



**LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE
LATVIA UNIVERSITY OF AGRICULTURE**

**MEŽA FAKULTĀTE
FOREST FACULTY**

Mg.silv. OLGA MIEZĪTE

**BALTALKŠŅA AUDŽU RAŽĪBA UN
STRUKTŪRA**

**STRUCTURE AND PRODUCTIVITY
OF GREY ALDER STANDS**

PROMOCIJAS DARBA KOPSAVILKUMS

Dr.silv. zinātniskā grāda iegūšanai Mežzinātnes nozarē
Meža ekoloģijas un mežkopības apakšnozarē

RESUME OF THE PhD PAPER

For the scientific degree of Dr. silv. in Forest sciences

Jelgava
2008

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:
Academic adviser:

Andrejs Dreimanis
prof. *Dr. silv.*

Oficiālie recenzenti / Official reviewers

- Prof. *Dr. habil. silv. Pēteris Zālītis* – Latvijas Valsts Mežzinātnes institūts *Silava*, vadošais pētnieks, Latvija / Latvian State Forest Research Institute *Silava*, senior research scientist, Latvia.
- *Dr. silv. Jānis Bisenieks* – SIA *Rīgas Meži*, Mežkopības nodaļas vadītājs, Latvija / Head of *Rīgas Meži* Ltd Department of Silviculture, Latvia
- Prof. *Dr. habil. silv. Antanas Juodvalkis* – Lietuvas Lauksaimniecības universitāte, Mežkopības katedra, Lietuva / Lithuanian University of Agriculture, Department of silviculture

Darba izstrāde un noformēšana veikta ar ESF granta atbalstu.

The doctoral thesis has been worked out by financial support of ESF.



Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu nozares un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2008. gada 12. decembrī, plkst. 11.30 Jelgavā, Dobeles ielā 41, sēžu zālē.

To be presented for public criticism in an open session of the Promotion Council of Forest Sciences of Latvia University of Agriculture held on December 12th, 2008 at 11.30 o'clock p. M. In LUA Department of Wood Processing, Jelgava, Dobeles street 41.

Ar promocijas darbu un kopsavilkumu var iepazīties LLU Fundamentālajā bibliotēkā, Lielā iela 2, Jelgava LV-3001 vai <http://lufb.llu.lv/llu-theses.htm>
Atsauksmes sūtīt LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes sekretāram LLU Meža fakultātes profesoram Dr.sc.ing. **A.Drēskam**, Akadēmijas iela 11, Jelgava, LV-3001, Latvija vai mfdek@llu.lv

The thesis is available at the Fundamental Library of Latvia University of Agriculture Liela street 2, Jelgava LV-3001 or <http://lufb.llu.lv/llu-theses.htm> References are welcome to be send to professor Dr.sc.ing. **A.Drēska**, the Secretary of the Promotion Council of Forest Sciences of Latvia University of Agriculture Akadēmijas street 11, Jelgava, LV-3001, Latvia or mfdek@llu.lv

SATURS / CONTENT

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS	4
TĒMAS AKTUALITĀTE	4
PĒTĪJUMA MĒRĶIS	4
PĒTNIECISKIE UZDEVUMI	5
ZINĀTNISKĀ NOVITĀTE	5
DARBA PRAKTISKĀ NOZĪME	5
ZINĀTNISKĀ DARBA APROBĀCIJA	6
PROMOCIJAS DARBA STRUKTŪRA UN APJOMS	8
2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA	9
3. REZULTĀTI.....	15
3.1. BALTALKŠŅA AUDŽU DENDROMETRISKAIS RAKSTUROJUMS	15
3.2. BALTALKŠŅA AUDŽU STRUKTŪRAS IZPĒTE	19
3.3. BALTALKŠŅA UN BALTALKŠŅA AUDŽU BEZLAPOTĀS VIRSZEMES BIOMASAS APJOMU IZVĒRTĒŠANAS METODES.....	24
SECINĀJUMI UN IETEIKUMI PRAKSEI	31
1. GENERAL OVERVIEW OF THE WORK	34
ACTUALITY OF THE THEME	34
RESEARCH TARGET	34
RESEARCH TASKS.....	35
SCIENTIFIC INNOVATION	35
PRACTICAL VALUE OF THE WORK.....	35
STRUCTURE AND SCOPE OF THE DOCTORAL THESIS	36
2. MATERIALS AND METHODS	37
3. RESULTS	40
3.1. DENDROMETRIC EVALUATION OF GREY ALDER STANDS	40
3.2. EVALUATION OF THE STRUCTURE OF GREY ALDER STANDS.....	43
3.3. METHODS OF ESTIMATION OF ABOVE-GROUND BIOMASS WITHOUT LEAVES OF GREY ALDER AND GREY ALDER STANDS.....	46
CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS.....	50

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Cilvēku skaita pieaugums uz Zemes un klimata pārmaiņas mūsdienās apdraud pasaules sabiedrību. Jau 1992. gadā tika pieņemta Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējā konvencija „Par klimata pārmaiņām”. Valstis, kas pievienojušās ANO konvencijai, tai skaitā arī Latvija, vēlas stimulēt tādu pasākumu ieviešanu nacionālā un starptautiskā līmenī, kas ļautu samazināt kopējo izmešu daudzumu. Lai samazinātu siltumnīcas efektu izraisošo gāzu koncentrācijas palielināšanos atmosfērā, jāveicina oglekļa uzkrāšanās biomasā.

Biomasa izmantošana siltuma ražošanai tiek uzskatīta par videi labvēlīgu un ekonomiski efektīvu siltumapgādes risinājumu. Malka, koksnes šķelda un kokapstrādes atliekas skaidu, granulu un briekšu veidā pašlaik ir nozīmīgs atjaunojamais kurināmais. Pieaugot atjaunojamo dabas resursu nozīmei enerģētikā, vispirms siltumenerģijas ražošanā, mainās arī baltalkšņa nozīme meža ekosistēmās. Arvien biežāk baltalksnis tiek uzskatīts par perspektīvu koku sugu biomasas iegūšanai siltuma enerģijas ražošanai.

Baltalkšņa audzēšanai enerģētiskās koksnes ieguvei, salīdzinot ar citām koku sugām, tiek minētas vairākas priekšrocības. Baltalksnis sekmīgi atjaunojas dabiskā ceļā, to maz bojā dzīvnieki. Tas ir ātraudzīgs, izturīgs pret meteoroloģiskajiem apstākļiem, slimībām un kaitēkļiem. Baltalkšņa audžu atjaunošana un kopšana neprasa daudz līdzekļu. Baltalksnis ir viegli pārstrādājams malkā un šķeldā, tā koksne ātri žūst. Ņemot vērā iepriekš minētās īpašības, no baltalkšņa iegūtā šķelda būtu izmantojama bioenerģijas iegūšanai. Bionerģija – tas ir stratēģiskais resurss, ko izmanto Kioto¹ vienošanās protokola realizācijai fosilā kurināmā aizvietošanai.

Pētījuma mērķis

Noskaidrot baltalkšņa audžu krājas iegūstamās virszemes biomasas un audžu struktūras kontekstā.

¹ *Likums par Latvijas Republikas dalību Kioto protokola elastīgajos mehānismos* [tiešaiste]: Likumi.lv [skatīts 10. jūnijā 2008. g.]. Pieejams <http://www.likumi.lv/doc.php?id=167091&from=off>.

