

# Samband mellan diameter och vedegenskaper i granklontester i Remningstorp (S21S8821096 och S21S8821102)

Relationship between stem diameter and wood properties in Norway spruce clone tests in Remningstorp (S21S8821096 and S21S8821102)



FOTO: MATEUSZ LIZINIEWICZ





Uppsala Science Park, 751 83 Uppsala  
skogforsk@skogforsk.se  
[skogforsk.se](http://skogforsk.se)

---

Kvalitetsgranskning (Intern peer review) har genomförts den 20 oktober 2020 av Thomas Kraft, programchef, Skogforsk. Därefter har Magnus Thor, Forskningschef, Skogforsk, granskat och godkänt publikationen för publicering den 30 november 2020.

Redaktör: Anna Franck, [anna@annafranck.se](mailto:anna@annafranck.se)  
©Skogforsk 2020 ISSN 1404-305X

# Förord

Denna arbetsrapport behandlar två försök där förädlad gran (utvalda kloner) och oförädlad gran testades, försök S21S8821096 och S21S8821102. Rapporten behandlar mätningar av kvalitetsegenskaper. Mätningarna ger en indikation om sambandet mellan icke destruktiva och indirekta mätningar av densitet med deras verkliga värden. Arbetet har utförts med medel från Hildur och Sven Wingquists forskningsfond.

Mateusz Liziniewicz  
Svalöv, oktober 2020

# Innehåll

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Förord .....                         | 3  |
| Sammanfattning .....                 | 5  |
| Summary .....                        | 6  |
| Bakgrund .....                       | 7  |
| Syfte .....                          | 7  |
| Material och metoder .....           | 8  |
| Försök 1096 .....                    | 8  |
| Försök 1102 .....                    | 9  |
| Mätarsorterna .....                  | 9  |
| Mätning .....                        | 10 |
| Densitet skattning .....             | 11 |
| Analys och beräkningar .....         | 12 |
| Resultat och Diskussion .....        | 13 |
| Variation i trädens egenskaper ..... | 13 |
| Pilodyn .....                        | 14 |
| Akustisk velocitet .....             | 15 |
| Densitet .....                       | 16 |
| Allmän diskussion .....              | 18 |
| Referenser .....                     | 24 |

# Sammanfattning

Höjd och diameter har varit de mest betydelsefulla variablerna i det svenska förädlingsprogrammet för gran sedan starten i början av 1960-talet. Tidiga mätningar av båda variablerna i genetiska fältförsök hade störst betydelse för vilka träd som valdes ut för framtidens förädling. Rakhets- och grenegenskaper inkluderades också, men i mindre grad, vid urvalet för att säkerställa att stamkvaliteten skulle accepteras av industrin. Vedegenskaper har ännu inte varit inkluderade i förädlingen eftersom mätningarna av de egenskaperna kräver stora resurser och är komplicerade att utföra i fält. Däremot har ett negativt samband observerats mellan tillväxt och vissa vedegenskaper. Därför är det viktigt att bevaka vedegenskaper i förädlingsprogrammet, i mindre studier och helst med hjälp av icke-destruktiva mätmetoder som kan ge indikationer på vedens kvalitet. Studien utfördes i två 32-åriga granklonförsök. Utrustningen som användes för att mäta vedens densitet respektive hållfasthet på stående träd var Pilodyn och Fakkop. Pilodyn-mätningen korrelerade väl med veddensitet och därför kan användas för att skatta indikationer av granvedens densitet. Ett negativt samband mellan pilodyn-resultaten och diameter indikerade att urval baserat på diameter leder till en minskning av veddensiteten. Korrelationen mellan hållfasthet och diameter var måttlig. Korrelationer med andra egenskaper var låga. Liknande fenotypisk variation för pilodyn och Fakkop indikerar möjligheter att använda metoden i förädling för urvalet av träd med hög hållfasthet. Däremot måste sambandet mellan destruktiv skattning av hållfasthet och mätningar med utrustningen i fält studeras noggrannare. Variationen i veddensitet mellan klonerna i båda försöken var  $\pm 10\%$ .

# Summary

Growth parameters (i.e. height and diameter) have been the most important variables in the Swedish breeding programme for Norway spruce since the programme began in the 1960s. Early measurements of these variables in genetic field trials formed the basis for selection of superior genotypes. Straightness and branch properties were also included, but to a lesser extent, to ensure the acceptability of stem quality for industry.

To date, wood properties have not been used in selection, as field measurements of such traits are expensive and complicated. However, a negative correlation has been observed between growth and certain wood properties, so it is important to monitor wood properties in the breeding programme in smaller studies, preferably using non-destructive methods.

This study was carried out in two 32-year clonal field trials with Norway spruce. The Pilodyn wood testing instrument was used to measure wood density and the Fakkop used for wood strength. The Pilodyn measurement correlated well with wood density and confirmed the feasibility of the method for measuring wood density. A negative correlation between the Pilodyn result and diameter at breast height indicated that selection based on diameter might cause a reduction in wood density.

Correlation between wood strength and diameter was moderate, and correlations with other properties were weak. The similar phenotypic variation of the Pilodyn and Fakkop measurements indicates a potential to use the method in genetic breeding for selection of trees with high wood strength. However, the relationship between wood strength estimates based on destructive methods and estimations produced by equipment in the field must be studied in more detail. The variation in wood density between the thickest clones in the two trials was +/- 10 percent.

# Bakgrund

Kunskap om specifika vedegenskaper kommer att vara mycket viktigt i framtidens skogsbruk. Rent hypotetiskt kan detaljerad information om vedegenskaperna underlätta skräddarsydd råvaruförsörjning till specifika industrier och möjliggöra etablering av ny skog för specifika behov.

En stor utmaning är att skapa en kunskapsbas för virkesegenskaper som kan möjliggöra urval i förädlingsprogrammet baserat på dessa egenskaper. Mer kunskap om vedegenskaperna är nödvändig för att kunna integrera andra egenskaper än tillväxt i framtida urval av träd till nya förädlingspopulationer.

Ursprungligen har förädlingsprogrammet för gran fokuserat på att öka volymproduktionen per hektar ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ) och öka rakheten av enskilda träd (Rosvall 2011). Ökning av volymproduktionen i bestånd genom ökning av enskilda träddiametrar leder till lägre veddensitet av enskilda träd (Gräns m.fl. 2009, Hannrup m.fl. 2004). Konsekvensen är att producerat virke har sämre kvalitet och hållfasthet.

Heritabiliteten för granens vedegenskaper är oftast högre än för dess tillväxtegenskaper (Chen 2016, Hallingbäck m.fl. 2018, Hallingbäck m.fl. 2010, Legg och Bradley 2016). Det betyder att en stor del av den fenotypiska variationen i en specifik egenskap beror på genetik. Däremot är den fenotypiska och genetiska variationen i vedegenskaperna lägre än för tillväxtegenskaperna, vilket minskar möjligheterna till egenskapsförbättring.

Densitet och styvhet är två av de mest betydelsefulla egenskaperna, eftersom de påverkar kvaliteten på nästan alla slutprodukter (Zobel & Talbert 1984, Zobel & Van Buijtenen 1989). Att mäta densitet och styvhet är dyrt eftersom provtagningen är tidskrävande (borrkärnor) och proverna måste analyseras i labbet. Därför letar man efter lösningar som kan använda indirekta mätningar för att uppskatta densiteten eller styvheten, till exempel med hjälp av pilodyn eller akustiska metoder (Apiolaza 2009, Fundova m.fl. 2019). Pilodynmätningar ger en indikation om trädens densitet, medan resultat från akustiska mätningar ger information om egenskaper som styvhet, mikrofibervinkel och fibervinkel. Mätningarna kan utföras direkt på träden utan behov av att skicka prover för kostsamma undersökningar i laboratorium (Legg & Bradley 2016).

## Syfte

Syftet med projektet var att mäta pilodyn och akustisk hastighet i två väletablerade fältförsök som testar olika genetiska material av gran. Dessutom studerades sambandet mellan direkta och indirekta densitetsmätningar på provträden.

