



## PĀRSKATS

PAR AS "LATVIJAS VALSTS MEŽI" PĒTĪJUMA

ATJAUNOJAMO ENERGORESURSU PRODUKTU RAŽOŠANAS,  
PĀRSTRĀDES UN LOĢISTIKAS RŪPnieciskais PĒTĪJUMS

DARBU IZPILDI

---

Pārskata nosaukums **NOVĒLOTAS MAŠINIZĒTAS  
JAUNAUDŽU KOPŠANAS IETEKMES  
NOVĒRTĒJUMS SKUJUKOKU  
AUDZĒS**

Līguma Nr. **3. 5.5-5.1-000p-101-12-8**

Pārskata Nr. **2014/09**

Pārskata versija **1.0**

Izpildes laiks **03.01.2014 - 30.11.2014**

Izpildītājs **Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava"**

Projekta vadītājs

---

**A. Lazdiņš**

## KOPSAVILKUMS

Mežizstrādes mašīnu pielietošana jaunaudžu kopšanās saistās ar lielām izmaksām, sevišķi, ja audzes vidējais augstums ir mazāks par 7..8 m. Lai no tā izvairītos, ir iespējams veikt jaunaudžu kopšanu novēloti, nogaidot, kad audzes vidējais augstums pārsniedz šo robežu. Pētījuma mērķis ir raksturot novēlotas jaunaudžu kopšanas ietekmi uz turpmāko audzes attīstību. Pētījums veikts 2 egļu audzēs un 1 priežu audzē Jelgavas apkārtnē, kur 2007. gadā veikta mašinizēta jaunaudžu kopšana. 2014. gadā audzes uzmērītas un iegūtas gadskārtu pieauguma skaidas. Pētījuma rezultāti rāda, ka jaunaudžu kopšana ir veicinājusi radiālā pieauguma krituma apstāšanos, vai tas pat ir būtiski ( $a=0,05$ ) pieaudzis par 0,3 mm vienā no audzēm. Visās trijās audzēs ir vērojams būtisks ( $a=0,05$ ) krājas pieauguma palielinājums no 7,4 m<sup>3</sup>, 8,2 m<sup>3</sup> un 6,1 m<sup>3</sup> līdz 12,8 m<sup>3</sup>, 15,6 m<sup>3</sup> un 17,2 m<sup>3</sup>. Konstatēts, ka kopšanas cirte ir veicinājusi pozitīvu papildus pieauguma veidošanos un augošu koku produktivitāte ir pieaugusi pēc novēlotas kopšanas cirtes veikšanas.

## Saturs

Kopsavilkums.....	2
Ievads.....	4
Darba metodika.....	5
Objektu raksturojums.....	5
Audžu uzmērīšana.....	5
Kamerālie darbi.....	5
Rezultāti un diskusija.....	7
Audžu raksturojums.....	7
Radiālais pieaugums.....	7
Krājas pieaugums.....	8
Pievešanas ceļu ietekme uz koksnes radiālo pieaugumu.....	11
Secinājumi.....	13
Literatūra.....	14

## Attēli

Att. 1: Vidējais radiālais pieaugums pirms un pēc kopšanas.....	8
Att. 2: Radiālā pieauguma dinamika.....	8
Att. 3: Krājas pieaugums pirms un pēc kopšanas cirtes.....	9
Att. 4: Vidējais viena koka tilpuma pieaugums pa caurmēra grupām pirms un pēc kopšanas, 610-291-9.....	10
Att. 5: Vidējais viena koka tilpuma pieaugums pa caurmēra grupām pirms un pēc kopšanas, 76-1-1.....	10
Att. 6: Vidējais viena koka tilpuma pieaugums pa caurmēra grupām pirms un pēc kopšanas, 610-293-7.....	11
Att. 7: Vidējais viena koka Papildus caurmēra pieaugums pēc kopšanas kokiem pie tehnoloģiskā koridora.....	12
Att. 8: Vidējais ikgadējais viena koka papildus tilpuma pieaugums pēc kopšanas kokiem pie tehnoloģiskā koridora.....	12

## Tabulas

Tab. 1: Audžu taksācijas rādītāji pirms kopšanas.....	5
Tab. 2: Izskopto audžu taksācijas rādītāji 2014. gadā.....	7