Pētnieciskie uzdevumi

1. Analizēt nekopto baltalkšņa audžu dendrometriskos rādītājus un audžu ražību.
2. Izpētīt baltalkšņa audžu koku skaita, šķērslaukuma, krājas un vainaga struktūras izmaiņu likumsakarības.
3. Izstrādāt baltalkšņa bezlapotas virszemes biomasas noteikšanas metodiku un izanalizēt baltalkšņa audžu virszemes biomasas apjomus.

Zinātniskā novitāte

Pēdējie nozīmīgie pētījumi par baltalksni veikti vairāk nekā pirms 40 gadiem. Tikai pēdējos 5 gados atjaunojusies interese par šo koku sugu, kad noskaidrojās, ka iepriekšējā laika periodā tas pētīts visai fragmentāri un nepilnīgi. Izstrādātā promocijas darba novitāte saskatāma šādos pētījumu aspektos:

- iegūti jauni un sugas izzinātības līmeni papildinoši dati par dabisko baltalkšņa audžu augšanas gaitu un ražību dažāda vecuma un bonitāšu tīraudzēs;
- veikts baltalkšņa audžu parametru salīdzinājums ar augšanas gaitas tabulām;
- pamatojoties uz baltalkšņu stumburu mērījumu datiem, izstrādāta to stumburu tilpuma noteikšanas empīriskā formula, kas izmantojama audzes krājas aprēķināšanai jaunaudzēs;
- iegūta jauna nepastarpināta informācija par koku skaita sadalījumu parastajās un dabiskajās caurmēra pakāpēs;
- noskaidrotas dažas baltalkšņa vainaga parametru izmaiņu likumsakarības;
- izpētītas koku skaita, šķērslaukuma un krājas sadalījuma kumulatīvo frekvenču likumsakarības dažāda vecuma baltalkšņa audzēs;
- izmantojot paraugkoku metodes, izstrādātas bezlapotas baltalkšņa virszemes biomasas novērtēšanas empīriskās formulas dabiski mitrā un absolūti sausā stāvoklī kokiem ar caurmēru līdz 26 cm;
- izstrādātas empīriskas formulas baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas noteikšanai atkarībā no audzes vecuma, audzes vidējā caurmēra un audzes šķērslaukuma.

Darba praktiskā nozīme

Baltalksnis valsts mežos 1988. gadā aizņēma tikai 1.1 % no ar mežu apklātās platības. Informācija par baltalkšņa platībām, audžu ekstensīvās izmantošanas dēļ, bijušo kolhozu un sovhozu mežos parasti nebija aktuāla un netika ņemta vērā. Situācija būtiski izmainījies pēc zemes reprivatizācijas un mežu nonākšanas bijušo īpašnieku vai viņu mantinieku īpašumā.

Baltalkšņa audzes Latvijā 2006. gadā aizņēma 190.6 tūkst.ha jeb 6.8 % no mežu kopplatības. Audžu kopējā krāja ir 31.3 milj. m³. Pēc platības baltalkšņi starp citām koku sugām atrodas ceturtajā vietā un veido nozīmīgus koksnes resursus, kas līdz šim nav pienācīgi novērtēti.

Pieaugoša kurināmā deficīta un tā cenu pieauguma apstākļos baltalkšņa vieta un loma meža ekosistēmās ir būtiski jāpārvērtē. Baltalkšņa saimnieciskais nozīmīgums izpaužas arī tajā apstākļī, ka tas pārsvarā atjaunojas ar sakņu atvasēm, kas samazina meža atjaunošanas izmaksas. Tātad ir nepieciešama baltalkšņa audžu padziļināta izpēte no tautsaimnieciskā viedokļa. Kurināmā resursu nepietiekamības apstākļos arī lauku reģionos ievērojami ir pieaugušas malkas cenas. Ievērojami kurināmā daudzumi tiek patērēti pašvaldību īpašumā esošajās kurtuvēs, kuras pāriet uz kurināmās šķeldas izmantošanu, atsakoties no tradicionālās dažāda garuma malkas sagatavošanas. Kurināmās šķeldas sagatavošanas procesā bez stumbros koknes var izmantot arī zaru biomasu, kuras apjomu noteikšana kubikmetros pašlaik nav iespējama. Tas nozīmē, ka no praktiskā viedokļa nepieciešamas vienkāršas metodes baltalkšņa biomasas apjomu izvērtēšanai, izmantojot vienkārši iegūstamus audžu dendrometriskos parametrus.

Promocijas darbā ir izstrādāta baltalkšņa virszemes biomasas novērtēšanas metodika, kas ar empīrisku regresijas vienādojumu palīdzību ļauj novērtēt reāli izmantojamu baltalkšņu biomasu bezlapotā stāvoklī.

Var uzskatīt, ka promocijas darbam tālākā perspektīvā ir tautsaimnieciska nozīme baltalkšņa audžu ražības un biomasas apjomu novērtēšanā.

Zinātniskā darba aprobācija

Par promocijas darba saturu autorei ir 8 publikācijas Latvijas Zinātnes padomes atzītajos zinātniskos izdevumos:

1. Miezīte O., Dreimanis A. Investigations of Grey Alder (*Alnus incana* (L.) Moench) Biomass. In: *Research for rural development 2006: international scientific conference proceedings*, Jelgava, 17-20 May 2006 / Latvia University of Agriculture. Jelgava: LLU, 2006, p.271-275.
2. Lazdiņa D., Miezīte O. Comparison of Willow and Speckled Alder Wood for Biomass Application. In: *The 5th International symposium "Wood Structure and Properties '06"*, Sliač-Sielnica, Slovakia, September 3-6, 2006. Technical University in Zvolen. Faculty of Wood Sciences and Technology. Sliač-Sielnica: Arbora Publishers, 2006, p.513.
3. Miezīte O., Dreimanis A. Productivity of Grey Alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) Stands. In: *Research for rural development 2007: international scientific conference proceedings*, Jelgava, 16-17 May 2007 / Latvia University of Agriculture. Jelgava: LLU, 2007, p.174.-180.

4. Miezīte O., Dreimanis A. Peculiarities of renewal and expansion of Grey alder *Alnus incana* (L.) Moench. stands in Latvia. In: *10-osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis”*, Vilniuje 2007 m. kovo 29 d. / Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. -Vilnius: Technika, 2007. (Aplinkos apsaugos inžinerijos sekcijos medžiaga), p.245-251.
5. Daugaviete M., Miezīte O., Lazdiņa D., Liepiņš K., Lazdiņš A. Biofuel from naturally reforested arable lands – resources, technologies and costs. In: *Third International scientific conference "Rural development 2007": proceedings*, 8 - 10 November 2007, Kaunas, Lithuania. Kaunas: Akademija, 2007. Vol.3, book 2: Bioenergy in the Baltic Sea Region: economic feasibility, conflicts and chances, p.271-276.
6. Liepiņš K., Lazdiņš A., Lazdiņa D., Daugaviete M., Miezīte O. Naturally afforested agricultural lands in Latvia – assessment of available timber resources and potential productivity. In: *11 - osios Lietuvos jaunųjų mokslininkų konferencijos “Mokslas–Lietuvos ateitis”*, Vilniuje 2008, Vilniaus Gedimino technikos universitetas. Vilnius: Technika, 2008, (Aplinkos apsaugos inžinerijos sekcijos medžiaga), p.194 - 200.
7. Lazdiņš A., Lazdiņa D., Liepiņš K., Miezīte O. Forest from Abandoned Agricultural Lands – Resources and Management Opportunities. In: *The 5th UEAA General Assembly and the Associated Workshop on „Renewable Energy Resources, Production and Technplpgies”*, Riga, Latvia, 28-31 May 2008 / Ministry of Agriculture of the Republic of Latvia, 2008, p. 130 – 136.
8. Miezīte O., Dreimanis A. Grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) structure. In: *Research for Ruval Development 2008: international scientific conference proceedings*, Jelgava, Jelgava, 21 - 23 May 2008 / Latvia University of Agriculture. Jelgava: LLU, 2008. (Of Latvia University of Agriculture is accepted and will be published at the International Scientific conterence proceedings 04.2-04/74).