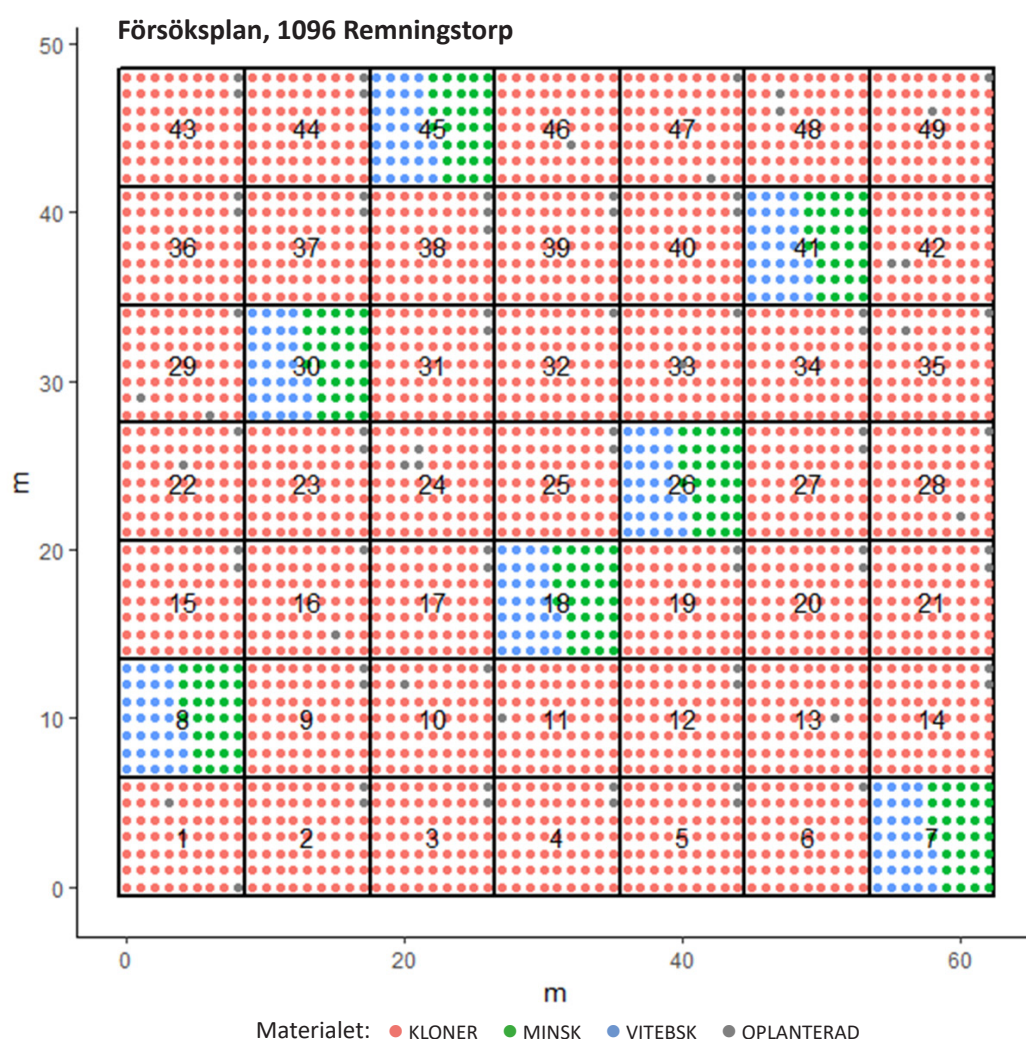
Studiens resultat ska i kommande arbete användas för att (i) jämföra densitet mellan selekterat och oförädlad granmaterial som växer i samma försök, (ii) undersöka variation i olika vedegenskaper mellan grankloner och (iii) uppskatta biomassaproduktion i förädlade skogar.

# Material och metoder

I studien analyserades två försök, S21S8821096 och S21S8821102, som fortsättningsvis benämns S1096 och S1102. Här planterades år 1988 treåriga täckrotsplantor i 1,4 x 1,4 meters förband. Försöken etablerades enligt romersk kvadratdesign (Olsson 2011). Beräknat ståndortsindex vid 30 års ålder är 35,9 m (Johansson m.fl. 2013).

## FÖRSÖK 1096

Försöket innehåller 362 sticklingsförökade kloner, där 211 kloner (1427 plantor) kommer från 101 helsyskonfamiljer (kontrollerade korsningar mellan utvalda träd), 151 kloner (1055 plantor) från 84 halvsyskonfamiljer (fri avblomning från kända föräldrar) och 441 fröplantor från två vitryska oförädlade provenienser, så kallade mätarsorter (Figur 1).

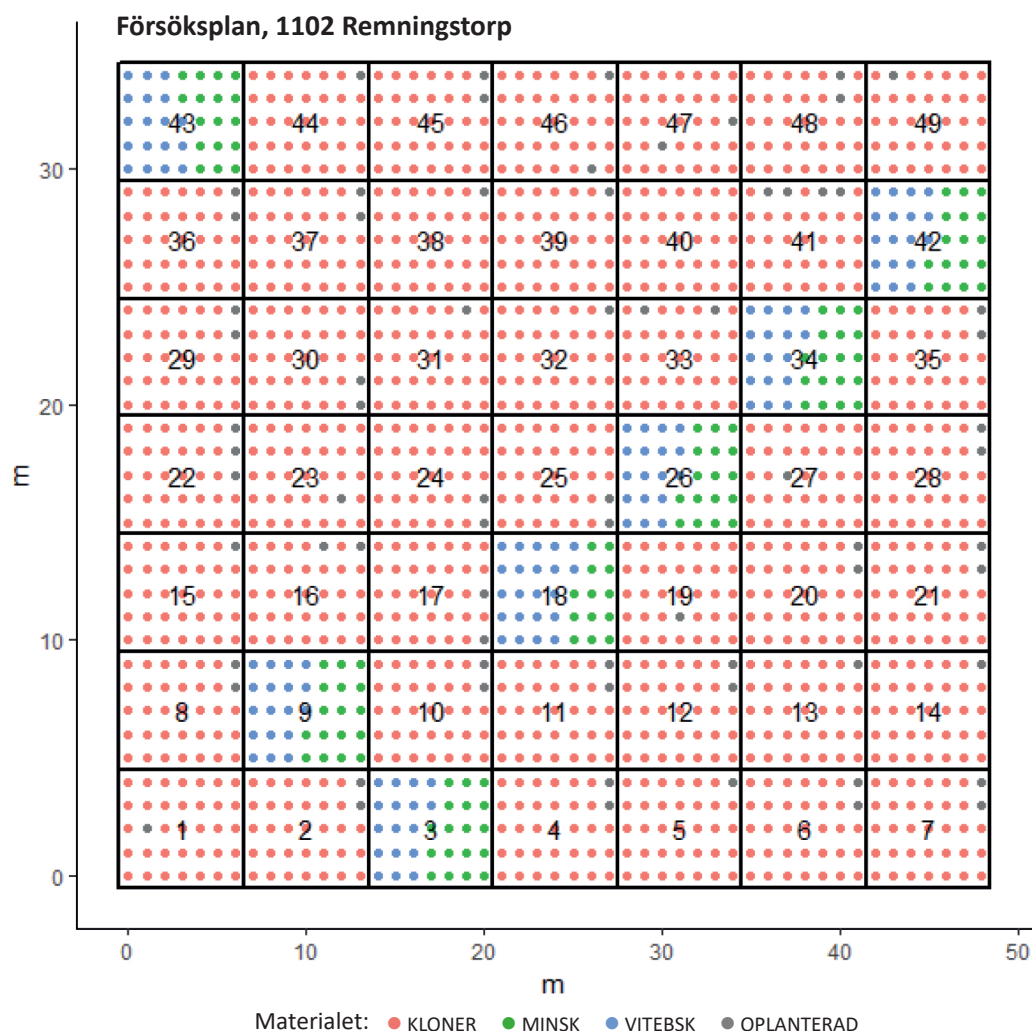


Figur 1. Plan över parcellerna i försök 1096. Observera att parcellerna med mätarsorter är delade.



## FÖRSÖK 1102

Försöket innehåller 200 sticklingsförökade kloner (1396 plantor) som kommer från 14 halvsyskonfamiljer (fri avblomning från kända föräldrar) och 441 plantor från två vitryska oförädlade provenienser (Figur 2).



Figur 2. Plan över parcellerna i försök 1096. Observera att parcellerna med mätarsorter är delade.

## MÄTARSORTERNA

De oförädlade, vitryska provenienserna förväntas växa ca åtta procent bättre än de oförädlade inhemska provenienserna. Dessa provenienser användes ofta i praktiskt skogsbruk när försöken anlades och nyttjades därför också som jämförelsematerial i genetiska försök.

Efter plantering har varje bestånd gallrats två gånger, men varken tidpunkt eller utgallrad volym registrerades.

## MÄTNING

Försöken har tidigare mätts vid två, respektive tre tillfällen. I försök 1096 mättes höjden sex år efter plantering. I försök 1102 mättes höjden sex år efter plantering och diametern 14 år efter plantering. Mätningarna omfattade alla träd i försöken.

Vintern 2017 utfördes en ny mätning, då kvarstående träd klavades i brösthöjd (1,3 m, DBH) och höjden (H) mättes på slumpmässigt utvalda träd. Detta gjordes för att uppskatta höjden på träd där bara diameter uppmätts. Stubbdiameter (STUB) av stående och utgallrade träd mättes för att återskapa storleken på utgallrade träd. Gallringstillfälle (första- eller andragallring) bedömdes för varje stubbe, baserat på en subjektiv granskning av stubbens utseende. Resultaten rapporterades av Liziniewicz (2018).