## IEVADS

Latvijā jaunaudzū kopšana tiek veikta, kamēr koki nav sasnieguši 10 metru augstumu ([www.likumi.lv](http://www.likumi.lv)), ar mērķi uzlabot augšanas apstākļus mērksugai, izcērtot augšanā atpalikušos, slimos un mazvērtīgākos kokus. Tas ļauj sasniegt augstāku audzes ražību un kvalitāti nākotnē. Jaunaudzū kopšanā nav iespējams iegūt vērtīgus sortimentus, līdz ar to visa izcirstā koksne tiek atstāta mežā. Pieaugot koksnes, kā enerģijas ražošanas izejvielas īpatsvaram enerģētikā, izvirzās nepieciešamība izmantot šo neizmantoto potenciālu. Sevišķi nozīmīgi tas ir tādās valstīs, kā Zviedrija un Somija, kur visa potenciālā enerģētiskā koksne, kas rodas industriālajā ražošanā, jau tiek izmantota (Hakkila, 2001). Lai šo potenciālu padarītu pieejamu nepieciešams jaunaudzū kopšanu mehanizēt. Tomēr tas saistās ar lielām izmaksām, kas pārsniedz potenciālos ieņēmumus par saražoto enerģētisko koksni. Līdzšinējo pētījumu rezultāti norāda, ka sevišķi neizdevīgi ir meža mašīnas izmantot koku zāgēšanā, kuru augstums ir mazāks par 7...8 m (Ruha & Varmola, 1997; Lazdiņš *et al.*, 2013). Tas ļauj izdarīt secinājumus, ka nogaidot dažus gadus, un veicot jaunaudzū kopšanu novēloti, veikt jaunaudzū kopšanu ar mērķi iegūt enerģētisko koksni būtu daudz lietderīgāk. Tomēr novēlota jaunaudzū kopšana var atstāt negatīvu ietekmi uz turpmāku audzes attīstību. Kā norāda vairāki autori, novēlotas kopšanas rezultātā kokus ietekmē spēcīga savstarpējā konkurence, kas izraisa caurmēra pieauguma samazināšanos un mazāku vidējo audzes caurmēru nākotnē (Kristina Ahnlund Ulvcrona, 2007; Rytter, 2013). Tomēr ne vienmēr rezultāti ir viennozīmīgi. Citu autoru darbos ir norādīts, ka 2 līdz 3 gadu novēlota jaunaudzū kopšana būtiski neietekmē audzes vidējā caurmēra turpmāko attīstības gaitu (Kaila *et al.*, 2006). Turklāt, novēlota kopšana pozitīvi ietekmē koksnes kvalitāti, jo samazinās zaru vidējais caurmērs, sevišķi stumbra lejasgalā (Ruha & Varmola, 1997; Kristina Ahnlund Ulvcrona, 2007). Līdzšinējie pētījumu rezultāti norāda uz to, ka novēlotas jaunaudzū kopšanas ietekme nav vērtējama tikai ar audzes kvantitatīvajiem rādītājiem galvenās cirtes vecumā. Pie mūsdienu tendencēm, kad paaugstinās pieprasījums pēc enerģētiskās koksnes, jāvērtē ir kopējie ekonomiskie ieguvumi, ko sniedz jaunaudzū kopšanas visā audzes aprites ciklā.

# DARBA METODIKA

## Objektu raksturojums

Pētāmās audzes atrodas Zemgales mežsaimniecībā netālu no Jelgavas. Jaunaudžu kopšana veikta 2007. gadā. Jaunaudzes koptas mehanizēti. Attālums starp pievešanas ceļiem - 20 m. Audžu taksācijas raksturojums pirms kopšanas attēlots Tab. 1.

**Tab. 1: Audžu taksācijas rādītāji pirms kopšanas (2007. gads)**

Audzes kods <sup>1</sup>	Audzes sastāvs	Vidējais augstums, m	Vidējais caurmērs, cm	Audzes šķērslaukums, m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>	Audzes krāja, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
76-1-1	9P1E25	12	13,5	42	238
610-291-9	8E20 2E31	11	13	49,4	182,8
610-293-7	10E17	10	12	24,7	90,1

Audzes izkoptas ar Ponsse Gazelle pievedējtraktoru ar pagarinātu rāmi, kam uzmontēta Ponsse EH-25 kniebējgalva (Att. 1) un Lokomo 6x6 harvesters ar Bracke C16.a griezējgalvu (Att. 2). Pievešanu visos izmēģinājumu variantos veica ar Ponsse Gazelle pievedējtraktoru, nomainot kniebējgalvu pret pievedējtraktora mežizstrādes atlieku kausu.



**Att. 1: Ponsse Gazelle ar EH-25 kniebējgalvu.**

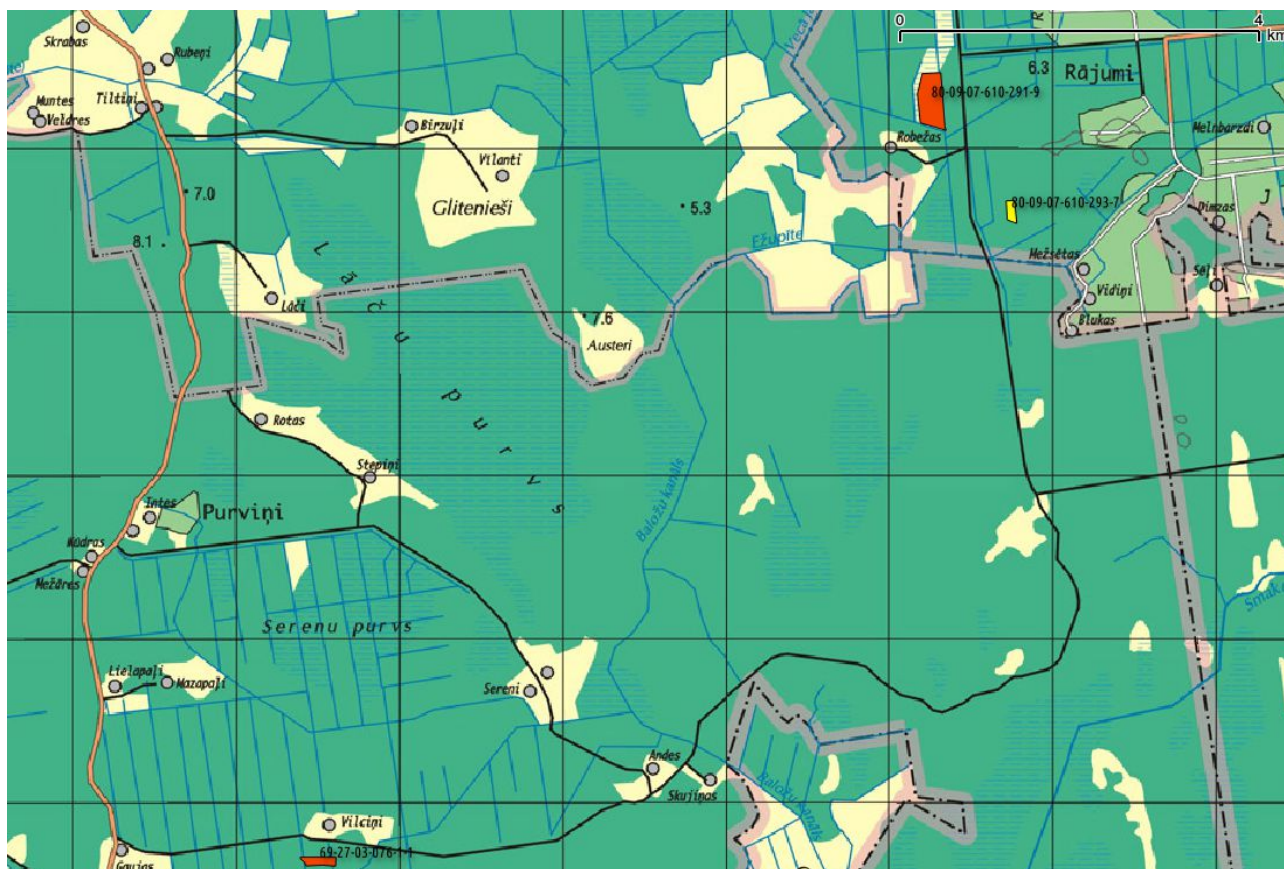
<sup>1</sup> Kvartālu apgabals – kvartāls – nogabals.