Autore ir piedalījies 10 starptautiskajās un vietējās konferencēs vai semināros un 7 no tām referējusi par promocijas darba saturu:

1. Miezīte O., Dreimanis A. Presentation: “Investigations of Grey Alder (*Alnus incana* (L.) Moench) Biomass”. In: *Research for rural development 2006*: Jelgava, 17-20 May 2006 / Latvia University of Agriculture.
2. Lazdiņa D., Miezīte O. Posters: “Wood properties comparison of willows from plantations and alders from native stands”. In: *The 5th International symposium "Wood Structure and Properties '06"*, Sliač-Sielnica, Slovakia, September 3–6, 2006.
3. Miezīte O. Presentation: „Фитомасса ольхи серой в Латвии”. In: *Warsaw Agricultural University 20 –th Scientific Conference of Wood Technology Faculty “Wood – material of the XXI-st century*, Rogow, 7-8th November, 2006.

4. Miezīte O., Dreimanis A. Presentation: Productivity of Grey Alder (*Alnus incana* (L.) Moench) Stands". In: *Research for rural development 2007*: Jelgava, 16-17 May 2007 / Latvia University of Agriculture. Jelgava: LLU, 2007.
5. Miezīte O. Presentation: Peculiarities of Renewal and Expansion of Grey Alder *Alnus incana* (L.) Moench. Stands in Latvia. In: *10-osios Lietuvos jaunuju moksliniku konferencijas*, Vilniuje 2007 m. kovo 29 d. / Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas. -Vilnius: Technika, 2007.
6. Lazdiņa D., Miezīte O. Presentation: „Competitiveness of short rotation energy crops on arable lands in Latvia”. In: *Third International Scientific Conference Rural Development*, Kaunas 8-10th of November, 2007 / Lithuanian University of Agriculture Akademija, Kaunas region, Lithuania.
7. Miezīte O. Presentation: Grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) structure. In: *Research for rural development 2008*: Jelgava, 21–23 May 2008 / Latvia University of Agriculture. Jelgava: LLU, 2008.
8. Lazdiņš A., Lazdiņa D., Liepiņš K., Miezīte O. Posters: Forest Biofuel from Abandoned Agricultural Lands – Resources and Management Opportunities”. In: *Vth UEAA General Assembly and the Associated Workshop on: „Renewable Energy Resources, Production and Technologies Riga”*. Latvia 28 – 31 May 2008.
9. Miezīte O. Referāts: „Baltalkšņa audžu ražība” (Productivity of grey alder stands). LLU Meža fakultātes konferencē / *Mežzinātne un prakse nozares attīstībai*. Jelgava: LLU MF, 2006, 15. –16. martā.
10. Miezīte O. Referāts: „Baltalkšņa audžu biomasas noteikšanas metodika” (Methods of estimation of biomass of grey alder) LLU Meža fakultātes konferencē / *Mežzinātne un prakse nozares attīstībai*. Jelgava: LLU MF, 2008, 16.-17. martā.

Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darba 1. nodaļā aprakstīta baltalkšņa *Alnus incana* (L.) Moench. bioloģija, sugas izplatības specifika, atjaunošanās un saimnieciskā nozīme. Apkopota informācija par baltalkšņa audžu resursiem Latvijā, kā arī iepriekšējo pētījumu atziņas par baltalkšņa augšanas gaitu, audžu ražību un baltalkšņa audžu struktūru. Veikts baltalkšņa audžu ražības salīdzinājums ar citām koku sugām. Salīdzinātas baltalkšņa biomasas noteikšanas metodes dažādās valstīs. Otrajā nodaļā raksturoti pētījuma objekti, lauka un kamerālo darbu metodika. Trešajā nodaļā izklāstīti pētījama rezultāti par baltalkšņa audžu dendrometriskajiem rādītājiem. Nekopto baltalkšņa audžu ražības analīzei veikti audžu krājas skaitlisko vērtību salīdzinājumi ar P. Mūrnieka (1963) augšanas gaitas tabulām (turpmāk AGT).

Izvērtēts baltalkšņa audžu struktūras elementu variēšanas raksturs dažāda vecuma baltalkšņa audzēs, izmantojot: koku skaita variēšanas raksturu; koku skaita sadalījumu parastajās un dabiskajās caurmēra pakāpēs; krājas sadalījumu caurmēra pakāpēs; koku skaita, šķērslaukuma un krājas kumulatīvās frekvenču savstarpējās sakarības baltalkšņa audzēs; koku vainaga struktūras raksturojumu. Veikta baltalkšņa audžu biomasas apjomu izvērtēšana ar izstrādāto empīrisko vienādojumu palīdzību. Izpētīti baltalkšņa dabiski mitras un absolūti sausas koksnes blīvuma raksturlielumi. Noskaidroti izpētīto baltalkšņa audžu dabiski mitrās un absolūti sausās virszemes biomasas apjomi. Baltalkšņa audžu struktūras un ražības izvērtēšana veikta ar aprakstošās statistikas, korelācijas, regresijas un dispersijas analīzes metodēm. Ceturtajā nodaļā apkopotas autorens atziņas, secinājumi un priekšlikumi, kas gūti, pētot baltalkšņa audzes.

Promocijas darba apjoms ir 127 lappuses; informācija apkopota 26 tabulās un 58 attēlos; izmantoti 136 literatūras avoti.

2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA

Promocijas darba pētījuma veikšanai izmantotas galvenokārt līdz 30 gadiem vecas baltalkšņa tīraudzes, kopumā ierīkojot 55 pagaidu parauglaukumus (turpmāk PL) dažādos Latvijas rajonos. Materiāli pētījuma veikšanai ievākti laika posmā no 2005. līdz 2007. gadam. Promocijas darba izstrādes laikā noskaidrojās, ka daļai audžu vidējie augstumi pārsniedz 1. bonitātes audžu augstumu augšējo robežlīniju. Šī iemesla dēļ ar ekstrapolēšanas palīdzību noteikta 1. A baltalkšņa bonitātes audžu vidējā augstuma zemākā robeža. Audzes, kuru vidējie augstumi bija lielāki, pieskaitīti 1. A bonitātei.