Hösten 2019, efter 30 år i fält, mättes pilodyn och akustisk velocitet på alla kvarstående träd. Mätning med pilodyn innebär att en stålnål skjuts in i trädet med bestämd kraft och intrånget mäts (i mm). Resultatet ger en indikation på densitet.

Akustisk velocitet mäter hastigheten ( $\text{ms m}^{-1}$ ) hos en akustisk våg mellan två punkter på trädet, vilka placeras en meter från varandra. Resultaten ger en indikation av styvhet och kan i kombination med densitet användas för en skattning av dynamisk styvhet (MOE, elasticitetsmodulen). En Fakkop Ultrasonic-apparat användes för mätningarna i båda försöken (Fakkop 2017).

Eftersom pilodynmåttet bara ger en indikation av densiteten behöver mätningen kalibreras. För kalibrering togs borrhävar vid brösthöjd från de 29 och 15 grävsta klonerna i S1096- respektive S1102-försöken (Tabell 1).

Dessutom togs borrhävar från båda mätare i båda försöken. Borrhävarna användes för att skatta ett faktiskt densitetsvärde och för att undersöka sambandet mellan diameter, pilodynmått och akustisk velocitet.

Tabell 1.

Antal träd som mättes i försök 1096 och 1102 för kloner och mätarsorter (mätarsorter inom parentes).

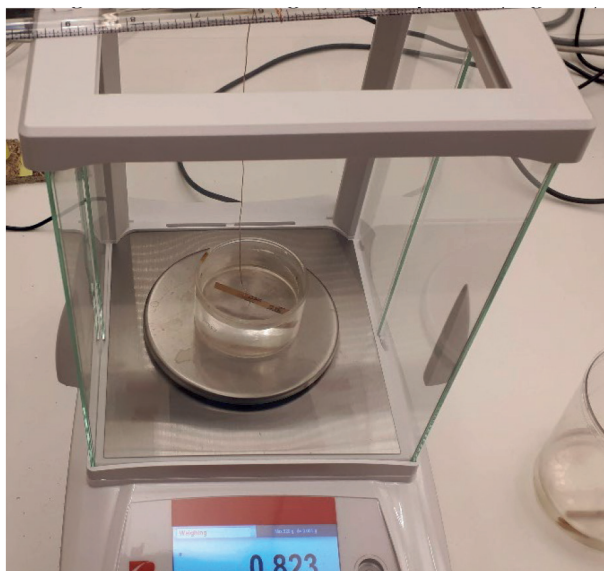
| Försök              | 1096          |    |               |             | 1102          |               |               |             |
|---------------------|---------------|----|---------------|-------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| Variabel/ålder (år) | 6             | 14 | 30            | 32          | 6             | 14            | 30            | 32          |
| Höjd                | 2108<br>(388) | x  | 19<br>(18)    |             | 1173<br>(234) | x             | 24<br>(15)    |             |
| Diameter            | x             | x  | 589<br>(122)  |             | x             | 1163<br>(230) | 310<br>(60)   |             |
| Stubbdiameter       | x             | x  | 2066<br>(368) |             | x             | x             | 1173<br>(227) |             |
| Pilodyn             | x             | x  | x             | 504<br>(82) | x             | x             | x             | 277<br>(46) |
| Fakkop              | x             | x  | x             | 506<br>(83) | x             | x             | x             | 276<br>(46) |
| Densitet            | x             | x  | x             | 71<br>(11)  | x             | x             | x             | 37<br>(9)   |

## DENSITETSKATTNING

Borrkärnorna delades till 5 cm långa prov från barken mot trädens märke. Provet närmast barken kallades "DY", provet efter kallades "DM" och provet närmast märken kallades "DI". Provet "DI" var kortare än 5 cm när trädens diameter var mindre än 30 cm. Om trädens diameter var större än 30 cm togs ett extra prov, "E". Defekter och kådfickor togs bort från alla prov. Reaktionsved eller ruttna delar togs inte bort från proven.

I nästa steg torkades alla prov i  $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  i 48 timmar. Efter torkning vägdes alla prov. Direkt efter torrviktsmätning placerades varje prov i vatten för att uppnå full vattenmättad. Vattenmättnad uppnåddes när proverna sjunkit fullständigt i vattnet.

Efter ca 48 timmar togs proven upp ur vattnet, torkades med pappershandduk, varefter deras våtvikt mättes. Senare sänktes varje prov, hängande på en metalltråd, ner i en behållare med vatten stående på en våg. När provet var helt nedsänkt i vatten registrerades ökningen av volymen (Figur 3).



Figur 3. Mätning av provets volym. Foto: Grace Jones

Densiteten beräknades på två olika sätt: med Arkimedes metod ( $D_A$ ) och med maximum fukthaltmetod ( $D_{MF}$ ).

$$D_A = \frac{(M_V - M_T)}{VOL}$$
$$D_{MF} = \frac{1}{\frac{M_V - M_T}{M_T} + \frac{1}{C}}$$

Där  $M_V$  är provets våtvikt,  $M_T$  är provets torrsvikt,  $VOL$  är provets volym och  $C$  är en faktor som tar hänsyn till cellväggens tjocklek som i detta fall var  $1,53\text{ }\mu\text{m}$  för alla prover. Trädens densitet var ett medelvärde av alla 5 cm prover som analyserades från en borkärna.

Preanalysen visade att det finns ett systematiskt fel i skattningen med  $D_{MF}$ -metoden. Resultaten av  $D_A$ -metoden användes i resultatdelen.

## ANALYS OCH BERÄKNINGAR

Analysen bestod av en inspektion av trender och korrelationer mellan egenskaper. Analysen gjordes för individuella mätningar och för enskilda kloner.

Fenotypisk variationskoefficient beräknades som:

$$CV_f(\%) = \frac{SD}{M} * 100$$

Där SD är standardavvikelse och M är medelvärde.



# Resultat och diskussion

## VARIATION I TRÄDENS EGENSKAPER

Den fenotypiska variationen var störst för brösthöjdsdiameter med  $CV_f$  över 30 procent. För kvalitetsegenskaper var  $CV_f$  oftast lägre än 10 procent. Variationen för akustisk velocitet (AV) var något större än för pilodyn (Tabell 2).

Variationen i diameter var lite högre än i en omfattande studie av avkommor i två sydsvenska 21-åriga granförsök där densitet, pilodyn och akustisk velocitet analyserades bland mer än 1300 halvsyskonfamiljer (Chen m.fl. 2015). I jämförelse med Chen m.fl. (2016) var variationen i pilodyn ca 2 procent mindre, medan variationen i AV var ca 4 procent högre. Skillnaderna var inte stora och kan förklaras med den naturliga variation som finns mellan försök, typ av material (halvsyskon vs kloner), 11-årig skillnad i beståndens ålder och att ett annat instrument användes för AV-skattning.

Den större variationen i diameter indikerar att förbättringsmöjligheterna genom selektion är större än för kvalitetsparametrar. Däremot har kvalitetsegenskaper i övrigt högre heritabilitet än diameter, vilket betyder att de egenskaperna är mer styrda av genetik (Chen 2016, Chen m.fl. 2015, Hallingbäck m.fl. 2018, Hallingbäck m.fl. 2010).

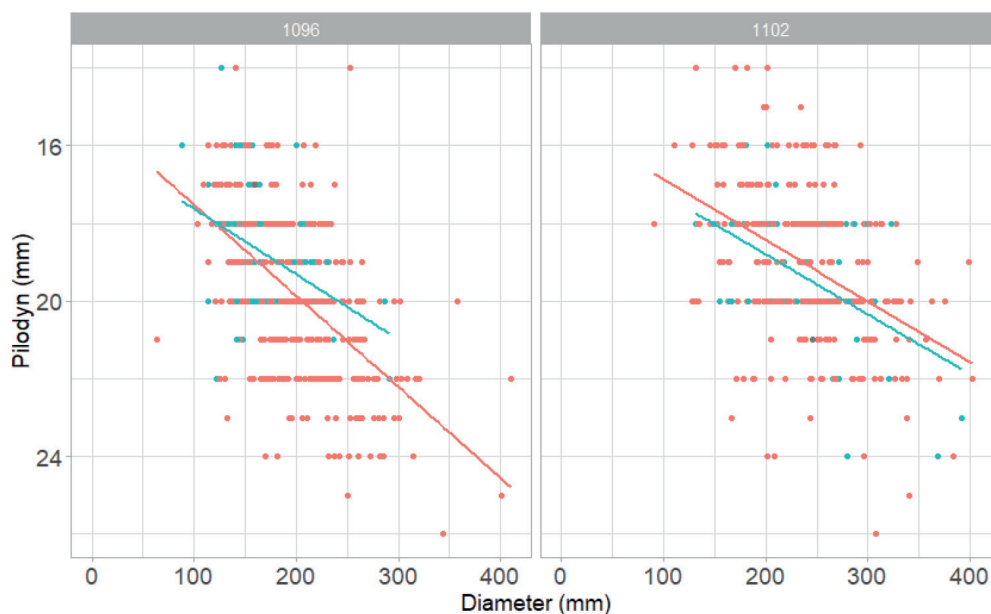
Tabell 2. Egenskapernas medelvärde för S1096 (övre raden) och S1102 (nedre raden)

