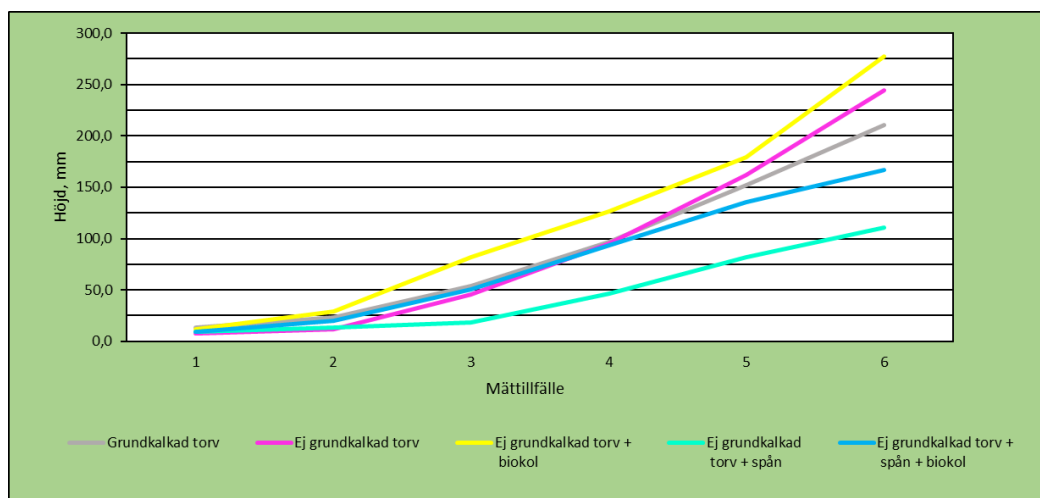
Tabell 3. Försöksled, odlingssubstrat och genomsnittlig rothalsdiameter för tall.

Försöksled	Substrat	Diameter,mm
3	Grundkalkad odlingstorv	0,97
6	Ej grundkalkad odlingstorv	0,94
9	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	0,87
12	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	0,74
15	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	0,70

3.6 Höjdtveckling

3.6.1 Jättepoppel

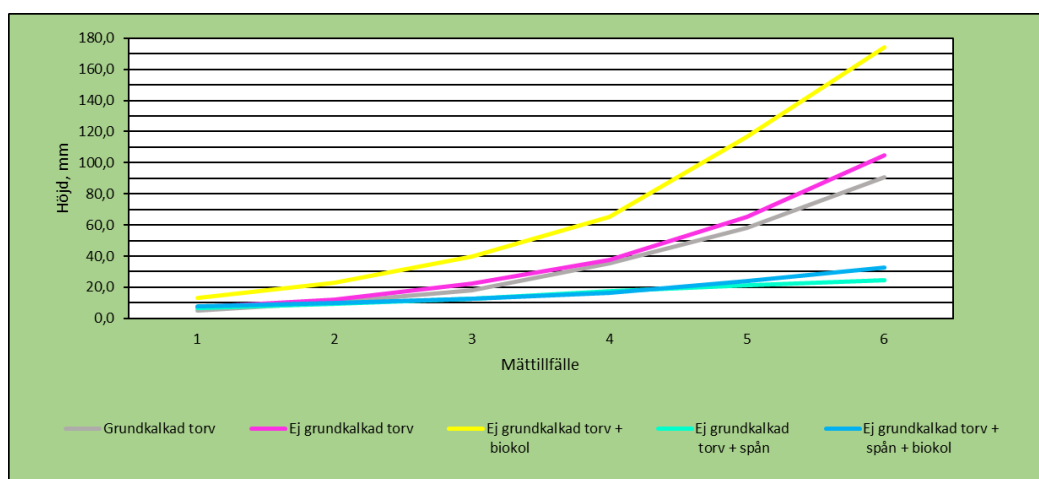
Samtliga försöksled innehållande jättepoppel hade en ökande medelhöjdtillväxt under försöksperioden. Jättepoppelsticklingarna planterade i ej grundkalkad odlingsstorv och biokol hade högst medelhöjd vid slutmätningen vilket var 277,1 mm. Motsvarande värde för försöksledet planterat i ej grundkalkad odlingsstorv och sågspån var 110,9 mm och det var därmed lägst. Vid första mätningen varierade medelhöjden mellan 7,7 mm och 13,3 mm där försöksleden innehållande sågspån hade de lägsta värdena och försöksledet innehållande grundkalkad torv hade det högsta, motsvarande 8 mm (figur 14).



Figur 14. Förändringen över tid gällande medelhöjden för samtliga försöksled med jättepoppelsticklingar.

3.6.2 Vårtbjörk

Vid slutmätningen varierade medelhöjden för försöksleden sådda med vårtbjörk mellan 24,4 mm och 174,4 mm. Försöksledet innehållande ej grundkalkad odlingsstorv och biokol var det försöksled med högst medelhöjd. Lägst medelhöjd hade det försöksledet som bestod av ej grundkalkad odlingsstorv och sågspån, tätt följt av försöksledet med denna substratsblandning samt biokol som hade en medelhöjd på 32,5 mm. Vid första mätningen varierade medelhöjderna för de olika försöksleden mellan 4,9 mm och 13,2 mm där försöksledet innehållande grundkalkad odlingsstorv hade det lägsta värdet. Likt vid slutmätningen var det försöksledet innehållande ej grundkalkad odlingsstorv och biokol som hade högst medelhöjd (figur 15).