Att. 2: Lokomo 6x6 harvesters ar Bracke C16.a griezējgalvu.

Izmēģinājumu objekti ir izvietoti mežu masīvā starp Olaini un Jelgavu (Att. 3). Izmēģinājumu objektiem raksturīgā ainava parādīta Att. 4, 5 un 6.



Att. 3: Izmēģinājumu objektu izvietojums.





**Att. 4: Objekts Nr. 76-1-1 kopšanas laikā 2007. gada 18. jūlijā.**



**Att. 5: Objekts Nr. 610-293-7 kopšanas laikā 2007. gada 19. jūlijā.**





Att. 6: Objekts Nr. 610-291-9 kopšanas laikā 2007. gada 19. jūlijā.

## Audžu uzmērīšana

Audzes uzmērītas 7 gadus pēc kopšanas, 2014. gada aprīlī un maijā. Parauglaukumi ierīkoti uz pievešanas ceļa, 10 m uz abām pusēm no pievešanas ceļa centrālās ass. To garums ir 20 m. Parauglaukumos uzmērīts caurmērs 1,3 m augstumā visiem kokiem. Augstums mērīti 12 katras sugas kokiem audzē, lai varētu konstruēt augstumlīkni. Tāpat, katrā audzē iegūtas radiālā pieauguma urbumu skaidas ar Preslera svārpstu.

## Kamerālie darbi

Radiālā pieauguma urbumu skaidas laboratorijā noslīpētas ar slīpmašīnu un mērītas ar Windendro datorprogrammu.

Dati apstrādāti Libreoffice Calc datorprogrammā. Taksācijas vidējo rādītāju noteikšanai izmantota 1., 2., 3., 4., 5. un 6. vienādojumi.

Kokaudzes valdošās sugas vidējais caurmērs  $D$ , cm:

$$D = \frac{\sum d_j^{vald}}{N} \quad (1)$$

$d_j^{vald}$  – valdošās koku sugas  $j$ -tā koka caurmērs parauglaukumā, cm;

$N$  – valdošās koku sugas koku skaits parauglaukumā, gab.

Kokaudzes valdošās sugas vidējais augstums parauglaukumā  $H$ , m:

$$H = \sum \frac{h_j^{vald}}{N} \quad (2)$$

$h_j^{vald}$  – valdošās koku sugas  $j$ -tā koka augstums parauglaukumā, m.

Kokaudzes šķērslaukums  $G$ , m<sup>2</sup> ha:



$$G = \sum \pi \frac{d_j^2}{40000} \quad (3)$$

$d_j$  – j-tā koka caurmērs parauglaukumā, cm.

Kokaudzes krāja  $V$ ,  $m^3$  ha:

$$V = \sum (\lambda d_j^2 (h_j + 4)) \quad (4)$$

$\lambda$  – stumbra tilpīguma koeficients;

$h_j$  – j-tā koka augstums parauglaukumā, m.

Koku tilpuma pieaugums aprēķināts kā starpība starp esošo koka tilpumu un iepriekšējā gada tilpumu. Tilpums aprēķināts pēc formulas (Liepa, 1996):

$$z_v^{vp} = 10^{-1} \lambda d^2 \left( \frac{0,4 i u (h+4)}{d} + z_h \right) \quad (5)$$

$Z_h$  – augstuma pieaugums, m;

$i$  – gadskārtas platums, mm;

$u$  – mizas biezuma koeficients.

Augstuma pieaugums aprēķināts pēc formulas (Liepa, 1996):

$$z_h = \frac{2 i h (a d + b)}{c d + 100} \quad (6)$$

$a, b, c$  – no koku sugas atkarīgi koeficienti.

# REZULTĀTI UN DISKUSIJA

## Audzū raksturojums

Pētāmo audžu galvenie taksācijas rādītāji atbilstoši 2014. gadā veiktajiem mērījumiem apkopoti Tab. 2.