Empīriskais materiāls 2 – 10 gadu vecās audzēs tika iegūts, katrā no tām ierīkojot 15 PL ar platību 25 m², izvietojot tos pa nogabala diagonāli, visus PL esošos kokus izdastojot. Audzes augstumlīknes aprēķināšanai visā caurmēru intervālā tika uzmērīti 15 – 20 koku augstumi. 2006. gadā ierīkoti 30 PL, katrā no tiem noteikti koku augstumi 180 kociem. Baltalkšņa audzes no 11 līdz 30 gadu vecumam pētītas, izmantojot sešu koku uzskaites PL metodi (Kramer un Akča, 1982). Katrā audzē ierīkoti 30 sešu koku uzskaites PL, katrā no tiem caurmēra mērījumi veikti 180 kociem. Uzskaites PL tika izvietoti uz transektiem vienādos attālumos pēc sistemātiskā principa, lai aptvertu visu audzes platību. Sešu koku uzskaites PL metode pieskaitāma pie aplveida uzskaites PL ar mainīgu rādīsu. Metodes būtība ir tā, ka uzskaites

PL ietilpst tikai puse no sestā tuvākā koka. Tas tiek ņemts vērā, nosakot šķērslaukumu, krāju un koku skaitu PL.

Baltalkšņa virszemes biomasas apjomu izvērtēšanai tika nozāģēti 188 paraugkoki bezlapotā stāvoklī. Uzmērītie paraugkoki biomasas noteikšanai sadalīti divās grupās: ar caurmēru līdz 3 cm un ar caurmēru no 3.1 līdz 26.0 cm. Atsevišķi tika noteikta stumbra un zaru masa dabiski mitrā un absolūti sausā stāvoklī.

Dendrometrisko rādītāju aprēķināšanai izmantoti uzmērīto audžu sešu koku uzskaites PL metodes dati: katra uzskaites PL rādiuss un platība, koka un audzes šķērslaukums, koku skaits un krāja. Katram apļveida uzskaites PL baltalkšņa audžu ražības un struktūras raksturošanai, izmantojot formulas (2.1 – 2.6), aprēķināti sekojoši rādītāji:

$$R_6 = A_6 + \frac{1}{2} \cdot D_6, \quad (2.1)$$

kur R_6 – uzskaites PL rādiuss / radius of the sample plot;
 A_6 – attālums no uzskaites PL viduspunkta (M) līdz sestā koka iekšējai perifērijai / distance from the center of sample plot (M) to internal periphery of the 6th tree;
 D_6 – uzskaites PL sestā koka diametrs / diameter of the 6th tree in the sample plot;

$$L_i = 0.785 \cdot (2 \cdot R_6)^2, \quad (2.2)$$

kur L_i – uzskaites PL platība, m² / area of the sample plot, m²;
 R_6 – uzskaites PL rādiuss, m / radius of the sample plot, m;

$$g_i = 0.7854 \cdot \frac{\sum_{i=1}^5 D_i^2}{10000} + 0.785 \cdot \frac{D_6^2}{10000 \cdot 2}, \quad (2.3)$$

kur g_i – koku šķērslaukums i-tajā uzskaites PL, m² / basal area in a certain (i) sample plot, m²;
 D_i – koka caurmērs, cm / diameter of the tree, cm;
 D_6 – sestā koka caurmērs, cm / diameter of the 6th tree, cm;

$$G_i = \frac{g_i}{L_i} \cdot 10000, \quad (2.4)$$

kur G_i – audzes šķērslaukums pēc i-tā uzskaites PL datiem, m² ha⁻¹ / basal area according to data from certain (i) sample plot, m² ha⁻¹;
 g_i – koku šķērslaukums uzskaites PL, m² / basal area in the sample plot, m²;
 L_i – uzskaites PL platība, m² / area of the sample plot, m²;

$$N_i = \frac{5.5 \cdot 10000}{L_i}, \quad (2.5)$$

- kur N_i – koku skaits uz hektāra pēc i-tā uzskaites PL datiem, gab. ha⁻¹ / number of trees per ha⁻¹ according to data from certain (i) sample plot, stems per ha⁻¹;
 L_i – i-tā PL platība, m² / area of certain (i) sample plot, m²;

$$M_i = \sum_{i=1}^5 V_i + 0.5 \cdot V_6, \quad (2.6)$$

- kur M_i – koksnes krāja pēc i-tā uzskaites PL datiem, m³ ha⁻¹ / growing stock according to data from certain (i) sample plot, m³ ha⁻¹;
 V_i – i-tā koka stumbra tilpums, m³ / stem volume of a certain (i) tree, m³;
 V_6 – 6-tā koka stumbra tilpums, m³ / stem volume of the 6th tree, m³.

Izmantojot sešu koku uzskaites PL iegūtos datus par PL rādiusu un platību, audzes šķērslaukumu un koku skaitu uz hektāra, ar biometrijas metodēm (Paura, Arhipova, 2002; Arhipova, Bāliņa, 2003) aprēķināti raksturojošie statistiskie rādītāji.

Baltakšņa audžu ražības un struktūras raksturošanai apļveida uzskaites PL dendrometriskie dati izmantoti audzes šķērslaukuma, krājas, audzes vidējā koka šķērslaukuma un audzes vidējā koka caurmēra (D_g), vidējā koka augstuma (H_g) un tilpuma aprēķināšanai:

$$G = \frac{\sum_{i=1}^i G_i}{\sum_{i=1}^i L_i} \cdot 10000, \quad (2.7)$$

- kur G – audzes šķērslaukums, m² ha⁻¹ / basal area, m² ha⁻¹;
 G_i – audzes šķērslaukums pēc i-tā uzskaites PL datiem, m² ha⁻¹ / basal area according to data from certain (i) sample plot, m² ha⁻¹;
 L_i – i-tā uzskaites PL platība, m² / area of the certain (i) sample plot, m²;

$$M = \frac{\sum_{i=1}^i M_i}{\sum_{i=1}^i L_i} \cdot 10000, \quad (2.8)$$

- kur M – audzes krāja, m³ ha⁻¹ / growing stock, m³ ha⁻¹;
 M_i – koksnes krāja pēc i-tā uzskaites PL datiem, m³ ha⁻¹ / growing stock according to data from certain (i) sample plot, m³ ha⁻¹;
 L_i – i-tā uzskaites PL platība, m² / area of the certain (i) sample plot, m².

$$N = \frac{5.5 \cdot 10000}{\sum_{i=1}^i L_i}, \quad (2.9)$$

kur N – koku skaits, gab. ha⁻¹ / number of trees per ha⁻¹;
 L_i – i -tā uzskaites PL platība, m² / area of the certain (i) sample plot, m²;
 5.5 – koku skaits 6 koku uzskaites PL / number of trees in 6 tree sample plot (Kramer un Akča, 1982).

$$g_{vid} = \frac{G}{N}, \quad (2.10)$$

kur g_{vid} – audzes vidējā koka šķērslaukums, m² / average basal area of the single tree, m²;
 G – audzes šķērslaukums, m² ha⁻¹ / basal area of the stand, m² ha⁻¹;
 N – koku skaits, gab. ha⁻¹ / number of trees per ha⁻¹.

$$D_g = \sqrt{\frac{g_{vid}}{0.785}} \cdot 100, \quad (2.11)$$

kur D_g – audzes vidējā koka caurmērs, kas aprēķināts no vidējā koka šķērslaukuma (g_{vid}), cm / average diameter of a tree, calculated from g_{vid} , cm;
 g_{vid} – audzes vidējā koka šķērslaukums, m² / average basal area of a single tree, m².