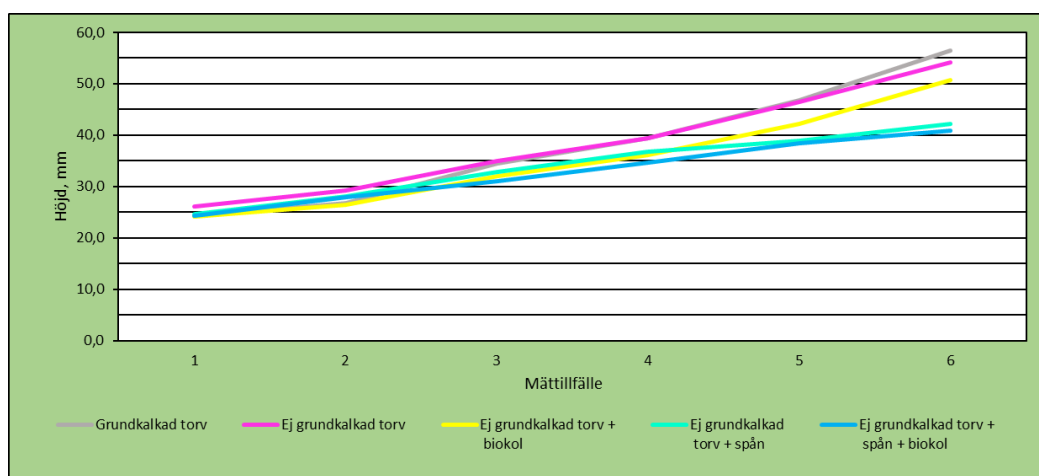


Figur 15. Förändringen över tid gällande medelhöjden för samtliga försöksled planterade med vårtbjörksplantor.

Den hypotes som testades gällde om huruvida vårtbjörksplantorna som växte i substratsblandningen bestående av gransågspån och ej grundkalkad odlingstorv skulle ha en likvärdig höjdtillväxt i jämförelse med de plantor som växt i ej grundkalkad odlingstorv. Skillnaden i höjdtillväxt kom att klassas som signifikant med värdet $\Pr(Z > 0,05) ***$ för vårtbjörk då analysen visade att med 99,9 procents säkerhet så skiljde sig höjdtillväxten mellan försöksleden vid en inblandning av gransågspån gentemot ej grundkalkad odlingstorv.

3.6.3 Tall

Samtliga försöksled innehållande tall hade en ökande höjdtillväxt. Ökningens storlek var dock olika för de olika substraten. Vid slutmätningen varierade medelhöjderna för de olika försöksleden mellan 40,8 mm och 56,5 mm. Tallar sådda i grundkalkad torv hade vid slutmätningen en medelhöjd om 56,5 mm och 54,1 mm för ej grundkalkad odlingstorv. Vid första mätningen varierade medelhöjderna för de olika försöksleden mellan 24,1 mm och 26,2 mm då ej grundkalkad torv var substratet med högst medelhöjd för tallarna (figur 16).



Figur 16. Förändringen över tid gällande medelhöjden för samtliga försöksled planterade med tallplantor.

Den hypotes som testades gällde om huruvida tallplantorna som växte i substratsblandningen bestående av gransågspån och ej grundkalkad odlingstorv

skulle ha en likvärdig höjdtillväxt i jämförelse med de plantor som växt i ej grundkalkad odlingstorv. Skillnaden i höjdtillväxt kom att klassas som signifikant med värdet $\Pr(Z>0,05)$ *** för tall då analysen visade att med 99,9 procents säkerhet så skiljde sig höjdtillväxten mellan försöksleden vid en inblandning av gransågspån gentemot ej grundkalkad odlingstorv.

3.7 Rot/skott- kvot

3.7.1 Jättepoppel

Rot/skottkvoten i försöksledet bestående av grundkalkad odlingstorv var 0,1498 och var det enda värde som beräknades för detta träslag på grund av problemen med överlevnad.

3.7.2 Vårtbjörk

Rot/skottkvoten i försöksled två var 0,2468. I försöksled fem var kvoten något lägre med värdet 0,2260. I det åttonde försöksledet som bestod av ej grundkalkad torv och biokol var kvoten ytterligare något lägre med värdet 0,2147 för att sedan stiga till 0,3387 och 0,2913 i det elfte samt fjortonde försöksledet (tabell 4).

Tabell 4. Rot/skott- kvot för vårtbjörk i respektive odlingssubstrat.

Försöksled	Substrat	Kvot
2	Grundkalkad odlingstorv	0,2468
5	Ej grundkalkad odlingstorv	0,2260
8	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	0,2147
11	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	0,3387
14	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	0,2913

3.7.3 Tall

Rot/skottkvoten för tallen i försöksled tre var 0,2611 vilket var lite lägre än i det sjätte försöksledet som bestod av ej grundkalkad odlingstorv, där var kvoten 0,3037. I försöksled nummer nio var kvoten snarlik det sjätte försöksledet och värdet var 0,3036. I substratet bestående av ej grundkalkad odlingstorv och gransågspån var kvoten 0,2252, vilket sedan sjönk något i substratet med biokol inblandat till 0,2088 (tabell 5).

Tabell 5. Rot/skott- kvot för tall i respektive odlingssubstrat.

Försöksled	Substrat	Kvot
3	Grundkalkad odlingstorv	0,2611
6	Ej grundkalkad odlingstorv	0,3037
9	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	0,3063
12	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	0,2252
15	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	0,2088

3.8 Grönbiomassa

3.8.1 Vårtbjörk

Grönbiomassan för försöksled två bestående av grundkalkad odlingstorv motsvarade 0,1186 gram torrsvikt. För försöksled fem bestående av ej grundkalkad odlingstorv var värdet 0,1592 gram. För försöksled åtta (ej grundkalkad odlingstorv + biokol) var värdet 0,3938 gram medan torrsvikten var 0,0283 gram för försöksled elva som såtts i ej grundkalkad odlingstorv och sågspån. Det sista försöksledet med vårtbjörk (14) bestod av ej grundkalkad odlingstorv, gransågspån och biokol och hade en torrsvikt om 0,0432 gram (tabell 6).