Tab. 2: Izkopto audžu taksācijas rādītāji 2014. gadā

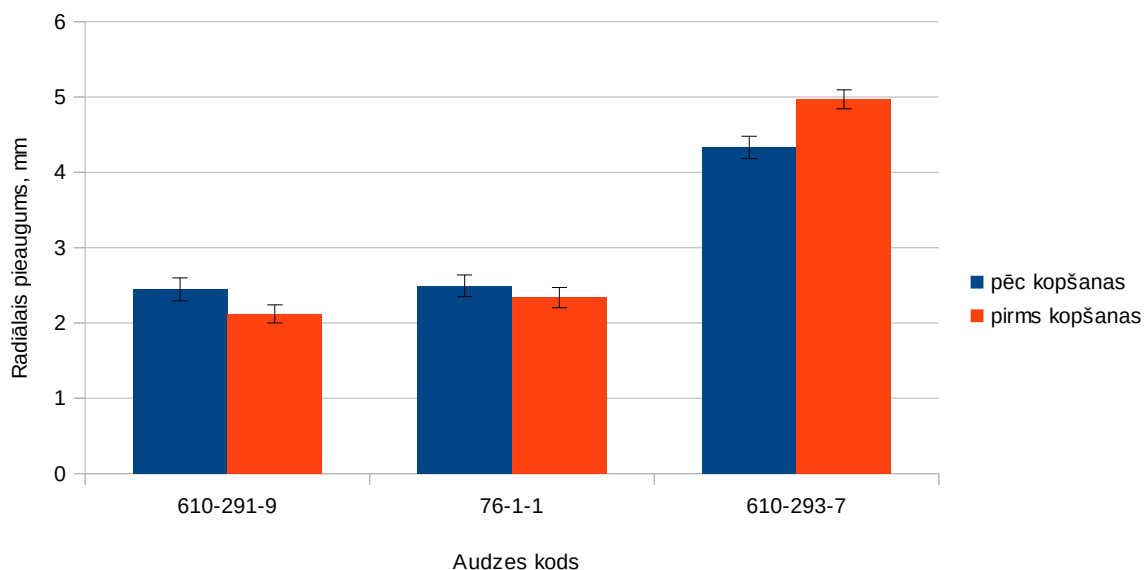
Audzes kods	Valdošā suga	$D_{1,3}$ , cm	H, m	G, $m^2 ha^{-1}$	V, $m^3 ha^{-1}$	Koku skaits, gab $ha^{-1}$	Stumbra biomasa, tonnas $ha^{-1}$
610-291-9	E	20,8	19,8	21,0	216	576	60
610-293-7	E	15,4	13,6	24,4	173	1127	60
76-1-1	P	16,4	16,2	21,4	174	955	49

## Radiālais pieaugums

Radiālā pieauguma urbumu metodes ietekmes vērtēšanai ir pielietojamas gadījumos, kad nav pieejami precīzi mērījumi pirms ietekmes iestāšanās. Urbumu metodes ļauj novērtēt ietekmes raksturu bez ilgtermiņa novērojumiem. Tomēr, lai precīzi novērtētu ietekmes raksturu un lielumu, ir nepieciešama kontroles audze. Mūsu gadījumā kontroles audze nav pieejama. Tas neļauj precīzi novērtēt pētāmajās audzēs veiktās mehanizētās novēlotās jaunaudzū kopšanas ietekmi uz audzes attīstību, tomēr ļauj secināt vai ir ietekme ir bijusi.

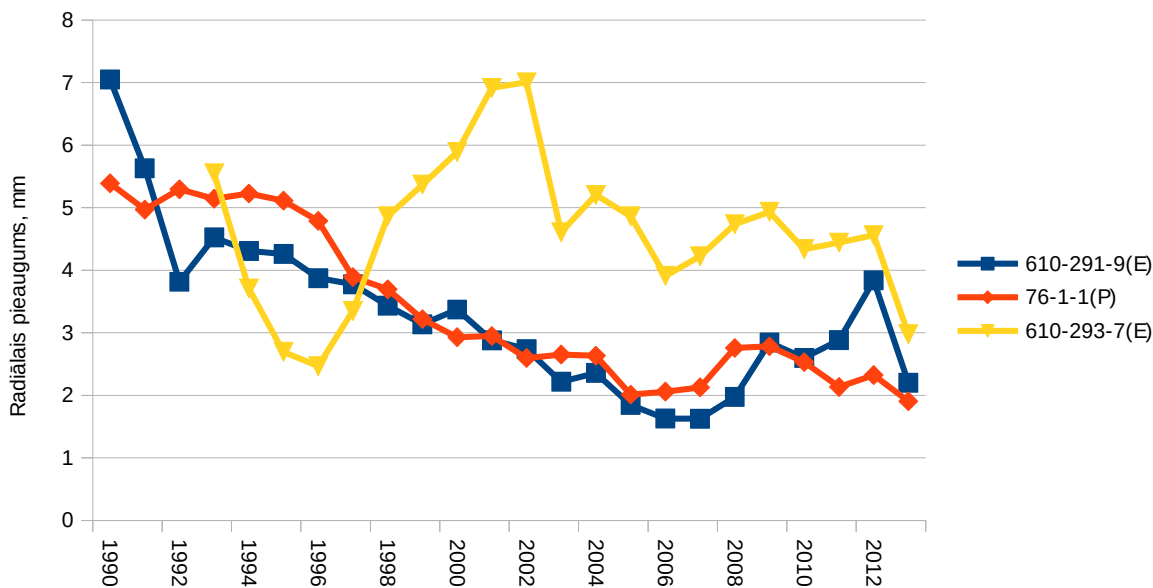
Urbumu metodes pamatā ir radiālais pieaugums, kas tiek izmērīts urbtajiem paraugiem. Radiālajam pieaugumam, palielinoties audzes vecumam, piemīt tendence samazināties. No tā izriet secinājums, ja vidējais perioda radiālais pieaugums pēc ietekmes iestāšanās, kas mūsu gadījumā ir mehanizēta novēlotā jaunaudzū kopšana, ir vienāds vai lielāks, kā vidējais perioda radiālais pieaugums pirms kopšanas, tad ietekme ir bijusi ar pozitīvu raksturu un augšanas gaita ir uzlabojusies. Perioda ilgums ietekmes vērtēšanai ir izvēlēti 6 gadi pēc kopšanas un 6 gadi pirms kopšanas.

No pētījumā apskatītajām trīs audzēm (Att. 7), divās 610-291-9, 76-1-1 ir konstatēts vidējā radiālā pieauguma palielinājums pēc jaunaudzū kopšanas par attiecīgi 15 % un 7 %. Tomēr statistiski būtiskas ( $\alpha=0,05$ ) atšķirības vērojamas tikai audzē 610-291-9. Trešajā audzē konstatēts statistiski būtisks ( $\alpha=0,05$ ) vidējā periodiskā radiālā pieauguma samazinājums par 13 %.