| Variabel, år        | Enhet              | Medel          | Max            | Min            | CVf (%)**    |
|---------------------|--------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| Dia*, 30            | Mm                 | 173<br>157     | 410<br>402     | 16<br>37       | 35<br>42     |
| Pil, 32             | Mm                 | 19,6<br>19,1   | 26<br>26       | 14<br>14       | 9,7<br>10,6  |
| AV, 32              | ms m <sup>-1</sup> | 225<br>216     | 312<br>356     | 162<br>135     | 11,7<br>13,6 |
| mD, 32              | kg m <sup>-3</sup> | 340,1<br>358,3 | 408,7<br>396,9 | 274,4<br>328,0 | 7,5<br>4,5   |
| D <sub>I</sub> , 32 | kg m <sup>-3</sup> | 325,0<br>344,2 | 394,9<br>398,9 | 268,4<br>301,9 | 8,7<br>7,3   |
| D <sub>M</sub> , 32 | kg m <sup>-3</sup> | 341,1<br>374,5 | 457,2<br>452,5 | 264,9<br>306,3 | 11,6<br>8,3  |
| D <sub>Y</sub> , 32 | kg m <sup>-3</sup> | 346,0<br>360,0 | 469,7<br>416,5 | 275,7<br>318,4 | 9,7<br>7,1   |

\*Dia – diameter, Pil – pilodyn, AV – akustisk velocitet, D – densitet, m – snitt, I – inre delen, M – mellandelen, Y – yttre delen, \*\*CVf – fenotypisk variationskoefficient

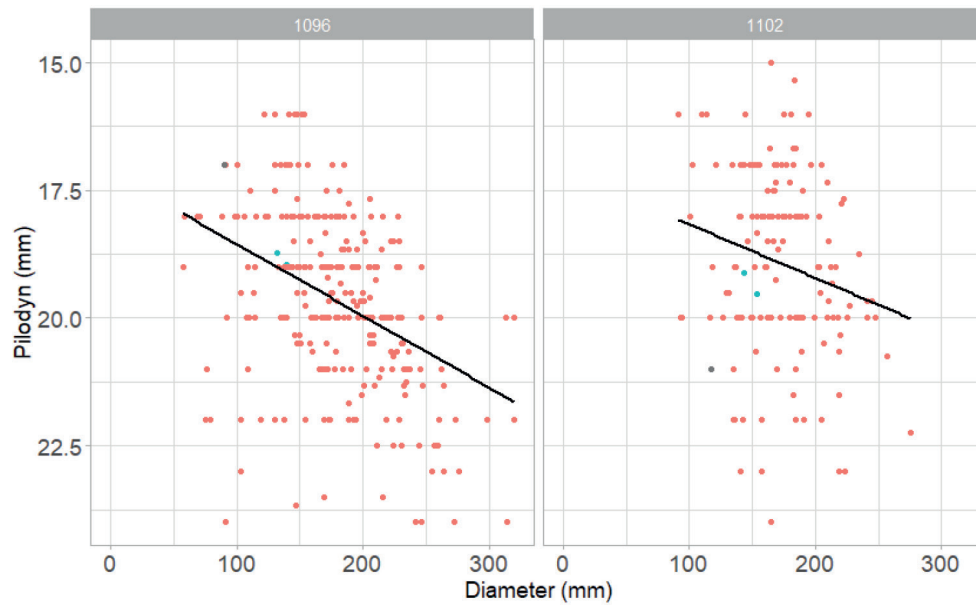
## PILODYN

Pilodyn-måttet visade en måttlig fenotypisk korrelation med diameter 0,55 och 0,43 i respektive S1096 och S1102 (Figur 4, Tabell 3). I Chen m.fl. (2016) var den fenotypiska korrelationen mellan pilodyn-mått och diameter 0,35 vid 12 års ålder och 0,41 vid 21 års ålder, vilket indikerade att korrelationen är stabil över tid.



Figur 4. Samband mellan diameter (mm) och pilodyn (mm) för alla träd i S1096 och S1102. Korrelationen mellan variablerna var 0,55 och 0,43 i respektive S1096 och S1102. Blå punkter representerar mätare (vitryska provenienser) och röda punkter utvalda kloner. Linjerna representerar linjära samband mellan variabler. Observera att y-axen är omvänd.

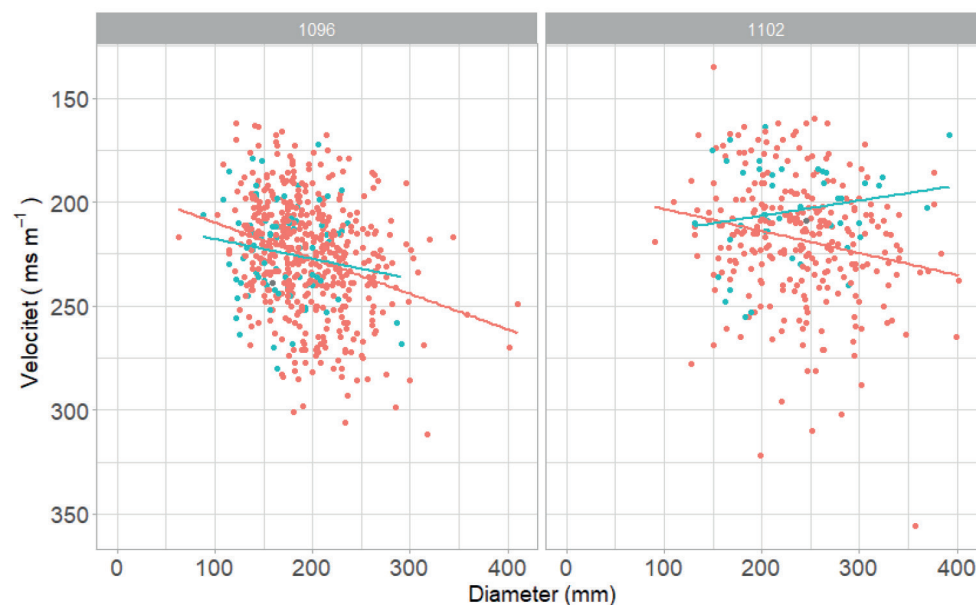
Korrelationen mellan klonvärden för diameter och pilodyn-mått var lägre än de fenotypiska korrelationerna, 0,31 och 0,35 i respektive S1096 och S1102. Sambandet mellan diameter och pilodyn-mått visar att ett urval av kloner som är baserade på diameter får konsekvenser i ökning av pilodyn-värdet vilket indikerar lägre veddensitet (Figur 5). Detta fenomen är känt från studier av Chen m.fl. (2016) samt Hallingbäck m.fl. (2018) och är en utmaning när genetiska vinster ska nås för båda egenskaper.



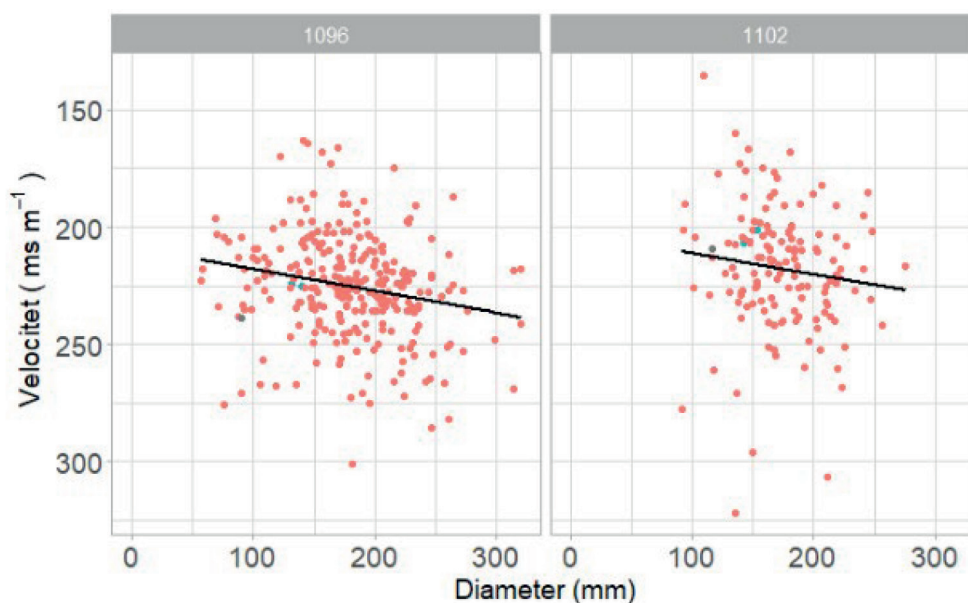
Figur 5. Sambandet mellan klonvärde av diameter (mm) och pilodyn (mm). Korrelationen mellan variabler var 0,31 och 0,35 i respektive S1096 och S1102. Blå punkter representerar mätare (vitryska provenienser) och röda punkter utvalda kloner. Linjerna representerar linjära samband mellan variabler.