Tabell 6. Grönbiomassan för vårtbjörk i respektive odlingssubstrat.

Försöksled	Substrat	Grönbiomassa
2	Grundkalkad odlingstorv	0,1186
5	Ej grundkalkad odlingstorv	0,1592
8	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	0,3938
11	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	0,0283
14	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	0,0432

Plantorna som växte i substratsblandningen av ej grundkalkad odlingstorv och biokol hade i medeltal en högre grönbiomassa än plantorna som växte i endast ej grundkalkad odlingstorv. Resultatet klassades som signifikant för vårtbjörk med värdet $\Pr(Z>0,05)$ ***

3.8.2 Tall

För försöksled tre med odlingssubstratet bestående av grundkalkad odlingstorv var grönbiomassans torrsvikt 0,0606 gram. För försöksled sex (ej grundkalkad odlingstorv) var motsvarande siffra 0,0553 gram medan 0,0540 gram var grönbiomassans torrsvikt för försöksled nio bestående av ej grundkalkad odlingstorv och biokol. För det tolfte försöksledet (ej grundkalkad odlingstorv och gransågspån) var siffran 0,0441 gram. Det 15:e försöksledet bestod av ej grundkalkad odlingstorv, gransågspån och biokol och i det försöksledet var grönbiomassans torrsvikt 0,0414 gram (tabell 7).

Tabell 7. Grönbiomassan för tall i respektive odlingssubstrat.

Försöksled	Substrat	Grönbiomassa
3	Grundkalkad odlingstorv	0,0606
6	Ej grundkalkad odlingstorv	0,0553
9	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	0,0540
12	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	0,0441
15	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	0,0414

Hypotesen om att plantorna som växte i substratsblandningen av ej grundkalkad odlingstorv och biokol i medeltal hade en högre grönbiomassa än plantorna som

växte i endast ej grundkalkad odlingstorv klassades som ej signifikanta för tall och H_0 kom att accepteras.

3.9 Kväveanalys

3.9.1 Vårtbjörk

Kvävehalten i försöksled två var 2,77 procent av torrvikten, motsvarande för försöksled fem var 3,37 procent. Försöksled åtta hade en kvävehalt om 2,77 procent och försöksled elva hade 1,64 procent kväveinnehåll. För försöksled 14 var motsvarande siffra 2,26 procent (tabell 8).

Tabell 8. Kväveinnehållet i vårtbjörksplantorna för respektive odlingssubstrat.

Försöksled	Substrat	Procent av torrsvikt
2	Grundkalkad odlingstorv	2,77
5	Ej grundkalkad odlingstorv	3,37
8	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	2,77
11	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	1,64
14	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	2,26

3.9.2 Tall

Kvävehalten i försöksled tre var 2,84 procent och i försöksled sex 2,71 procent. För försöksled nio var kvävehalten 2,57 procent och motsvarande för försöksled tolv var 1,61 procent och för det 15:e försöksledet, 1,58 procent (tabell 9).

Tabell 9. Kväveinnehållet i tallplantorna för respektive odlingssubstrat.

Försöksled	Substrat	Procent av torrsvikt
3	Grundkalkad odlingstorv	2,84
6	Ej grundkalkad odlingstorv	2,71
9	Ej grundkalkad odlingstorv + biokol	2,57
12	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån	1,61
15	Ej grundkalkad odlingstorv + sågspån + biokol	1,58

4. Diskussion

Grobarheten för försöksleden med tall och vårtbjörk var likartad. Samtliga av dessa försöksled hade en hög grobarhet på mellan 95 och 100 procent (figur 6). Det såg annorlunda ut för försöksleden planterade med jättepoppel där etableringen och överlevnaden för sticklingarna var generellt låg. Av dessa försöksled var det endast försöksledet planterat i grundkalkad torv samt försöksledet planterat i grundkalkad torv, sågspån och biokol som hade en överlevnad över 90 procent. Resterande försöksled med jättepoppel hade en initial överlevnad på mellan 80 och 90 procent.

Överlevnaden var oförändrad efter hjälpplantering för tall och vårtbjörk. Dock var det många jättepoppelsticklingar som inte överlevde till kontrolldagen som ägde rum 14 dagar efter grobarhetskontrollen. Samtliga försöksled med jättepoppel förutom det som planterats i grundkalkad torv hade en överlevnad om 20 procent eller lägre. Överlevnaden för sticklingarna planterade i grundkalkad torv var 67 procent (figur 7). En teori bakom att det var så högt bortfall av jättepoppelsticklingarna oberoende av substratsblandning tror vi kan vara att sticklingarna förvarats en längre tid. Sticklingarna klipptes i april och förvarades i kylrum inför planteringen som inte skedde förrän i början juni. Detta kan ha påverkat vitaliteten på sticklingarna och vara en anledning till att många sticklingar dog efter att knopparna hade spruckit. Ytterligare något som kan ha påverkat detta tror vi kan vara kvaliteten på sticklingarna. Det var med det begränsade antalet insamlade poppelgrenar omöjligt att hitta identiska knoppar och grenar att klippa sticklingar av vilket vi tror kan påverka beroende på storlek på knoppen samt om det är ett nytt skott eller om det är ett äldre skott. Dock är detta enbart teorier som kan ha påverkat och inget som vi har undersökt vidare. Det skulle dock även kunna vara intressant att i en framtida studie undersöka eventuella effekter av odlingssubstrat på poppelsticklingars etableringsförmåga.