Att. 7: Vidējais radiālais pieaugums pirms un pēc kopšanas.

Analizējot vidējā radiālā pieauguma dinamiku (Att. 8), vērojams, ka no 2007. gada, kad veikta jaunaudzju kopšana, ir apstājies radiālā pieauguma kritums un tas ir pat palielinājies 2 no 3 audzēm.

Att. 8: Radiālā pieauguma dinamika<sup>2</sup>.

## Krājas pieaugums

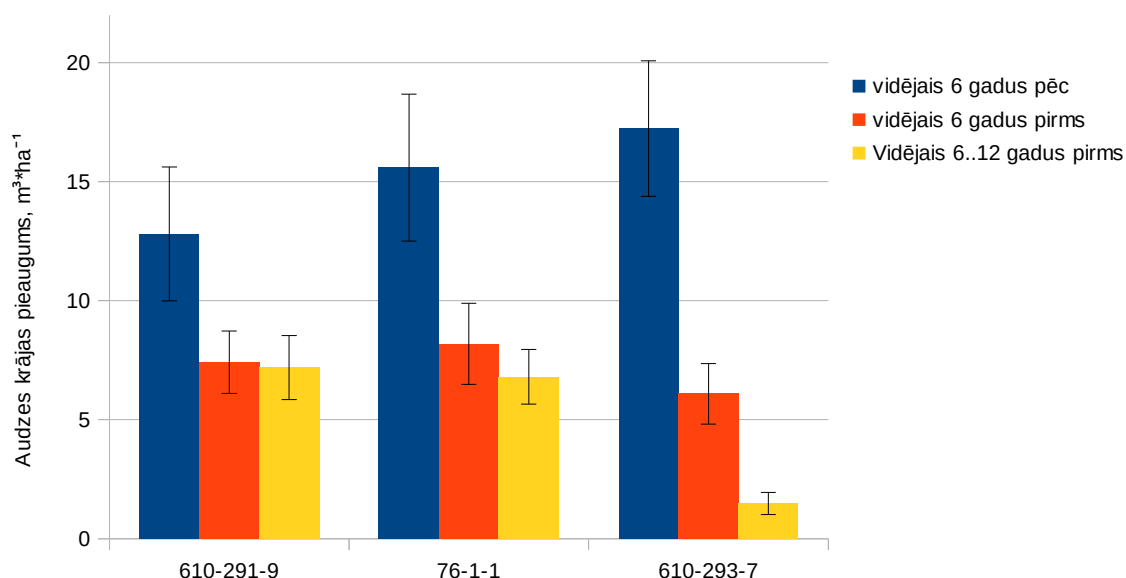
Ietekmes raksturu precīzāk ļauj novērtēt krājas pieauguma salīdzinājums pirms un pēc ietekmes iestāšanās. Tomēr līdzīgi, kā gadījumā ar caurmēra pieaugumu, šī rādītāja salīdzināšana pirms un pēc ietekmes iestāšanās bez kontroles mērījumiem ir vairāk informatīva, kā precīza ietekmes vērtēšana. Audzei pieaugot, raksturīga krājas pieauguma

<sup>2</sup> Pie audzes koda iekavās norādīta valdošā suga.



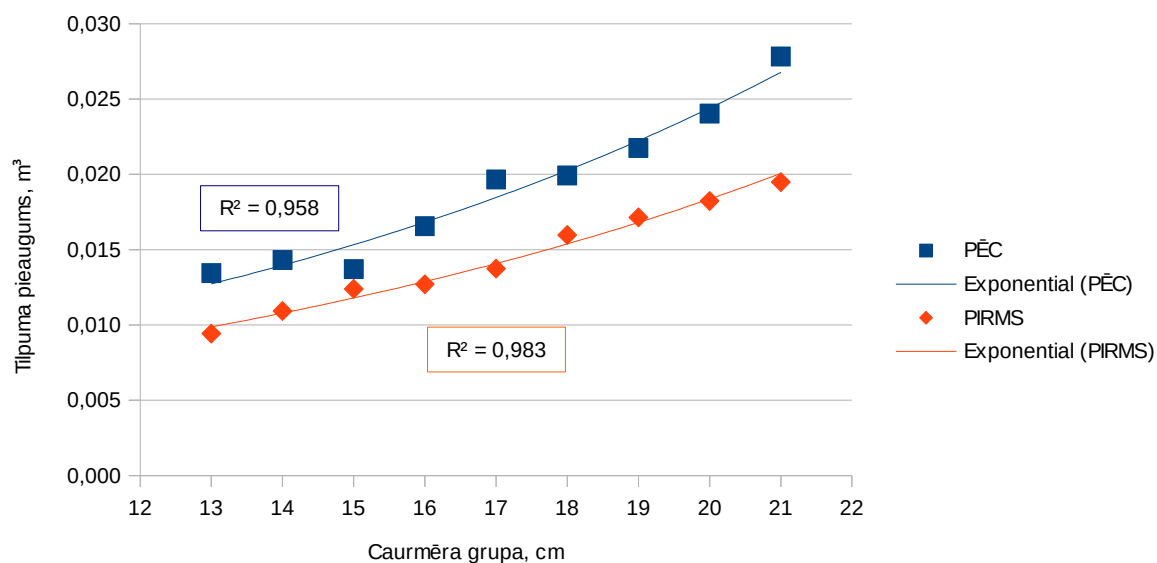
kumulatīva uzkrāšanās līdz kādam noteiktam audzes vecumam, sevišķi strauji tas notiek jaunaudžu vecumā. Kas nozīmē, ka vienkārša krājas pieauguma salīdzināšana precīzi neatbilst situāciju. Lai labāk izprastu krājas kopšanas cirtes ietekmi uz turpmāku audzes attīstību, salīdzināti arī vidējie viena koka tilpuma pieaugumi pirms un pēc krājas kopšanas cirtes, sadalīti pa caurmēra grupām. Šādi aprēķini balstīti uz papildus pieauguma teoriju (Liepa, 1996), kurā galvenais princips, lai iegūtu pozitīvu papildus pieaugumu, vērtējamam kokam ir jāsarāž lielāks pieaugums pēc ietekmes iestāšanās, salīdzinot ar teorētisko koka pieaugumu, ja ietekme neiestātos. Ko būtībā var izskaidrot arī savādāk, lai papildus pieaugums būtu pozitīvs, vērtējamās audzes kokiem ir jāspēj saražot lielāks pieaugums nekā līdzīga izmēra kontroles audzes kokiem. Tādā gadījumā pieaugumu starpība starp vērtējamās audzes kokiem un kontroles kokiem kļūtu lielāka vai samazinātos. Un tieši pieauguma starpības izmaiņas starp vērtējamās un kontroles audzes kokiem ir papildus pieaugums.