## AKUSTISK VELOCITET

Den akustiska velociteten visade låg korrelation med diameter både fenotypiskt och för klonvärden (Figur 6 och Figur 7).



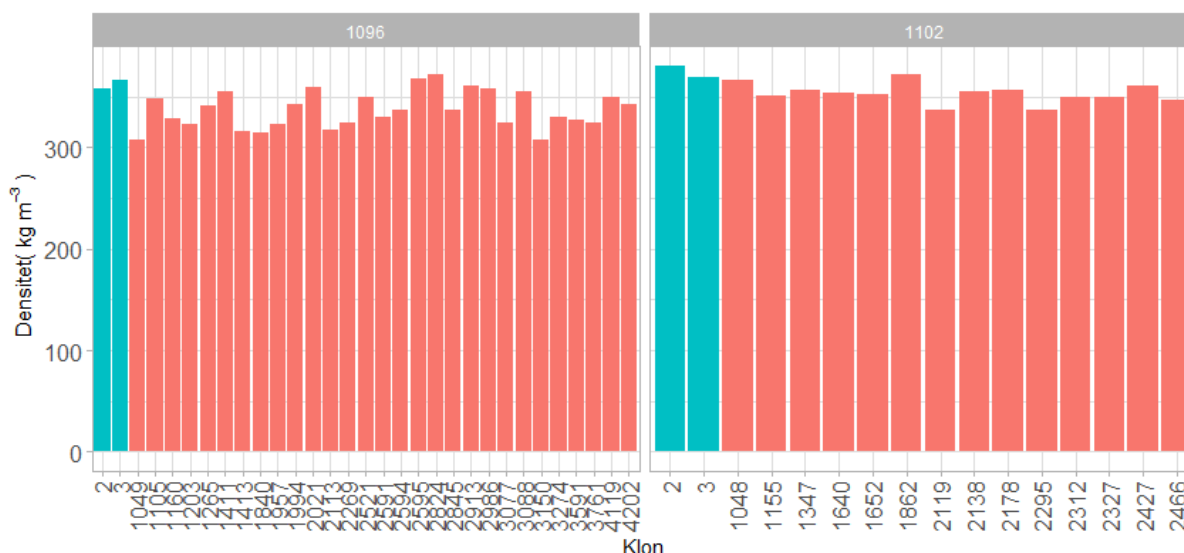
Figur 6. Samband mellan diameter (mm) och akustisk velocitet ( $\text{ms m}^{-1}$ ) för alla data. Blå punkter representerar mätare (vitryska provenienser) medan röda representerar utvalda kloner. Korrelationen var 0,27 och 0,16 i respektive S1096 och S1102. Linjerna representerar linjära samband mellan variabler.



Figur 7. Samband mellan klonvärde av diameter (mm) och velocitet ( $\text{ms m}^{-1}$ ). Korrelation mellan variabler var 0,21 och 0,29 i respektive S1096 och S1102. Blå punkter representerar mätare (vitryska provenienser) medan röda representerar utvalda kloner. Linjen representerar linjära samband mellan variabler.

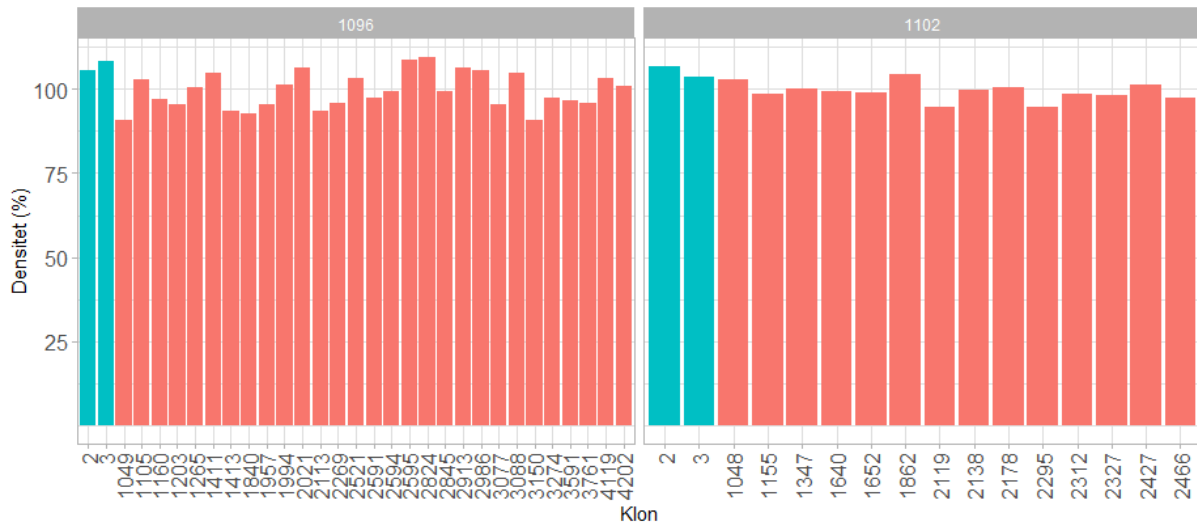
## DENSITET

Genomsnittlig klondensitet var  $337 \text{ kg m}^{-3}$  och  $354 \text{ kg m}^{-3}$  i respektive S1096 och S1102. De högsta klonvärdena var  $382 \text{ kg m}^{-3}$  i S1096 och  $388 \text{ kg m}^{-3}$  i S1102. Klonerna med lägst densitet hade i respektive försök  $274 \text{ kg m}^{-3}$  och  $328 \text{ kg m}^{-3}$ . Variationen i densitet bland kloner var betydligt lägre i S1102. Den lägre densiteten i S1096 kan förklaras med större diameter.



Figur 8. Densitet ( $\text{kg m}^{-3}$ ) av enskilda kloner för försöken S1096 och S1102. Blå färg representerar mätare (vitryska provenienser - fröplantor) och röd färg utvalda kloner.

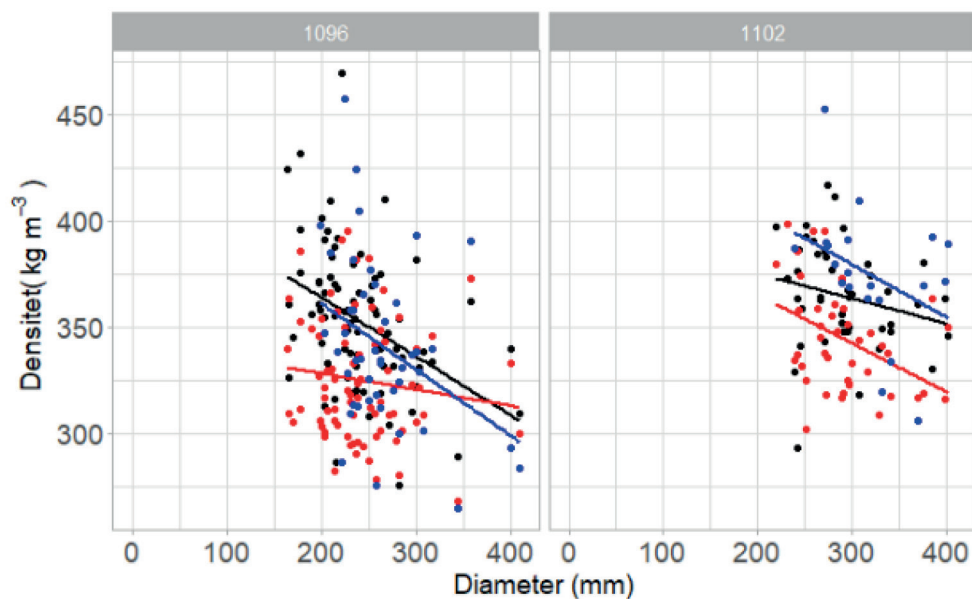
Relativa skillnader mellan enskilda klonmedelvärden och medelvärden av alla kloner visade att de sämsta klonerna presterade 10 procent sämre än medel i S1096 och 5 procent sämre i S1102. De bästa klonerna var ca 10 procent bättre i S1096 och 5 procent bättre i S1102. Liknande relativa skillnader, det vill säga  $\pm 10$  procent, fanns bland 20 grankloner i en finsk studie (Zubizarreta Gerendiain m.fl. 2007).



Figur 9. Relativa skillnader i densitet mellan enskilda kloners medelvärden i försöken S1096 och S1102. Samtliga kloners medelvärde = 100 procent. Blå färg representerar mätare (vitryska provenienser) och röd färg utvalda kloner.