Stumbra tilpuma aprēķināšanai izmantoti izlīdzinātie augstumi, kas iegūti no augstumlīknes regresijas vienādojuma. Koka augstuma (y) aprēķināšanai izmantots logaritmiskais regresijas vienādojums (2.12), kam visbiežāk ir augstākā determinācijas koeficienta (R^2) vērtība un vislabāk apromiksē koka caurmēra un augstuma parametru empīrisko izkriedi:

$$y = aLn(x) - b, \quad (2.12)$$

kur x – koka caurmērs, cm / diameter of the tree, cm;
 a – regresijas koeficients / coefficient of the regression;
 b – regresijas vienādojuma brīvais loceklis / free member of the regression.

Baltalkšņa stumbra tilpums ir aprēķināts, izmantojot prof. I. Liepās izstrādāto empīrisko formulu (Liepa, 1996).

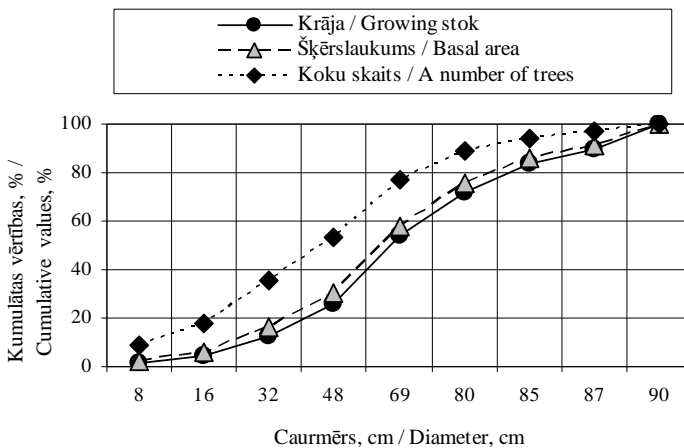
Audzū ražības izvērtēšanai tika veikti audžu krājas skaitlisko vērtību salīdzinājumi ar P. Mūrnieka (1963) AGT. Faktisko krājas datu analīzes vajadzībām izmantots relatīvās krājas jēdziens, kas atbilst faktiskās kopkrājas attiecībai pret pilnas biežības galvenās audzes krāju attiecīgajā bonitātē AGT un izteikts %. Baltalkšņa enerģētiskās koksnes izvērtēšanai ir svarīgi izpētīt

biomasas apjomu, tāpēc šajā darbā nav izdalīta galvenā un starpauzde. Baltalkšņa audžu dendrometrisko rādītāju analizē izmantota aprakstošā statistika (Arhipova un Bāliņa, 2003).

Audzēs struktūras pētīšanai izmantots 2 cm caurmēra pakāpes solis. Koku skaits caurmēra pakāpē izteikts % kā caurmēra pakāpes koku skaita attiecība pret kopējo audzes koku skaitu. Krājas īpatsvars caurmēra pakāpēs noteikts % no kopējās audzes krājas.

Audzēs dzīves laikā koku sadalījumam caurmēra pakāpēs ir mainīgs raksturs, jo, koka caurmēram palielinoties tikai par dažiem milimetriem, tas ierindojas citā caurmēra pakāpē. Praksē parasti pielieto koku skaita sadalījumu parastajās caurmēra pakāpēs. Šim sadalījumam piemīt zināms trūkums, jo, pieaugot audzes vecumam, koki pāriet resnākās caurmēra pakāpēs. Tā rezultātā rodas grūtības, audzes savstarpēji salīdzinot. Arī viena vecuma audzēs koki var sadalīties atšķirīgā caurmēra pakāpju skaitā, kas atkarīgs no koku diferencēšanās procesa, koku caurmēru dabiskās mainības rakstura, veiktajām vai izpalikušajām kopšanas cirtēm. Koka caurmēru var izteikt ne tikai centimetros, bet arī ar koku redukcijas skaitli. Redukcijas skaitļi aprēķināti, koka caurmēru dalot ar audzes vidējo caurmēru (Анучин, 1960; 1977). Dotais sadalījums rada iespēju savstarpēji salīdzināt audzes neatkarīgi no to vecuma un vidējā caurmēra.

Katrai audzei noteiktas šķērslaukuma, krājas un koku skaita kumulatīvo frekvenču vērtības pa caurmēra pakāpēm, sākot ar audzes tievākajiem kokiem. Ar kumulātu grafisko attēlu palīdzību noteikts koku skaita īpatsvars atbilstoši šķērslaukuma un krājas kumulātai no 10 – 50 % (2.1.att.).



2.1. att. Koku skaita, šķērslaukuma un krājas kumulātas vērtības 2005. –18. PL / Figure 2.1. Cumulative values of a number of trees, basal area and growing stock, 2005, sample plot N^o18

Baltalkšņa vainaga garums noteikts kā starpība starp koka augstumu un vainaga sākuma augstumu. Vainaga relatīvais garums izteikts procentos no koka augstuma.

Lai raksturotu likumsakarības starp koku skaitu un vairākām faktoriālām pazīmēm, ir pielietota regresijas analīze (Arhipova un Bāliņa, 2003). Pētījumā tika pārbaudīts, vai nekoptas baltalkšņa audzes atbilst Tjūrīna teorētiskajam sadalījumam ar HĪ - kvadrāta testu (Liepa, 1974).

Dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas izvērtēšanai izmantota regresijas analīze, ar kuras palīdzību raksturota biomasas izkliede atkarībā no analīzē iekļautajiem argumentiem. Līdz 3 cm resnu baltalkšņu biomasas aprēķināšanai pārbaudīti šādi argumenti: koka caurmērs, koka caurmēra kvadrāts, koka caurmēra kvadrāta un augstuma reizinājums; savukārt par 3 cm resnāku baltalkšņu biomasas izvērtēšanai pārbaudīti sekojoši argumenti: koka caurmērs, koka stumbra tilpums, koka caurmēra kvadrāts, koka caurmēra un augstuma reizinājums, koka šķērslaukuma un augstuma reizinājums un koka caurmēra kvadrāta un augstuma reizinājums.

Baltalkšņa bezlapotas virszemes biomasas aprēķināšanai pārbaudīts parabolas vienādojums (2.13) un pakāpes regresijas vienādojums (2.14):

$$y = ax^2 + bx + c \quad (2.13)$$

kur x – pārbaudāmais arguments / verified argument;
 a, b – regresijas koeficienti / coefficients of the regression;
 c – brīvais loceklis / a free member.

$$y = ax^b, \quad (2.14)$$

kur x – pārbaudāmais arguments / verified argument;
 a, b – regresijas koeficienti / coefficient of the regression.

Šajā pētījumā 122 kokiem koksnes blīvums tika noteikts pēc ISO 3131 (1975) standarta un koksnes mitrums - pēc EN 13183 – 1 (2002). Datu apstrādei pētījumā, kur izvērtēts baltalkšņa koksnes blīvums starp griezuma vietām un paraugkokiem, izmantota viena vai divu faktoru dispersijas analīze. Sakarības ciešuma izvērtēšanai starp koksnes blīvumu dažādos stumbra augstumos izmantota korelācijas analīze. Koksnes mitruma analīzei pielietota aprakstošā statistika.

Baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas apjoma analīzei, izmantojot kā argumentu audzes vecumu, audzes vidējo caurmēru un audzes šķērslaukumu, pielietots pakāpes regresijas vienādojums (2.14).

Baltalkšņa un baltalkšņa audžu biomasas izvērtēšanai vienādojumu būtiskums pārbaudīts ar dispersijas analīzi, izmantojot SPSS programmu (Arhipova un Bāliņa, 2003).

3. REZULTĀTI

3.1. Baltalkšņa audžu dendrometriskais raksturojums

Baltalksnis uzskatāms par ātras augšanas un attīstības koku sugu, kam, salīdzinājumā ar citām koku sugām, visai agri iestājas straujas dendrometrisko parametru izmaiņas. Koku skaits audzēs ir atkarīgs no dabiskās atjaunošanās procesa sekmīguma, kā rezultātā izveidojas retākas un biežākas audzes, kurās ir atšķirīgs nodrošinājums ar augšanas resursiem. Retās audzēs koku vainagi saslēdzas vēlāk nekā biežās. Tas, protams, atstāj zināmu ietekmi uz dendrometriskajiem rādītājiem.

Baltalkšņa 55 audžu dendrometrisko rādītāju Pīrsona pāru korelācijas rezultāti ļauj spriest par koeficientu vērtību, būtiskumu un virzienu (Liepa, 1974; Arhipova, Bāliņa, 2006). Starp audzes bonitāti un pārējiem audzes dendrometriskajiem rādītājiem konstatētas vājas negatīvas korelatīvas sakarības (starp bonitāti un vidējo baltalkšņa stumbra tilpumu ($r = -0.431$, $p < 0.01$), starp bonitāti un vidējo audzes caurmēru ($r = -0.283$, $p < 0.05$) un starp bonitāti un vidējo koka augstumu ($r = -0.265$, $p < 0.05$). Tas izskaidrojams ar faktu, ka pētījumu materiāls aptver plašu vecuma intervālu ar visai atšķirīgiem audzes taksācijas parametriem. Visus audzes parametrus nekoptajās baltalkšņa audzēs ietekmē koku skaits uz platības vienību, kas ievērojami atšķiras pat vienas bonitātes vienvecuma audzēs.

Starp audzes vecumu un pārējiem audzes taksācijas rādītājiem vairumā gadījumu pastāv cieša korelācija. Konstatēta cieša pozitīva korelācija starp audzes vecumu un citiem taksācijas rādītājiem: ar audzes vidējo augstumu ($r = 0.936$, $p < 0.01$), vidējo caurmēru ($r = 0.929$, $p < 0.01$), vidējo stumbra tilpumu ($r = 0.839$, $p < 0.01$), audzes krāju ($r = 0.815$, $p < 0.01$).

Korelācijas analīze bez papildus grafiskās analīzes nedod skaidru priekšstatu par sakarības raksturu, jo vairums audzes taksācijas rādītāju nav lineāri atkarīgi no audzes vecuma.

Pētīto audžu vidējais caurmērs un augstums maz variē līdz 10 gadiem vecajās audzēs. Jau 15 gadu vecumā audzes vidējā caurmēra variēšanas amplitūda ievērojami pieaug, tā sasniedz 6 cm intervālu, un tāda saglabājas līdz 30 gadu vecumam. Arī vidējam audzes augstumam ir līdzīgs variēšanas raksturs, kas 12 – 15 gadu vecumā sasniedz 5 – 6 m. Tas vairumā gadījumu atbilst P. Mūrnieka (1950) konstatētajam, ka 25 gadu vecumā audžu vidējie augstumi iekļaujas 6 m intervālā.

Pieaugot audzes vecumam, koku skaits samazinās ($r = -0.737$, $p < 0.01$) audzes pašizretināšanās procesā (Ткаченко, 1955; Skudra, Dreimanis, 1993; Белов, 1983). Neskatoties, ka korelācija ir vidēji cieša un būtiska, sakarību labāk apromiksē pakāpes regresijas (2.14) vienādojums ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$,

$R^2 = 0.760$). Vairāk koku par 10000 gab. ha⁻¹ ir tikai līdz 10 gadu vecajās audzēs. Atsevišķās 11 – 20 gadu vecās audzēs koku skaits sasniedz 5150 – 6200 gab. ha⁻¹.

Vidēji cieša pozitīva korelācija konstatēta starp audzes vecumu un šķērslaukumu ($r = 0.672$, $p < 0.01$). Audzes šķērslaukums ir atkarīgs no koku skaita un to caurmēra. Audzes šķērslaukuma atkarību no audzes vecuma ievērojami labāk un statistiski ticami apromiksē pakāpes vienādojums ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$; $R^2 = 0.812$), lai gan līdzīga vecuma audzēs vērojama ļoti plaša šķērslaukuma skaitlisko vērtību variēšana. Vienādvecuma audzēs dažādu audžu šķērslaukums atšķiras 1.9 – 3.8 reizes. Vislielākās atšķirības konstatētas 12 – 16 un 28 – 30 gadus vecajās audzēs. Atšķirīgais koku skaits audzēs ietekmē audžu šķērslaukuma skaitlisko vērtību.

Pētītajās baltalkšņa audzēs izlīdzinātās audžu krājas (y) atkarībā no audzes vecuma (x) vai šķērslaukuma (x) apraksta pakāpes regresijas vienādojums $y = ax^b$, tā izmantošanas intervāls dots 3.1. tabulā.

3.1. tabula / Table 3.1

Pakāpes regresijas ($y = ax^b$) koeficienti sakarībai starp audzes vecumu vai šķērslaukumu un krāju /
Coefficients of power regression equations ($y = ax^b$) for calculation of growing stock from stand basal area or age

Boni-tāte / Site index	a	b	R ²	s _x	p – vērtība / p – value	Formulas izmantošanas intervāls / Range of the stand ages applicable for the use of the formula
Arguments audzes vecums (x) / Stand age argument (x)						A, gadi
1. A	0.7239	1.7772	0.933	25.1	0.0000	2 ≤ 30
1.	1.4354	1.5279	0.963	10.3	0.0000	3 ≤ 30
2.	0.8939	1.7094	0.717	13.9	0.0000	5 ≤ 30
3.	1.0370	1.5657	0.708	6.2	0.0022	9 ≤ 28
Arguments audzes šķērslaukums (x) / Basal area arguments(x)						G, m² ha⁻¹
1. A	1.5205	1.4868	0.968	22.8	0.0000	0.8 ≤ 42.3
1.	1.5111	1.4851	0.987	17.0	0.0001	2.9 ≤ 42.4
2.	2.6506	1.2955	0.988	8.4	0.0000	1.8 ≤ 42.7
3.	1.3652	1.5244	0.927	10.5	0.0060	5.6 ≤ 27.1

Apzīmējumi: x – arguments; A – audzes vecums, gados; G – audzes šķērslaukums, m² ha⁻¹; a – regresijas vienādojuma brīvie locekļis; b – regresijas vienādojuma koeficients; R² – determinācijas koeficients, s_x – regresijas standartklūda, p – ticamības līmenis

Key: x – argument; A – stand age, years; G – basal area of the stand, m² ha⁻¹; a – a free member of the regression equation; b – coefficient of the regression equation; R² – coefficient of determination, s_x – standard error of the regression, p-value – plausibility level