Kā liecina iegūtie rezultāti, visās audzēs ir novērots būtisks ( $\alpha=0,05$ ) krājas pieauguma palielinājums pēc krājas kopšanas cirtes. Vidējais audzes krājas pieaugums pēc krājas kopšanas cirtes no 2008. līdz 2013. gadam ir bijis attiecīgi 12,8 m<sup>3</sup>, 15,6 m<sup>3</sup> un 17,2 m<sup>3</sup> audzēs 610-291-9, 76-1-1 un 610-293-7, bet pirms kopšanas cirtes 7,4 m<sup>3</sup>, 8,2 m<sup>3</sup> un 6,1 m<sup>3</sup>. Vērtējot krājas pieauguma izmaiņas laika gaitā, divās no trim audzēm (610-291-9, 76-1-1) netika konstatētas būtiskas vidējā krājas pieauguma atšķirības 6 gadu periodam no 1996. līdz 2001. gadam un no 2002. līdz 2007. gadam (pirms kopšanas cirtes), kas ļauj secināt, ka kopšanas cirte ir veicinājusi krājas pieauguma palielinājumu (Att. 9).

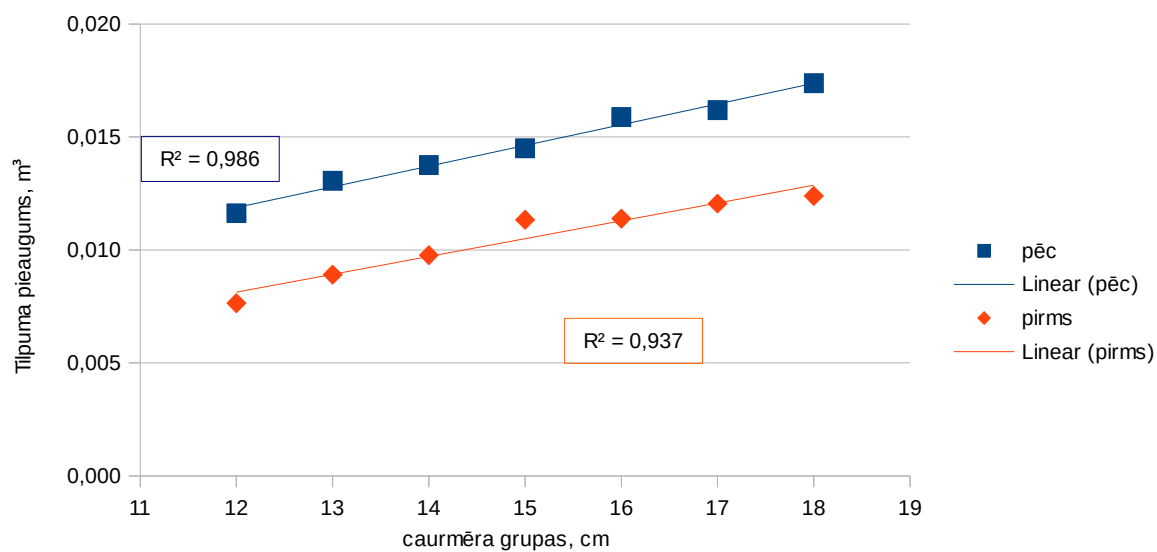


Att. 9: Krājas pieaugums pirms un pēc kopšanas cirtes.