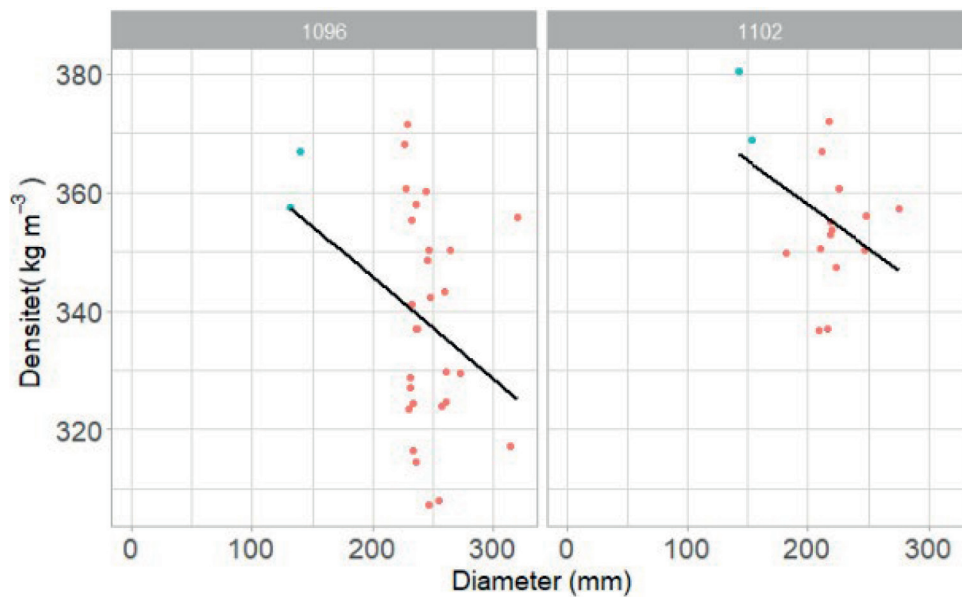
Korrelationen mellan trädens diameter och medeldensitet var negativ och måttlig ( $-0,35$ ). Korrelationsvärdet var likt korrelationen mellan diameter och densitet i olika delar av träd. Densiteten ökade från märgen till barken i S1096 men inte i S1102 (Figur 8). Detta var på grund av att träden var klenare och ett obalanserat antal observationer i  $D_I$ -,  $D_M$ - och  $D_Y$ -grupperna, där ett fåtal bara hade observationer i  $D_M$ -gruppen med ganska höga densitetvärden.





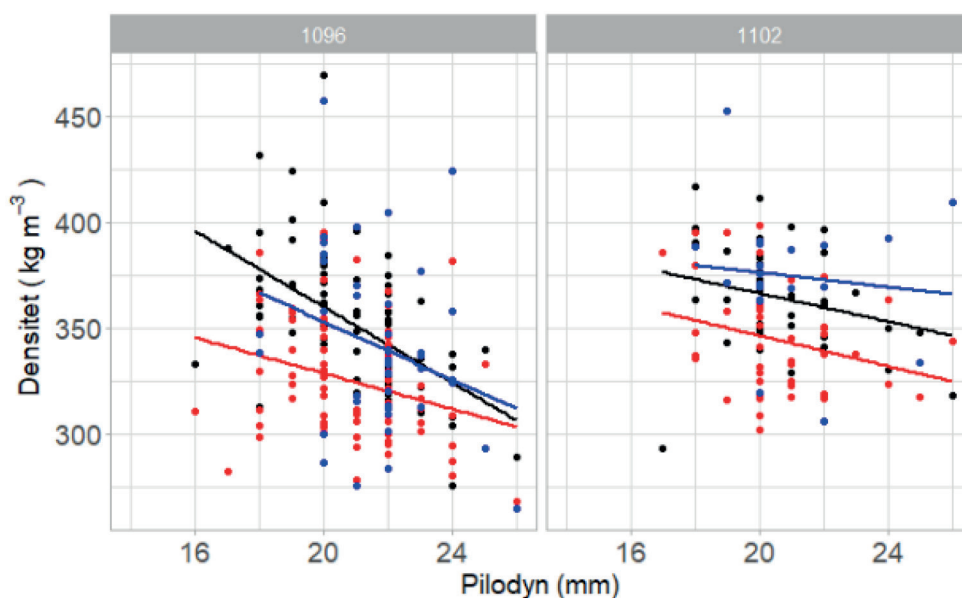
Figur 10. Samband mellan diameter (mm) och densitet ( $\text{kg m}^{-3}$ ) för den inre delen av trädet (röd), mellandelen (blå) och yttre delen (svart), där en längd av varje del är 5 cm för alla observationer. Linjen representerar linjära samband mellan variabler.

Sambandet mellan klonvärden för densitet och diameter var negativt och veddensiteten minskade med ökande diameter (Figur 9). I S1096 var sambandet påverkat av "outliers", mätarsort och en klon, nr 1411, som hade ett högt densitetvärde vid stor diameter. I urvalet riktat på hög biomassaproduktion, det vill säga produkten av volym och densitet, borde sådana kloner prioriteras eftersom prioritering av enbart densitet avsevärt kommer att minska volymproduktionen (Zubizarreta Gerendiain m.fl. 2007). Däremot hade klonen bara två upprepningar som gör att resultaten kan vara en slumpeffekt och borde undersökas vidare. I S1102 var minskningen av densitet med ökande diameter tydlig men det fanns inga kloner som presterade som klonen 1411 i S1096. Korrelationen mellan diameter och densitet i en studie av 20 grankloner i Finland var 0,33 (Zubizarreta Gerendiain m.fl. 2007).

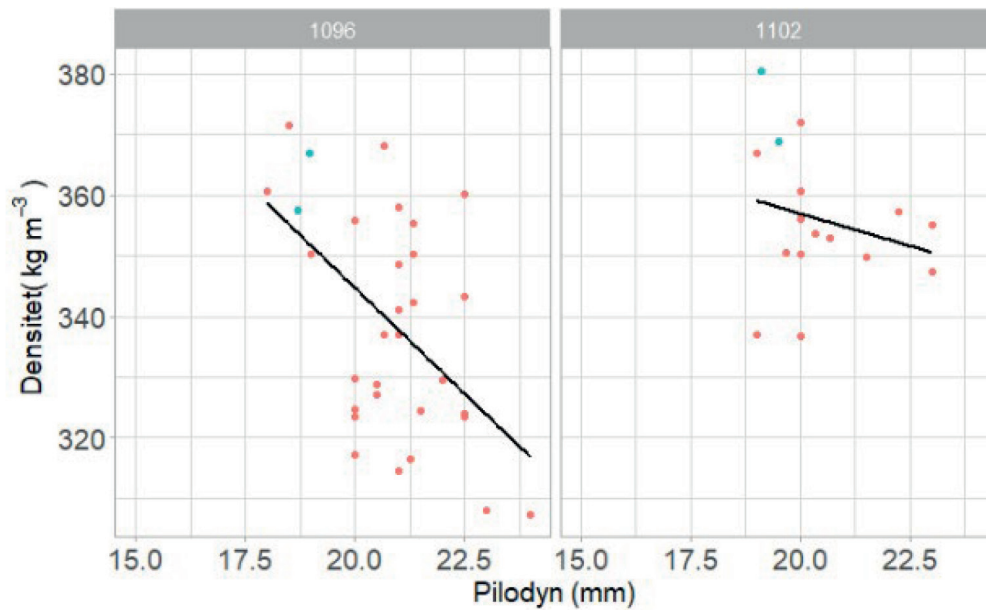


Figur 11. Samband mellan klonvärde av diameter (mm) och densitet ( $\text{kg m}^{-3}$ ). Blå punkter representerar mätare (vitryska provenienser) medan röda punkter representerar utvalda kloner. Korrelation mellan variabler var -0,41 och -0,36 i respektive S1096 och S1102. Linjen representerar linjära samband mellan variabler.

Den fenotypiska korrelationen mellan pilodyn och densitet var -0,46 och -0,32 i respektive S1096 och S1102 (Figur 12). Korrelationerna var svagare än i Chen m.fl. (2016), som redovisade en korrelation på -0,62. Om endast pilodynvärdet från den yttre delen av trädet, som vanligtvis penetreras av pilodynstiftet, användes blev korrelationen -0,52 i S1096 men inte så hög i S1102. Detta gällde både enskilda träd och klonvärden (Figur 13).