Ledningstalens förändring under växtperioden varierade (figur 8, 9 och 10). Det var dock ingen stor skillnad för de olika försöksleden förutom för de försöksled där biokol var en del av substratet. Ledningstalen för dessa substrat var betydligt högre i början av perioden än för övriga substrat men senare i växtperioden minskade skillnaden succesivt till liknande nivåer som för övriga substrat. En förklaring till detta kan vara att biokolet i substratet läcker ut mer i spillvattnet i början och bidrar till ett förhöjt ledningstal. Detta är dock inte konstaterat då det krävs mer utförliga försök för att fastställa detta.

PH-värdena för försöksleden innehållande tall eller vårtbjörk varierade något under odlingsperioden. Vid den första mätningen var pH-värdet för försöksleden innehållande ej grundkalkad odlingsstorv och biokol lägre än för grundkalkad odlingsstorv (figur 11, 12 och 13). Värdet låg trots detta inom det spann som anses vara optimalt för skogsplantor vilket är mellan pH 5,4 och 6,5 (Jackson et al. 2009). Detta är något som enbart observerats utifrån resultaten och inte som är statistiskt signifikanta med de analysmetoder som användes utan kräver vidare forskning för att fastställa. Senare mätningar visade en mindre skillnad mellan de olika substraten. Dock kan detta även bero på bevattningsvattnets pH-värde som kan ha påverkat substratens pH-värde då detta låg på 6,7. Detta kan ha påverkat i

högre grad då pH-värdena mättes i spillvattnet från de olika substraten. Därför kan det tänkas att det mer korrekta pH-värdet för ett substrat fås i början av perioden innan bevattningen har hunnit påverka i högre grad. Det kan därför antas utifrån dessa resultat att biokol i viss mängd kan ersätta den pH-höjande egenskapen hos kalk. Dock är detta som tidigare nämnt inte statistiskt bevisat och vidare studier behövs.

Genomgående för odlingsförsöket var att tall och vårtbjörksplantor sådda i substratsblandningar innehållande sågspån hade en lägre höjdtillväxt jämfört med de plantor som såddes i torvdominerade substrat (figur 10, 11 och 12). Resultaten för rothalsdiameter för dessa försöksled var liknande. Skillnaderna kunde inte fastslås statistiskt via hypotesprövning men detta har påvisats vid flera tidigare försöksodlingar av Bodell och Westlund (2023). Dock användes i deras försök inte biokol. En del av detta kan förklaras med att torven har en god katjonbyteskapacitet vilket innebär att torven har bra förmåga att ta upp näringsämnen från exempelvis gödning (Johansson 2008). Samma tendenser observerades även för jättepaplarna, dock går det ej att konstatera något då dödligheten var så hög och sampelstorleken blev för liten. Vidare visade resultaten att vårtbjörk sådd i ej grundkalkad torv och biokol hade en betydligt högre höjdtillväxt än i övriga substrat vilket även avspeglades på rothalsdiametern för detta försöksled. Detta kan bero på biokolets goda katjonbyteskapacitet vilket ytterligare förbättrar substratets förmåga att hålla näringsämnen och vatten (Bäckman 2022).

På grund av det höga bortfallet av jättepoppelsticklingar gick det inte att fastställa någon säker rot- skottkvot annat än för försöksledet planterat i grundkalkad odlingsstorv. Vårtbjörksplantorna som växte i substrat med inblandning av sågspån visade sig i medeltal ha en högre rotandel än de vårtbjörksplantor som växte i substrat utan sågspån. De plantor som hade lägst rot/skott-kvot visade sig vara försöksledet med substrat innehållande ej grundkalkad torv och biokol. Dessa fenomen tror vi beror på att gransågspånet har ett lägre näringsinnehåll gentemot torven. Det lägre näringsinnehållet gör att plantorna behöver ett större rotsystem för att kunna tillgodogöra sig tillräckligt med näring från substratet i fråga. Detta går i linje med tidigare studier av Bodell och Westlund (2023) samt en studie gjord av Rytter (2007). För tallplantorna var resultatet tvärtom, vilket var för oss förvånande. Svaret på varför det blev så är oklart och vidare studier krävs. Denna skillnad är dock inte statistiskt bevisad för vårt material utan endast observerat utifrån insamlade data (se tabell 5).

Resultaten visade att för vårtbjörk var grönbiomassan högre i det försöksled som bestod av ej grundkalkad torv men som hade berikats med biokol jämfört med försöksledet där substratet endast bestod av ej grundkalkad torv. Detta är märkvärdt då biokolet inte kan tillföra någon näring då det är ett stabilt material (Trädgårdsodling.nu 2020), dock kan en anledning vara biokolets goda förmåga att binda näringsämnen i substratet på grund av dess katjonbyteskapacitet (Bäckman 2022). Detta är dock endast våra teorier och ämnet behöver utforskas ytterligare för att säkerställa orsaken. Vi har dock statistiskt bevisat att vårtbjörken växer bättre med biokol inblandat i odlingsstorven, gentemot enbart ej grundkalkad odlingsstorv med en signifikans om $\Pr(Z > 0,05)***$. Tallen hade (i detta försök)

mest grönbiomassa i substratet bestående av ej grundkalkad odlingstorv. Anledningen till detta vet vi inte och vidare efterforskningar behövs för att säkerställa utfallet.