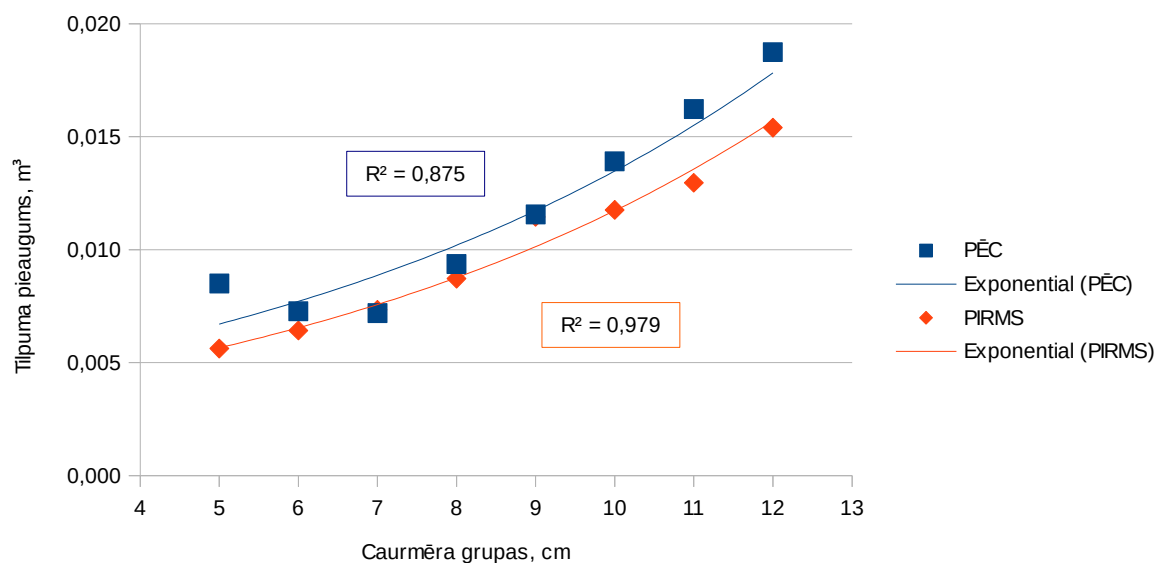
Vērtējot līdzīga izmēra koku attīstību pirms un pēc krājas kopšanas cirtes (Att. 10, 11 un 12), konstatēts statistiski būtisks (TTest,  $p<0,05$ ) vidējā koka tilpuma palielinājums pēc cirtes visās trijās audzēs. Līdzīga izmēra koki spējuši saražot lielāku tilpuma pieaugumu pēc kopšanas cirtes, kas norāda uz būtisku produktivitātes pieaugumu un pozitīvu papildus pieaugumu. Tas droši ļauj apgalvot, ka novēlota jaunaudžu kopšana ir veicinājusi audzes produktivitātes pieaugumu. Tāpat rezultāti norāda uz spēcīgu tilpuma pieauguma atkarību no koka caurmēra ( $R=0,875..0,986$ ). Lai arī rezultāti norāda uz produktivitātes pieaugumu un pozitīvu papildus pieaugumu, precīzu papildus pieauguma vērtība nav iespējams noteikt, jo trūkst kontroles audzes.



Att. 10: Vidējais viena koka tilpuma pieaugums pa caurmēra grupām pirms un pēc kopšanas, 610-291-9.



Att. 11: Vidējais viena koka tilpuma pieaugums pa caurmēra grupām pirms un pēc kopšanas, 76-1-1.

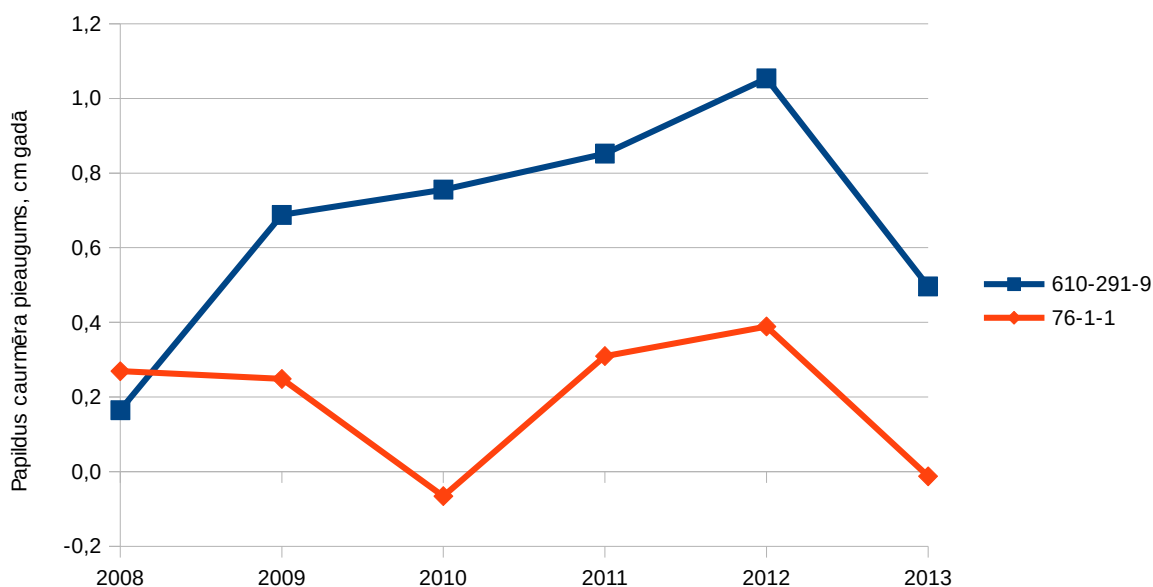


Att. 12: Vidējais viena koka tilpuma pieaugums pa caurmēra grupām pirms un pēc kopšanas, 610-293-7.

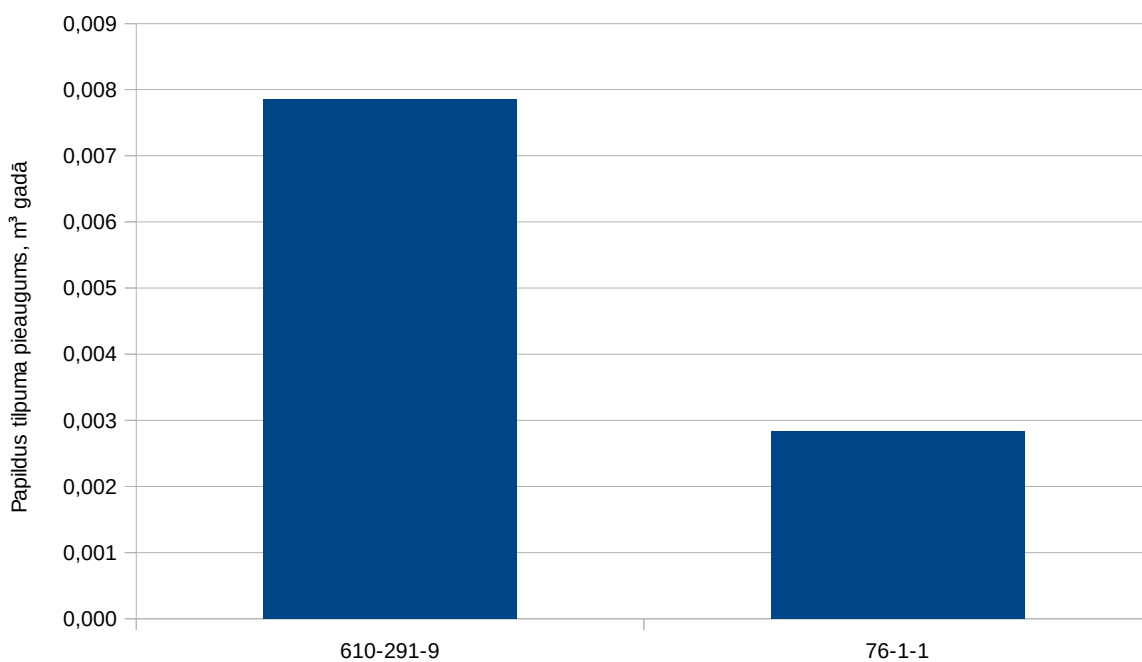
### Pievešanas ceļu ietekme uz koksnes radiālo pieaugumu.