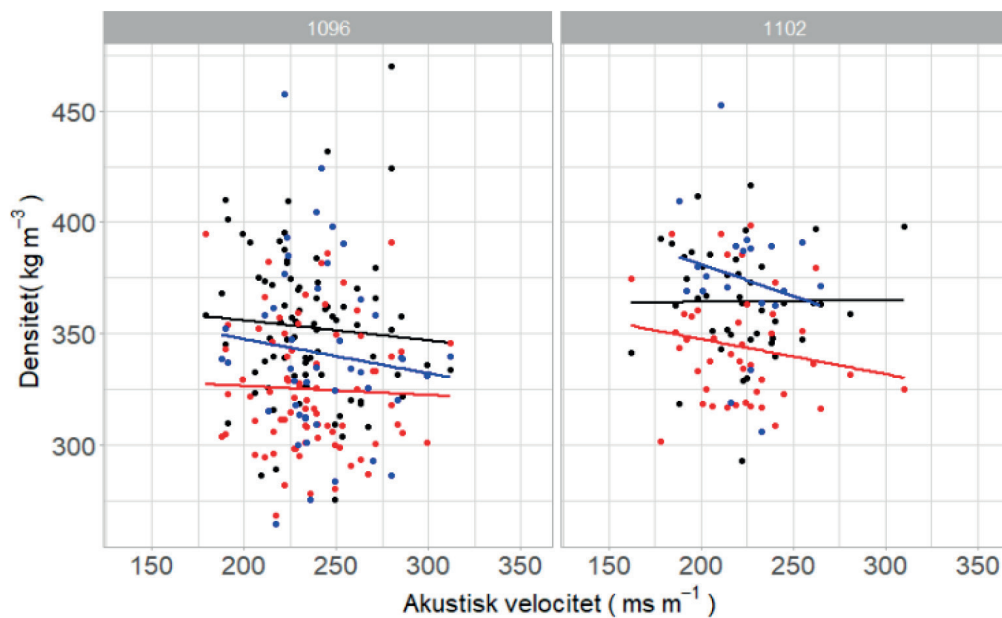


Figur 12. Samband mellan pilodynmätning (mm) och densitet ( $\text{kg m}^{-3}$ ) för den inre delen av trädet (röd), mellandelen (blå) och yttre delen (svart) där en längd av varje del är 5 cm. Linjen representerar linjära samband mellan variabler.

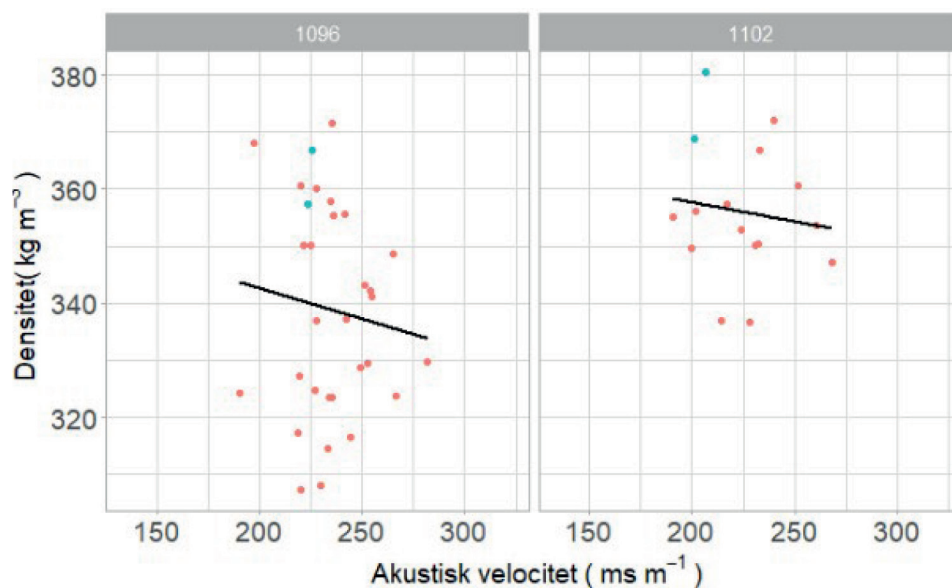


Figur 13. Samband mellan klonvärde av pilodyn och medeldensitet. Blå punkter representerar mätare (Vitryska provenienser) medan röda representerar utvalda kloner. Korrelation mellan variabler var -0,51 och -0,24 i respektive S1096 och S1102.

Sambandet mellan akustisk velocitet och densitet var svagt i båda försöken, såväl fenotypiskt som för klonvärden (Figur 14 och 15, Tabell 3). Det var ca tre gånger svagare än i studien av Chen m.fl. (2016). Dock användes olika mätinstrument.



Figur 14. Samband mellan fenotypiska observationer av akustisk velocitet ( $\text{ms m}^{-1}$ ) och densitet ( $\text{kg m}^{-3}$ ) för den inre delen av trädet (röd), mellandelen (blå) och yttre delen (svart) där en längd av varje del är 5 cm.



Figur 15. Samband mellan akustisk velocitet och densitet för enskilda klonvärden i S1096 och S1102. Blå punkter representerar mätare (Vitryska provenienser) medan röda representerar utvalda kloner. Korrelationen mellan variablerna var -0,11 och -0,13 i respektive S1096 och S1102.

Tabell 3. Fenotypiska korrelationer mellan variabler, S1096 (övre raden) och S1102 (nedre raden). Över diagonalen – klonvärde, under diagonalen – fenotypiska värden.

| Variabel       | Dia            | Pil            | Akustik        | Medel-densitet | Inre densitet  | Mitten-densitet | Yttre densitet |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|
| Dia            | x              | 0,31<br>0,35   | 0,21<br>0,29   | -0,33<br>-0,41 | -0,16<br>-0,41 | 0,16<br>-0,24   | -0,45<br>-0,21 |
| Pil            | 0,55<br>0,43   | x              | 0,13<br>0,02   | -0,51<br>-0,24 | -0,35<br>-0,27 | 0,10<br>-0,50   | -0,14<br>0,22  |
| Akustik        | 0,27<br>0,16   | 0,25<br>0,03   | x              | -0,11<br>-0,13 | -0,13<br>-0,34 | 0,10<br>-0,50   | -0,14<br>0,22  |
| Medeldensitet  | -0,35<br>-0,41 | -0,46<br>-0,32 | -0,08<br>-0,12 | x              | 0,83<br>0,64   | 0,61<br>0,75    | 0,78<br>0,58   |
| Inre densitet  | -0,12<br>-0,41 | -0,29<br>-0,27 | -0,04<br>-0,17 | 0,79<br>0,69   | x              | 0,51<br>0,76    | 0,41<br>-0,14  |
| Mittendensitet | -0,37<br>-0,37 | -0,28<br>-0,11 | -0,11<br>-0,19 | 0,73<br>0,82   | 0,30<br>0,64   | x               | 0,13<br>-0,03  |
| Yttre densitet | -0,40<br>-0,22 | -0,52<br>-0,26 | -0,07<br>0,01  | 0,80<br>0,48   | 0,48<br>-0,10  | 0,21<br>-0,12   | x              |

## Allmän diskussion

I nuläget finns det inga incitament från marknaden att höja trädens kvalitet definierad som högre densitet eller högre styvhet, även om båda egenskaperna betraktas som kritiska för sågvarornas kvalitet (Chen m.fl. 2016). Förädlingsmålet att öka volymproduktionen per hektar gör att urvalet av de bästa genotyperna baseras på tillväxtegenskaperna höjd och diameter. Detta sätt att välja träd till framtidens förädling kan leda till en minskning av trädens densitet.

För att ta hänsyn till densitet och styvhet i förädlingen behöver man noggrant skattade genetiska parametrar, det vill säga heritabilitet, genetiska korrelationer med andra variabler och avelsvärden för enskilda kloner. För att skatta parametrarna för verklig densitet krävs mätning av alla träd i försöket via till exempel borrhärdor. I en vanlig klon-testserie där nya grangenytyper testas planteras ofta mer än 32 000 plantor uppdelade på fyra försökslokaler. Skattning av densitet från borrhärdor i endast ett försök skulle kräva enorma resurser och resultaten av mätningarna skulle vara tveksamma bland annat på grund av låg mätålder för densitet. För att välja de bästa genotyperna i en genetisk försöksserie mäts höjden ca 6 år och diametern 12 år efter plantering för att maximera den genetiska vinsten per tidsenhet. Snittdiametern vid 12 års ålder är ca 60 mm med en fenotypisk variation av 30 procent (Chen m.fl. 2015, Liziniewicz m.fl. 2018, Liziniewicz m.fl. 2020). Densitetsmätning i denna ålder kan vara svår eftersom det framförallt är juvenilved som producerats till detta stadium. Juvenilvedens egenskaper skiljer sig från den mogna veden, eftersom den innehåller mer vårved med annorlunda fiberegenskaper (Fransson m.fl. 2006). Dessutom är borrhärdor i denna ålder små (hälften av diametern) och känsliga för provtagning.