Analysen av kväveinnehåll visade att de försöksled med gransågspån i odlingssubstraten hade plantor med konsekvent lägre kvävehalter jämfört med grundkalkad odlingstorv. Detta gällde både för vårtbjörk och tall (Tabell 8 och 9). Dock hade försöksledet innehållande vårtbjörk, ej grundkalkad odlingstorv, gransågspån och biokol värden som låg närmre grundkalkad odlingstorv än motsvarande försöksled innehållande tall. En påverkande faktor för resultaten kan vara den mängd grönbiomassa som användes i analysen. Detta då det inte gick att samla ihop önskvärd mängd grönbiomassa till kväveanalysen från försöksleden innehållande gransågspån då plantorna var små. Detta medför en osäkerhet kring resultatet och ytterligare studier behövs för att undersöka utfallet närmre, inget är statistiskt säkerställt.

4.1 Felkällor

Datainsamlingen som skett inom försöket har genomförts på ett sätt för att motverka felkällor i den mängd det gick. Detta för att ge en objektiv bedömning av det insamlade dataunderlaget, men likväl förekommer felkällor som kan tänkas påverka resultatet inom studien. Detta gäller framför allt för jättepoppeln då den höga bortgången av sticklingar innebar att mer eller mindre kunde ingen säker datainsamling utföras annat än för ett fåtal mätningar av försöksledet satt i grundkalkad torv. På grund av detta har vi valt att inte ta upp samtliga mätningar i resultatet utan endast de som gick att genomföra med de fåtal plantor som tog sig. Detta tror vi som nämnt tidigare kanske har att göra med förvaringen av sticklingarna, då de under en längre tid stod i kylrum och kvaliteten på sticklingarna varierade.

Det varma vädret som inträffade sig i början på tillväxtperioden kan ha påverkat plantornas tillväxttakt då temperaturen under några dagar uppkom till över +35 °C i växthus trots att takspjället nyttjades. Detta kan påverka då nettofotosyntesen hos åtminstone tall har ett optimum runt +20 °C och temperaturer över detta bidrar till att tillväxten avtar enligt Lindström (2007).

Mätpunkten för rothalsdiametern varierade mellan björkplantorna, detta då den utvalda mätpunkten var direkt ovanför de första gröna bladen hos plantan. Detta kan ha medfört att rothalsdiametern mättes på olika höjd på stammen, och på så sätt ger ett felaktigt resultat för vissa plantor.

För hypotesprövningen gällande skillnaden i mängden grönbiomassa (se bilaga tre och fyra) är skillnaden mellan standardavvikelsen egentligen för stor för att testet ska kunna genomföras. Mycket talar dock för att om testet hade genomförts med större sampelstorlek och på så sätt minskat skillnaden mellan standardavvikelserna hade resultat varit det samma.

Den insamlade mängden grönbiomassa för kväveanalysen varierade mellan försöksled beroende på plantornas storlek, det var inte alltid som önskad mängd

grönbiomassa kunde tas tillvara. Detta gällde framförallt för försöksleden innehållande gransågspån då tillväxten var lägre. Kväveanalysen utfördes endast en gång och utan upprepning, resultatet hade därför kunnat variera om flera upprepningar genomförts. Detta hade dock krävt ännu större sampelstorlek med flera upprepningar per försöksled.

4.2 Slutsats

En statistiskt signifikant lägre höjdtillväxt registrerades för försöksleden med ej grundkalkad odlingstorv och sågspån vid jämförelse med försöksleden med substrat som enbart bestod av ej grundkalkad odlingstorv (se bilaga 1 och 2). Detta gällde både för tall och vårtbjörk.

Standardavvikelseerna för försöksleden bestående av ej grundkalkad odlingstorv och försöksleden bestående av ej grundkalkad odlingstorv och biokol var stora. Detta ledde till att kraven för hypotesprövning enligt formel 6.2.2 egentligen ej uppfylldes då standardavvikelseerna ska vara någorlunda lika för de båda samplen (Stenhag 2021). Dessa konstateranden gör att resultaten kan ifrågasättas men mycket talar för att det skulle bli signifikanta skillnader om försöken upprepas. Detta eftersom studiens resultat indikerar stora skillnader mellan medelvärdena för de båda försöksleden.

De resultat som framkommit i studien tyder på att biokol skulle kunna vara ett alternativ till dagens grundkalkning av odlingstorv. Detta då pH-värdet för substrat innehållande biokol vid odlingsstart låg inom 5,4 och 6,5 vilket kan ses som lämpligt vid skogsplantsodling. Ser man till höjdtillväxt och utvecklingen av rothalsdiameter för vårtbjörk var dessa bättre för plantorna odlade i ej grundkalkad odlingstorv och biokol jämfört med grundkalkad torv. Motsvarande resultat för tall var något sämre. Detta bygger dock enbart på observationer utifrån de medelvärden som redovisas för studiens olika försöksled och är inte statistiskt säkerställt. Det finns dock tidigare studier som rapporterar liknande resultat (Eskandari et al. 2019).