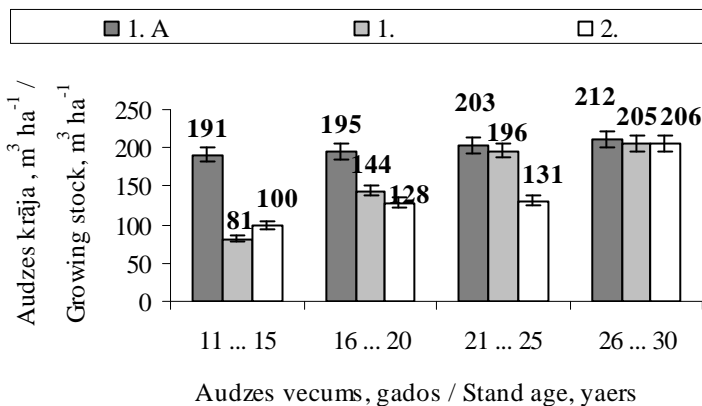
Audzū krājas raksturošanai atkarībā no audzes vecuma aprēķinātie regresijas vienādojuma koeficienti (3.1. tab.) ir statistiski nozīmīgi ($p = 0.0000 - 0.0022 < \alpha = 0.05$, $R^2 = 0.708 - 0.963$). Ciešāka sakarība konstatēta starp audzes šķērslaukumu un krāju ($p = 0.0000 - 0.006 < \alpha = 0.01$, $R^2 = 0.927 - 0.988$).

Aprēķinātā izlīdzinātā krāja atkarībā no audzes šķērslaukuma liecina, ka reālās krājas 1. A un 1. bonitātes audzēs praktiski ir vienādas, bet 2. un 3. bonitātes audzēs zemākas. Tas izskaidrojams ar to, ka faktiskie augstumi 1. A un 1. bonitātes audzēs pie vienāda šķērslaukuma neatšķiras, bet zemāku bonitāšu audzēs ir mazāki.

Regresijas vienādojumu statistiskā analīze apliecina, ka faktiskās baltalkšņa audžu krājas dažādu bonitāšu audzēs būtiski neatšķiras ($p = 0.4787 > \alpha = 0.05$, $R^2 = 0.707 - 0.968$). Datu analīze skaidri parāda, ka šaurā vecuma intervālā audzes krāja var atšķirties pat vairākas reizes, kas nav saistīts ar audzes bonitāti. Galvenais atšķirību iemesls ir audzes šķērslaukums, kas atkarīgs no koku caurmēra un koku skaita uz platības vienību.

Nekopto baltalkšņa audžu krāja vecumā no 11 līdz 30 gadiem (3.1. att.) būtiski neatšķiras dažādās audžu bonitātēs ($p = 0.0649 > \alpha = 0.05$).

Audzū krāja 1. bonitātes 11 – 15 gadu vecajās audzēs ir par 19 % zemāka nekā 2. bonitātes, jo 2. bonitātē ietilpst audzes ar lielu koku skaitu, kas kopumā veido ievērojamu šķērslaukumu un krāju.

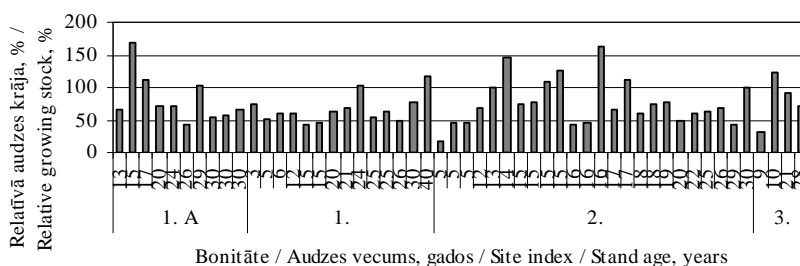


3.1. att. Dažādu bonitāšu baltalkšņa audžu kājas /
Figure 3.1. The growing stock of grey alder stands of different site indexes

Lai īsā laikā izaudzētu audzes ar lielu koksnes krāju, kas izmantojama kurināmās šķeldas iegūšanai, baltalkšņa audzēs 14 – 17 gadu vecumā

nepieciešami vairāk nekā 3000 koku uz ha. Šādu audžu izveidošanas iespējas jāpārbauda papildus pētījumos.

Baltalkšņa audžu relatīvā krāja 1. A un 1. bonitātes audzēs tikai 5 no 24 jeb 21 % gadījumu pārsniedz pilnas biežības audžu krāju. Pārējās šo bonitāšu audzēs relatīvās krājas vērtības atrodas intervālā starp 43 un 78 %. Relatīvās krājas vērtības 2. un 3. bonitātes audzēs, vienādas vai lielākas par 100 %, sastopamas 33 % audžu (3.2. att.). Sevišķi lielas krājas pārsvarā sastopamas 10 – 17 gadus vecajās audzēs, kurās hipotētiski ir bijis liels sākotnējais koku skaits un nav noticis intensīvs koku atmiršanas process. Tas saskan ar mežkopībā zināmo apgalvojumu, ka koku skaita samazināšanās mazāk intensīvi notiek zemāku bonitāšu audzēs.



**3.2. att. Baltalkšņa audžu relatīvās krājas /
Figure 3.2. Relative growing stock of grey alder stands**

Relatīvie augstumi $\frac{2}{3}$ audžu (66 %) pārsniedz 100 %. Tas nozīmē, ka reālajās baltalkšņa audzēs vidējie augstumi ir lielāki nekā AGT. Visās 1. A bonitātes audzēs relatīvie augstumi ir lielāki nekā 1. bonitātes rādītāji AGT, kas apliecina 1. A bonitātes izdalīšanas pamatotību. Līdz 10 gadiem veco audžu vidējie augstumi ievērojami atpaliek no AGT.

Reālās baltalkšņa audzes tikai 24 % gadījumu atbilst pilnas biežības kritērijiem (relatīvais šķērslaukums 100 % un vairāk). Audzes biežība 7 un vairāk konstatēta 56 % audžu, salīdzinot ar P. Mūrnieka (1963) AGT. Mazas biežības audzes raksturīgas visu bonitāšu baltalkšņa jaunaudzēs.

Pētīto audžu koku skaita salīdzinājums ar AGT liecina, kas tas reālajās audzēs ir ievērojami mazāks, kas izsauc relatīvā šķērslaukuma un krājas samazināšanos.

Pētīto baltalkšņa audžu krājas vidējā pieauguma vērtības (3.2. tab.) būtiski neatšķiras dažādu bonitāšu audzēs ($p = 0.461 > \alpha = 0.05$), kā arī no meža tipa ($p = 0.763 > \alpha = 0.05$).