För att ta hänsyn till densitet och styvhet i förädlingsprogrammen letar man efter nya metoder att mäta de viktiga egenskaperna. Indirekta och icke-destruktiva metoder med användning av pilodyn och hastighet av akustiska vågor inne i stammen har testats i olika förädlingsprogram. Hallingbäck m.fl. (2018) visade att det går att öka bland annat sågvarornas densitet och styvhet via indirekt urval baserat på en tidig pilodynmätning. Pilodynmätningen kan göras när det genetiska försöket vuxit mellan 8 och 16 år i fält, eftersom densiteten visade stark korrelation med pilodynmåttet. Den mest omfattande studien i Sverige analyserade ca 5000 borrhärdor bland halvsyskonfamiljer i två syd-svenska försök (Chen m.fl. 2016). Studien visade ett starkt genetiskt samband mellan densitet och pilodyn, akustisk velocitet och mikrofibrillvinkel. Dessa resultat ger stöd för användning av både pilodyn och akustiska metoder inom förädlingen. Man måste ha i åtanke att det finns andra studier som kritiserar pilodynmätning på grund av barkeffekt, snäv mätningsskala som ger många fel vid läsning av resultaten och tekniska problem med stift och fjäder och att instrumentet behöver kalibreras efter ett antal användningar (Gao m.fl. 2017).

I vår studie mättes densiteten bara på ett fåtal provträd. Det var omöjligt att skatta heritabilitet och genetiska korrelationer mellan densitet samt andra egenskaper som mättes på samtliga träd. Fenotypiska korrelationer följde mönster från andra studier (Chen m.fl. 2016, Hallingbäck m.fl. 2018) och bekräftade ett måttligt och ogynnsamt samband mellan trädens diameter och densitet samt mellan diameter och pilodyn. Detta visar att det är viktigt att i barrträdsförädlingsarbetet uppmärksamma den negativa effekten av tillväxtbaserat urval på veddensiteten, så att inte urvalet leder till en avsevärd minskning av biomassaproduktionen. Minskad densitet med ökande diameter är ett känt



samband också från vanliga skogar och påverkas både av biologiska faktorer (konkurrens) och klimatiska faktorer (till exempel förlängning av tillväxtsäsongen). Därför är det viktigt att kontrollera hur densiteten påverkas i kommande förädlingsgenerationer.

Hastighetsmätning av akustiska vågor i stammen har visat svag korrelation med tillväxt-egenskaper och kvalitetsegenskaper. Akustisk velocitet ska ge en indikation av styvhet som ofta representeras via MOE (Chen m.fl. 2016). I vår studie har vi inte skattat MOE med en avancerad metod som till exempel SilviScan och vi kunde inte relatera våra mätningar av akustisk velocitet till ett verkligt värde av MOE.

Heritabilitet för kvalitetsegenskaper i andra studier visade att de är under ganska stark genetisk kontroll (Fundova m.fl. 2020, Hallingbäck m.fl. 2018, Chen m.fl. 2016). Däremot är både den fenotypiska och genetiska variationen ganska snäv. Pilodynmått vid 18 års ålder i ett genetiskt försök med gran visade en heritabilitet på 0,31, men den fenotypiska variationen var bara 10 procent (Hallingbäck m.fl. 2018). I ett 21-årigt granbestånd låg heritabiliteten på ca 34 procent och den fenotypiska korrelationen på ca 7 procent. Detta skapar ganska små möjligheter att förbättra egenskaperna genom urval i förädling, speciellt om tillväxtegenskaper samtidigt prioriteras.

En möjlighet att öka biomassaproduktionen är att tillämpa klonskogsbruk med enskilda kloner som kombinerar bra tillväxt med hög densitet. De klonerna kan klonas i stor skala med hjälp av somatisk embryogenes, förutsatt att metoden kan kommersialiseras i framtiden (Rosvall 2019). Även om vi har visat att det fanns en sådan klon (1411) i vår studie behövs en fördjupad analys av klonen, eftersom densitetsskattningen kunde vara felaktig. För klonskogsbruk föreslogs en blandning av 10 till 20 kloner för att minimera risker av ett felaktigt urval som kan skapa oönskade konsekvenser, som till exempel svampangrepp på vissa kloner (Rosvall 2019). Än så länge är användningen av grankloner i Sverige begränsad på grund av brist på plantor. Dessutom kan enligt lagen bara 5 procent av fastighetsarealen planteras med klonat material.

## **Framtidens forskning**

1. Även om det finns indikationer att pilodyn-mätning vid 12 års ålder kan användas för urval av kloner med hög densitet vore det intressant att testa detta i en mer omfattande studie via borrhärd från träd som mätts med pilodyn.
2. Vid mätning med akustisk velocitet måste MOE skattas med hjälp av mer avancerad teknik. Detta möjliggör skattning av verkligt samband mellan egenskaperna.
3. Mer underlag behövs för att fatta ett robust beslut för att inkludera densitets-mätning via pilodyn i ett förädlingsurval. Minskad densitet med ökande diameter är ett känt fenomen och påverkas av klimatiska och biologiska faktorer (Pretzsch m.fl. 2018). Därför är det viktigt att skilja mellan dessa faktorer och genetisk påverkan.

# Referenser

- Apiolaza, L.A. 2009. Very early selection for solid wood quality: screening for early winners. *Annals of Forest Science*, 66 (6), 1-10.
- Chen, Z.-Q. 2016. Quantitative genetics of Norway spruce in Sweden, Swedish University of Agricultural Science.
- Chen, Z.-Q., Karlsson, B., Lundqvist, S.-O., García Gil, M.R., Olsson, L. & Wu, H.X. 2015. Estimating solid wood properties using Pilodyn and acoustic velocity on standing trees of Norway spruce. *Annals of Forest Science*, 72 (4), 499-508.
- Fakkop. 2017. UltraSonic Timer - User's Guide.
- Fransson, J., Olsson, A. & Witten, T. 2006. Swedish softwoods and hardwoods – use and anatomy. Växjö University, Sweden.
- Fundova, I., Funda, T. & Wu, H.X. 2019. Non-Destructive Assessment of Wood Stiffness in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) and its Use in Forest Tree Improvement. *Forests*, 10 (6), 491.
- Gräns, D., Hannrup, B., Isik, F., Lundqvist, S.-O. & McKeand, S. 2009. Genetic variation and relationships to growth traits for microfibril angle, wood density and modulus of elasticity in a *Picea abies* clonal trial in southern Sweden. *Scandinavian journal of forest research*, 24 (6), 494-503.
- Hallingbäck, H.R., Högberg, K.-A., Säll, H., Lindeberg, J., Johansson, M. & Jansson, G. 2018. Optimal timing of early genetic selection for sawn timber traits in *Picea abies*. *European Journal of Forest Research*, 137 (4), 553-564.
- Hallingbäck, H.R., Jansson, G. & Hannrup, B. 2010. Genetic correlations between spiral grain and growth and quality traits in *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*, 40 (2), 173-183.
- Hannrup, B., Cahalan, C., Chantre, G., Grabner, M., Karlsson, B., Bayon, I.L. et al. 2004. Genetic parameters of growth and wood quality traits in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19 (1), 14-29.
- Johansson, U., Ekö, P.M., Elfving, B., Johansson, T. & Nilsson, U. 2013. Nya höjdtvecklingskurvor för bonitering. [New site index curves]. Fakta Skog, 14, 6.
- Legg, M. & Bradley, S. 2016. Measurement of stiffness of standing trees and felled logs using acoustics: a review. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139 (2), 588-604.
- Liziniewicz M. (2018). Genetisk vinst i volym över tid i två granklontester. Skogforsk Arbetsrapport 973
- Liziniewicz, M., Berlin, M. & Karlsson, B. 2018. Early assessments are reliable indicators for future volume production in Norway spruce (*Picea abies* L. Karst) genetic field trials. *Forest Ecology and Management*, 411, 75-81.
- Liziniewicz, M., Ene, L.T., Malm, J., Lindberg, J., Helmersson, A. & Karlsson, B. 2020. Estimation of Genetic Parameters and Selection of Superior Genotypes in a 12-Year-Old Clonal Norway Spruce Field Trial after Phenotypic Assessment Using a UAV. *Forests*, 11 (9), 992.

- Olsson, U. 2011. Statistics for life sciences 1. Studentlitteratur: Lund, 350 p.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Kemmerer, J. & Uhl, E. 2018. Wood density reduced while wood volume growth accelerated in Central European forests since 1870. *Forest Ecology and Management*, 429, 589-616.
- Rosvall, O. 2011. Review of the Swedish tree breeding program. Skogforsk, Uppsala, Sweden.
- Rosvall, O. 2019. Using Norway spruce clones in Swedish forestry: general overview and concepts. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 34 (5), 336-341.
- Zobel, B. & Talbert, J. 1984. Applied forest tree improvement. John Wiley & Sons, 498 p.
- Zobel, B. & Van Buijtenen, J. 1989. Variation among and within trees. *Wood Variation: Its Causes and Control*. Springer-Verlag, New York, 363p.
- Zubizarreta Gerendiain, A., Peltola, H., Pulkkinen, P., Jaatinen, R., Pappinen, A. & Kellomäki, S. 2007. Differences in growth and wood property traits in cloned Norway spruce (*Picea abies*). *Canadian Journal of Forest Research*, 37 (12), 2600-2611.