Referenser

- Agromer (2007). Innehållsförteckning, Lithokalk. [Opublicerat material]
- Agarwal, P. Saha, S. Hariprasad, P. (2021). *Biomass conversion and biorefinery*. Volym 13. Sid. 9601-9624. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01998-6>
- Akhlaghi, L. (2022). *Potentialen hos hydrokol från avloppsslam som jordförbättringsmedel*. Stockholm. KTH, Skolan för kemi, bioteknologi och hälsa.
- Baker, K.F. (1957). *The U. C. system for producing healthy container-grown plants: through the use of clean soil, clean stock, and sanitation*. (Manual 23). University of California Division of Agricultural Sciences, Agricultural Experiment Station - Extension Service.
https://openlibrary.org/books/OL25397592M/The_U._C._system_for_producing_healthy_container-grown_plants [29/12-2023]
- Biasi, C., Lind, S.E., Pekkarinen, N.M., Huttunen, J.T., Shurpali, N.J., Hyvönen, N.P., Repo, M.E., Martikainen, P.J. (2008). Direct experimental evidence for the contribution of lime to CO₂ release from managed peat soil. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 40 (10), ss. 2660– 2669.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.07.011>
- Bodell, R. Westlund, E (2023). *Gransågspån som odlingssubstrat för tall-, gran- och björkplantor*. (2023:18) Sveriges lantbruksuniversitet. Skogsmästarskolan.
<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-s-19490>
- Branschföreningen Svensk Torv (2023). *Därför är torvbruket tryggt, säkert och utsläppen minimala*. [Reklamblad]. Hasselfors: Branschföreningen Svensk Torv.
- Bäckman, V. (2022). *Framtiden ser ljus ut för biokol*. (Artiklar 1/2022). Vasa. Yrkehögskolan Novia.
- Carlile, W.R., Raviv, M. & Prasad, M. (2019). Chapter 8 - Organic Soilless Media Components. I: Raviv, M., Lieth, J.H. & Bar-Tal, A. (red.) *Soilless Culture* (Second Edition). Boston: Elsevier. 303-378.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63696-6.00008-6>
- Ericsson, T. Lindsjö, I. (1981) *Tillväxtens pH- beroende hos några energiskogsarter*. (0348-3967-11). Uppsala. Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Eskandari, S. Mohammadi, A. Sandberg, M. Lutz Eckstein, R. Hedberg, K. Granström, K. (2019) *Hydrochar-Amended Substrates for Production of Containerized Pine Tree Seedlings under Different Fertilization Regimes*. (*Agronomy*, 2019, 9, 350.) Karlstad. Karlstad University.
<https://www.mdpi.com/2073-4395/9/7/350>
- Fransson, A.M., Gustafsson, M., Malmberg, J., Paulsson, M. (2020). *Biokolhandboken – för användare*. Hämtad från www.biokol.org

Hansen, K. Hellsten, S. Holmgren, K. Liljeberg, M. Valley, S. Wisell, T. Zetterberg, T. Olsson Öberg, M. (2016). *Torvutvinningens miljöpåverkan*. (C 198). Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Hjelm, K. Rytter, L. (2016). *Poppel har det tufft på sura skogsjordar*. <https://www.skogforsk.se/kunskap/kunskapsbanken/2016/poppel-har-tufft-pa-sura-skogsjordar/> [2023-08-24]

Jackson, B.E., Wright, R.D., Gruda, N. (2009). *Container Medium pH in a Pine Tree Substrate Amended with Peatmoss and Dolomitic Limestone Affects Plant Growth*. HortScience, vol. 44 (7), SS. 1983-1987. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.7.1983>

Joeris, T. (2022). *Plantskoleproduktion utan torv - En inblick i torvfria plantskolor i Storbritannien*. (Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap 2022) Sveriges lantbruksuniversitet. Trädgårdsingenjörsprogrammet

Johansson, K. (2008). *Odlingssubstrat*. Plantaktuellt - *Plantskolan Lektion 5*. nr 1 2008. s.16 – 17. [7/12-2023]

Lindström, A. (2007). *Temperatur och ljus*. Plantaktuellt – *Plantskolan Lektion 1*. nr 1 2007. s.4 – 6. [9/12 – 2023]

Naturvårdsverket. (2023). *Torvtäcker*. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/takter/torvtakter> [10/07-2023]

Naturvårdsverket. (2016). *Torvutvinningens och torvanvändningens klimat- och miljöpåverkan*, (NV-06808-15), Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket. (Utan år). *Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk*. <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomställningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/> [18/07-2023]

Nissinen, K. Virjamo, V. Kilpeläinen, A. Ikonen, V. Pikkarainen, L. Ärväs, I. Kirsikka-aho, S. Peltonen, A. Sobuj, N. Sivadasan, U. Zhou, X. Ge, Z. Salminen, T. Julkunen-Tiitto, R. Peltola, H. (2020). *Growth response of boreal scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings to simulated climate warming over three growing seasons in a controlled field experiment*. (Forests 2020, 11, 943). Basel. MDPI. DOI: 10.3390/F11090943

Runefelt, L. (2010). *SVENSK MOSSKULTUR odling, torvanvändning och landskapets förändring 1750 – 2000*. 2. Uppl. Stockholm: Kungl. Skogs- och lantbruksakademien

Rytter, L. (2007). *Gödsling av täckrotsplantor*. Plantaktuellt - *Plantskolan lektion 2*. nr 2 2007. s.7 – 9. [8/12-2023]

SFS 1985:620. *Lag om vissa torvfyndigheter*. Stockholm. Miljö- och energidepartementet.

SFS 1998:808. *Miljöbalk*. Stockholm. Klimat- och näringslivsdepartementet.