Pētījuma ietvaros novērtēta arī mehanizētas kopšanas ietekme uz dažādā attālumā no pievešanas ceļa augošiem kokiem. Literatūrā atrodama informācija liecina, ka mehanizētas kopšanas ietekmē var samazināties audzes ražība, kas notiek dēļ augsnes sablīvēšanās un mežizstrādes tehnikas atstātajiem koku bojājumiem (WRONSKI & MURPHY, 1994). Teorētiski lielākā ietekme varētu būt uz pievešanas ceļu tuvumā augošajiem kokiem. Tomēr iegūtie rezultāti pirmajās divās no audzēm neapstiprina šādu pieņēmumu, trešajā audzē tas netika apskatīts. Tieši pretēji. Pievešanas ceļu tuvumā augošie koki uzrāda augstāku caurmēra pieaugumu, salīdzinot ar kokiem, kas atrodas neatrodas blakus pievešanas ceļiem (Att. 13). Tā rezultātā, ikgadējais viena koka tilpums kokiem, kas aug pie pievešanas ceļa, ir pieaudzis par 0,008 m³ un 0,003 m³ (Att. 14) audzēs 610-291-9 un 76-1-1, salīdzinot ar kokiem nost no pievešanas ceļa. Izskaidrojams tas ir ar pastiprinātu fotosintēzes procesu kokiem pie pievešanas ceļiem, pievešanas ceļa platums ir apmēram 4 m un šajā audzes daļā koku vainagi ir mazāk apēnoti.





Att. 13: Vidējais viena koka Papildus caurmēra pieaugums pēc kopšanas kokiem pie tehnoloģiskā koridora.



Att. 14: Vidējais ikgadējais viena koka papildus tilpuma pieaugums pēc kopšanas kokiem pie tehnoloģiskā koridora.

## SECINĀJUMI

1. Krājas pieaugums esošajiem kokiem pēc krājas kopšanas cirtes ir būtiski ( $\alpha=0,05$ ) pieaudzis visās trijās pētāmajās audzēs 610-291-9, 76-1-1 un 610-293-7, attiecīgi, par 73%, 90% un 182% (no  $7,4 \text{ m}^3$ ,  $8,2 \text{ m}^3$  un  $6,1 \text{ m}^3$  līdz  $12,8 \text{ m}^3$ ,  $15,6 \text{ m}^3$  un  $17,2 \text{ m}^3$ ).
2. Kopšanas cirte ir veicinājusi audžu produktivitātes pieaugumu un pozitīvu papildus pieauguma veidošanos, kas norāda uz pozitīvu novēlotas kopšanas ietekmi uz audzes attīstību.
3. Koki, kas aug blakus pievešanas ceļiem uzrāda būtiski labākus pieauguma rādītājus, attiecīgi, par 37% un 13% ( $0,008 \text{ m}^3$  un  $0,003 \text{ m}^3$ ), salīdzinot ar pārējo audzes daļu, audzēs 610-291-9 un 76-1-1. Uzlabota augšanas gaita pie koridoriem var būt saistīta ar lielāku kopšanas intensitāti koridoru tuvumā, taču netieši tā norāda arī uz to, ka smagā tehnika nav radījusi augsnes sablīvējumu, kas ierobežotu palikušo koku augšanas gaitu.

## LITERATŪRA

1. Hakkila, P. (2001). Wood energy in the Nordic countries. Woody biomass as an energy source – challenges in Europe., 2001. pp 9–17.
2. Kristina Ahnlund Ulvcrona, S. C. (2007). The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris*.
3. Lazdiņš, A., Kalēja, S., Gruduls, K. & Bārdulis, A. (2013). Theoretical evaluation of wood for bioenergy resources in pre-commercial thinning in Latvia. *Proceedings of RESEARCH FOR RURAL DEVELOPMENT 2013*, Jelgava, 2013. pp 42–49. Jelgava: LLU. ISBN ISSN 1691-4031.
4. Liepa, I. (1996). *Pieauguma mācība*. Jelgava: LLU.
5. Ruha, T. & Varmola, M. (1997). Precommercial thinning in naturally regenerated Scots pine stands in northern Finland. *Silva Fennica* 31(4), 401–415.
6. Rytter, L. (2013). Growth dynamics of hardwood stands during the precommercial thinning phase – Recovery of retained stems after competition release. *Forest Ecology and Management* 302(0), 264 – 272.
7. WRONSKI, E. B. & MURPHY, G. (1994). Chapter 14 - Responses of Forest Crops to Soil Compaction. In: Soane, B. D. & Ouwerkerk, C. van (Eds) *Soil Compaction in Crop Production*. pp 317 – 342. Elsevier.