Simoni, M. D. Wilkes, M. Brun, S. L. Provis, J. Kinoshita, H. Hanein, T. (2022). Decarbonising the lime industry: State of the art. (Renewable and Sustainable Energy Reviews 168 (2022) 112765). Sheffield. University of Sheffield.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112765>

Skogsstyrelsen. (2023). *Minskning av levererade skogsplantor 2022*.
<https://www.skogsstyrelsen.se/nyhetslista/minskning-av-levererade-skogsplantor-2022/> [29/12-2023]

Stenhag, S. (2021). *Åt skogen med statistik*. Skogsmästarskolan; Sveriges lantbruksuniversitet

Trees for me. (2023). *Bakgrund*. <https://treesforme.se/sv/om-trees-for-me/bakgrund/> [18/07-2023]

Trees for me. (2023). *Ledning och styrning*. <https://treesforme.se/sv/om-trees-for-me/ledning-och-styrning/> [18/07-2023]

Trädgårdsodling.nu. (2020) *Odla med biokol, hur gör man?*
<https://tradgardsodling.nu/odla-med-biokol-hur-gor-man/> [8/12-2023]

Weslien, P. Kasimir Klemedtsson, Å. Börjesson, G. Klemedtsson, L. (2009). Strong pH influence on N₂O and CH₄ fluxes from forested organic soils. *European Journal of Soil Science*, June 2009,60,311–320.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2009.01123.x>

Hypotesprövning av höjdtillväxt för försöksled 11 och 5

μ_{11} = Medelhöjdtillväxten i millimeter för försöksled 11 bestående av vårtbjörk sådd i ej grundkalkad odlingstorp och gransågspån

μ_5 = Medelhöjdtillväxten i millimeter för försöksled fem bestående av vårtbjörk sådd i ej grundkalkad odlingstorp

$$\begin{cases} H_0 : \mu_{11} = \mu_5 \Leftrightarrow \mu_{11} - \mu_5 = 0 & \text{Försöksled 11 och fem har samma medelhöjdtillväxt} \\ H_1 : \mu_{11} \neq \mu_5 \Leftrightarrow \mu_{11} - \mu_5 \neq 0 & \text{Försöksled 11 och fem har olika medelhöjdtillväxt} \end{cases}$$

Vi antar att H_0 är sann.

Försöksled 11: $\bar{x} = 24,4$ $s = 10,3043$ $n = 30$

Försöksled 5: $\bar{x} = 104,9$ $s = 28,3704$ $n = 30$

Formel 6.2.3 väljs ty samplen är ≥ 30 och kan användas då undersökningsvariablernas fördelningar är okända men stickproven stora.

$$Z = \frac{(\bar{x}_{11} - \bar{x}_5) - (\mu_{11} - \mu_5)}{\sqrt{\frac{s_{11}^2}{n_{11}} + \frac{s_5^2}{n_5}}} = \frac{(24,4 - 104,9) - (0)}{\sqrt{\frac{10,3043^2}{30} + \frac{28,3704^2}{30}}} \approx -14,6$$

5 % nivå dubbelsidigt test $\Rightarrow Z = 1,96$. H_0 förkastas.

1 % nivå dubbelsidigt test $\Rightarrow Z = 2,58$. H_0 förkastas.

0,1 % nivå dubbelsidigt test $\Rightarrow Z = 3,29$. H_0 förkastas.

Det beräknade testvärdet (-14,6) klarar här av att slå tabellvärdet för 0,1 procent (3,29). Resultatet är därför signifikant. Vi har tillräcklig säkerhet i våra sampel för att ifrågasätta H_0 och dra en bestämd slutsats. Slutsatsen blir att; med 99,9 procents säkerhet skiljer sig medelhöjdtillväxten mellan försöksled elva och försöksled fem.

Ser man till medelvärdena är medelhöjdtillväxten högre för försöksled fem.

Hypotesprövning av höjdtillväxt för försöksled 12 och 6

μ_{12} = Medelhöjdtillväxten i millimeter för försöksled tolv bestående av tall sådd i ej grundkalkad odlingstorv och gransågspån

μ_6 = Medelhöjdtillväxten i millimeter för försöksled sex bestående av tall sådd i ej grundkalkad odlingstorv

$$\begin{cases} H_0 : \mu_{12} = \mu_6 \Leftrightarrow \mu_{12} - \mu_6 = 0 & \text{Försöksled tolv och sex har samma medelhöjdtillväxt} \\ H_1 : \mu_{12} \neq \mu_6 \Leftrightarrow \mu_{12} - \mu_6 \neq 0 & \text{Försöksled tolv och sex har olika medelhöjdtillväxt} \end{cases}$$

Vi antar att H_0 är sann.

Försöksled 12: $\bar{x} = 42,1$ $s = 6,9269$ $n = 30$

Försöksled 6: $\bar{x} = 54,1$ $s = 8,8721$ $n = 30$

Formel 6.2.3 väljs ty samplen är ≥ 30 och kan användas då undersökningsvariablernas fördelningar är okända men stickproven stora.

$$Z = \frac{(\bar{x}_{12} - \bar{x}_6) - (\mu_{12} - \mu_6)}{\sqrt{\frac{s_{12}^2}{n_{12}} + \frac{s_6^2}{n_6}}} = \frac{(42,1 - 54,1) - (0)}{\sqrt{\frac{6,9269^2}{30} + \frac{8,8721^2}{30}}} \approx -5,82$$

5 % nivå dubbelsidigt test $\Rightarrow Z = 1,96$. H_0 förkastas.

1 % nivå dubbelsidigt test $\Rightarrow Z = 2,58$. H_0 förkastas.

0,1 % nivå dubbelsidigt test $\Rightarrow Z = 3,29$. H_0 förkastas.

Det beräknade testvärdet (-5,82) klarar här av att slå tabellvärdet för 0,1 procent (3,29). Resultatet är därför signifikant. Vi har tillräcklig säkerhet i våra sampel för att ifrågasätta H_0 och dra en bestämd slutsats. Slutsatsen blir att; med 99,9 procents säkerhet skiljer sig medelhöjdtillväxten mellan försöksled tolv och försöksled sex.

Ser man till medelvärdena är medelhöjdtillväxten högre för försöksled sex.

Hypotesprövning av höjdtillväxt för försöksled 8 och 5

μ_8 = Grön- biomassan i gram för försöksled åtta bestående av vårtbjörk sådd i ej grundkalkad odlingstorr och biokol.

μ_5 = Grön- biomassan i gram för försöksled fem bestående av vårtbjörk sådd i ej grundkalkad odlingstorr.

$\{H_0 : \mu_8 = \mu_5 \Leftrightarrow \mu_8 - \mu_5 = 0$ Försöksled åtta och försöksled fem har samma medelvärde
 $\{H_1 : \mu_8 > \mu_5 \Leftrightarrow \mu_8 - \mu_5 > 0$ Försöksled åtta har högre medelvärde än försöksled fem

Vi antar att H_0 är sann.

Försöksled 8: $\bar{x} = 0,3938$ $s = 0,1867$ $n = 15$

Försöksled 5: $\bar{x} = 0,1592$ $s = 0,0842$ $n = 15$

Formel 6.2.2 väljs ty samplen är < 30 . Kravet är då normalfördelade mätvärden samt att standardavvikelsen är ungefär lika, i detta fall är inte kravet på standardavvikelseerna uppfyllt och resultatet kan därför ifrågasättas.

$$S_p^2 = \frac{14 \cdot 0,1867^2 + 14 \cdot 0,0842^2}{28} \approx 0,021$$

$$t = \frac{(\bar{x}_8 - \bar{x}_5) - (\mu_8 - \mu_5)}{\sqrt{S_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_8} + \frac{1}{n_5}\right)}} = \text{Om } H_0 \text{ sann} = \frac{0,3938 - 0,1592 - (0)}{\sqrt{0,021 \cdot \left(\frac{1}{15} + \frac{1}{15}\right)}} \approx 4,4356$$

5 % nivå enkelsidigt test $\Rightarrow Z = 1,64$. H_0 förkastas.

1 % nivå enkelsidigt test $\Rightarrow Z = 2,33$. H_0 förkastas.

0,1 % nivå enkelsidigt test $\Rightarrow Z = 3,09$. H_0 förkastas.

Det beräknade testvärdet (4,4356) klarar här av att slå tabellvärdet för 0,1 procent (3,09). Resultatet är därför signifikant. Vi har dock inte tillräcklig säkerhet i våra sampel för att ifrågasätta H_0 och dra en bestämd slutsats.

Enligt ovanstående beräkning gäller att med 99,9 procents säkerhet är mängden grön- biomassa högre i försöksled åtta än i försöksled fem. Dock kan detta resultat ifrågasättas då skillnaden på standardavvikelsen är stor mellan de olika försöksleden. Däremot så talar mycket för att det skulle bli signifikanta skillnader om försöket hade upprepats med en större sampelstorlek. Detta eftersom vår undersökning indikerar stora skillnader mellan medelvärdena för de två försöksleden.

Hypotesprövning av höjdtillväxt för försöksled 9 och 6

μ_9 = Grön- biomassan i gram för försöksled 9 bestående av tall sådd i ej grundkalkad odlingstörv och biokol.

μ_6 = Grön- biomassan i gram för försöksled 6 bestående av tall sådd i ej grundkalkad odlingstörv.

$$\begin{cases} H_0 : \mu_9 = \mu_6 \Leftrightarrow \mu_9 - \mu_6 = 0 & \text{Försöksled nio och försöksled sex har samma medelvärde} \\ H_1 : \mu_9 > \mu_6 \Leftrightarrow \mu_9 - \mu_6 > 0 & \text{Försöksled nio har högre medelvärde än försöksled sex} \end{cases}$$

Vi antar att H_0 är sann.

Försöksled 9: $\bar{x} = 0,0540$ $s = 0,0155$ $n = 15$

Försöksled 6: $\bar{x} = 0,0553$ $s = 0,0081$ $n = 15$

Formel 6.2.2 väljs ty samplen är < 30 . Kravet är då normalfördelade mätvärden samt att standardavvikelsen är ungefär lika, i detta fall är inte kravet på standardavvikelseerna uppfyllt och resultatet kan därför ifrågasättas. Däremot så talar mycket för att det skulle bli signifikanta skillnader om försöket hade upprepats med en större sampelstorlek. Detta eftersom vår undersökning indikerar stora skillnader mellan medelvärdena för de två försöksleden.

$$S_p^2 = \frac{14 \cdot 0,0540^2 + 14 \cdot 0,0081^2}{28} \approx 0,0002$$

$$t = \frac{(\bar{x}_9 - \bar{x}_6) - (\mu_9 - \mu_6)}{\sqrt{S_p^2 \cdot \left(\frac{1}{n_9} + \frac{1}{n_6}\right)}} = \text{Om } H_0 \text{ sann} = \frac{0,0540 - 0,0553 - (0)}{\sqrt{0,0002 \cdot \left(\frac{1}{15} + \frac{1}{15}\right)}} \approx -0,0240$$

5 % nivå enkelsidigt test $\Rightarrow Z = 1,64$. H_0 accepteras.

Det beräknade testvärdet (-0,0240) klarar här inte av att slå tabellvärdet för 5 procent (3,09). Resultatet är därför icke signifikant. Vi har inte tillräcklig säkerhet i våra sampel för att ifrågasätta H_0 och dra en bestämd slutsats. Tror vi fortfarande att försöksled nio har en högre mängd grön- biomassa än försöksled sex så måste vi öka storleken på samplet, alltså göra en större undersökning för att kunna bevisa detta.

[Denna sida ska ligga som den allra sista sidan i din rapport.]

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Läs om SLU:s publiceringsavtal här:

<https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.