Krājas vidējais pieaugums baltalkšņu audzēs /
Average increment of growing stock of grey alder stands

Bonitātes / Site index	Krājas vidējais pieaugums, m ³ ha ⁻¹ gadā / Average increment of growing			Audžu vecuma intervāls gados / Range of the stand ages
	$x_{vid} \pm S_x^-$	minimālais	maksimālais	
1. A	7.4 ± 1.42	0.8	19.1	2 ≤ 30
1.	6.4 ± 0.66	2.0	11.3	3 ≤ 40
2.	7.2 ± 0.69	1.0	16.2	5 ≤ 30
3.	5.5 ± 1.37	1.9	8.3	9 ≤ 28

Apzīmējumi: $x_{vid} \pm S_x^-$ – vidējais pieaugums ± standartklūda, m³ ha⁻¹ gadā

Key: $x_{vid} \pm S_x^-$ – average increment ± standard error, m³ ha⁻¹

Vislielākais krājas vidējais pieaugums konstatēts 1. A bonitātes baltalkšņa gāršas audzēs un 1. bonitātes vēra audzēs, kurās krājas vidējais pieaugums pārsniedz 15 m³ ha⁻¹ gadā. Literatūrā atrodams, ka visproduktīvākās audzes veidojas uz māla augsnēm (Johanson, 1999), kas raksturīgas baltalkšņa gāršai.

Analizējot visas pētītās baltalkšņa audzes, viszemākais krājas vidējais pieaugums konstatēts slapjajā vērī, kurā veidojas 2. un 3. bonitātes audzes. Šajās audzēs 16 – 28 gadu vecumā krājas vidējais pieaugums ir 4.6 m³ ha⁻¹ gadā. Literatūrā minēts, ka slapjajā vērī izaug mazražīgas audzes, jo augsnes virskārtu veido koku un ogulāju jēlkūdras slānis, zem kura atrodams vidēji bagāti podzolētās mālsmits vai māla slāņi (Zālītis, 2006).

3.2. Baltalkšņa audžu struktūras izpēte

Baltalkšņa audžu koku skaita variācijas koeficienta vērtības būtiski neatšķiras dažādu bonitāšu ($p = 0.736 > \alpha = 0.05$), meža tipu ($p = 0.618 > \alpha = 0.05$) un vecumklašu audzēs ($p = 0.796 > \alpha = 0.05$), nav konstatēta arī būtiska mijiedarbība starp audzes bonitāti un meža tipu ($p = 0.558 > \alpha = 0.05$), kā arī starp vecumklasi un meža tipu ($p = 0.857 > \alpha = 0.05$), $R = 0.646$.

Vidējais koku skaita variācijas koeficients vairumā gadījumu dažādu bonitāšu audzēs variē no 33 līdz 39 % (3.3. tab.), tā minimālās vērtības atrodas intervālā no 5 līdz 20 %, maksimālās no 68 līdz 139 %.

3.3. tabula / Table 3.3.

**Baltalkšņa audžu koku skaita variācijas koeficienta vērtības /
Coefficient of variability of a number of trees in grey alder stands**

Bonitāte / Site index	Variācijas koeficienta rādītājs / Value of coefficient of variability		
	vidējais / average	minimālais / min.	maksimālais / max.
1. A	35 ± 7.2	9	89
1.	35 ± 8.9	5	139
2.	33 ± 6.5	7	125
3.	39 ± 10.3	20	68

Dažādos baltalkšņa meža tipos vidējais variācijas koeficients mainās no 21 līdz 68 %: vērī – 30 ± 6.3 %, gāršā – 33 ± 7.3 %, slapjā vērī – 22 ± 4.7 %, slapjajā gāršā – 23 ± 9.9 % un platlapju ārenī – 40 ± 25.0 %. Vecās audzes ciršanas laiks ir nozīmīgs faktors, kas ietekmē jaunās audzes koku skaitu un tā variācijas koeficientu. Literatūrā norādīts (Mangalis, 2004), ka, lai panāktu vienmērīgu un spēcīgu atvašu veidošanos, baltalksnis, tāpat kā citas lapu koku sugas, jācērt vēlu rudenī vai ziemā, kad barības vielas no koka virszemes daļas pārvietojušās uz saknēm.

Koku skaits dažādu bonitāšu audzēs būtiski atšķiras ($p = 0.001 < \alpha = 0.05$). Baltalkšņa koku skaits (y) atkarībā no audzes vecuma (x) dažādu bonitāšu audzēs ir raksturojams ar pakāpes regresijas vienādojumu (2.14).

3.4. tabula / Table 3.4.

**Sakarības ($y = ax^b$) raksturojošie lielumi starp audzes vecumu un koku skaitu /
Values characterizing correlation ($y = ax^b$) between the age of the
stand and the number of trees**

Boni- tāte	a	b	R ²	s _x	p- vērtība	Formulas izmantošanas intervāls, audžu vecums gados
1. A	40646	-1.0523	0.967	3882	0.0000	2 ≤ 30
1.	47139	-1.0217	0.896	2428	0.0000	3 ≤ 40
2.	77038	-1.1007	0.691	1762	0.0000	5 ≤ 30
3.	370118	-1.5106	0.684	1604	0.0029	9 ≤ 28

Apzīmējumi: N – koku skaits audzē, gab. ha⁻¹; a un b – regresijas vienādojuma brīvie locekļi, R² - determinācijas koeficients, s_x – regresijas standartkļūda, F un t – testa faktiskās vērtības, p-vērtība – ticamības līmenis

Key: N – Number of trees in the stand, stems per ha⁻¹; a and b – free members of the regression equation, R² – coefficient of determination, s_x – standard error, F and t – actual values of the test, p-value – plausibility level

Dažādu bonitāšu baltalkšņa audzēs koku skaita noteikšanai izmantojamie pakāpes regresijas vienādojuma koeficienti (3.4. tab.) ir statistiski nozīmīgi 1. A, 1., 2. bonitātei $p = 0.0000 < \alpha = 0.01$ un 3. bonitātei $p = 0.029 < \alpha = 0.05$.

Apsekotajās mežaudzēs (vecākās par 10 gadiem) koku skaita sadalījums parastajās caurmēra pakāpēs ar soļa intervālu 2 cm ne visos gadījumos atbilst normālajam sadalījumam, lai gan grafiski faktiskais un teorētiskais sadalījums atšķiras nedaudz. Koku skaita sadalījums caurmēra pakāpēs 16 – 30 gadus vecās audzēs vairumā gadījumu neatbilst normālajam sadalījumam. Aprēķinātā H_i - kvadrāta (χ^2) vērtība ir lielāka par teorētisko ($p < 0.05$). Vecumā no 20 līdz 30 gadiem vērojama koku skaita sadalījuma kreisā asimetrija. No 11 līdz 15 gadiem vecās audzēs 89 % no visiem kokiem ietilpst četrās (4 – 10 cm) caurmēra pakāpēs, no 16 līdz 20 gadiem – 89 % koku ietilpst no 6 līdz 12 cm caurmēra pakāpēs. No 21 līdz 25 gadiem vecās audzēs 76 % koku atrodas četrās (10 – 16 cm) caurmēra pakāpēs. Līdzīgs koku skaita sadalījums konstatēts arī 26 – 30 gadu vecās audzēs, kurās 79 % koku ietilpst piecās (10 – 18 cm) caurmēra pakāpēs.

Analizējot 44 par 10 gadiem vecākas audzes, konstatēts, ka 16 audzēs pirmajā vai pirmajās divās mazākajās caurmēra pakāpēs audzes krāja ir mazāka par 1 %. Krājas sadalījumam caurmēra pakāpēs reti sastopams zāģveidīgs sadalījums. Krājas īpatsvars caurmēra pakāpē ar lielāko krāju variē 17 – 62 % intervālā. Lielākas maksimālās krājas vērtības caurmēra pakāpē vairāk raksturīgas jaunākām audzēm.

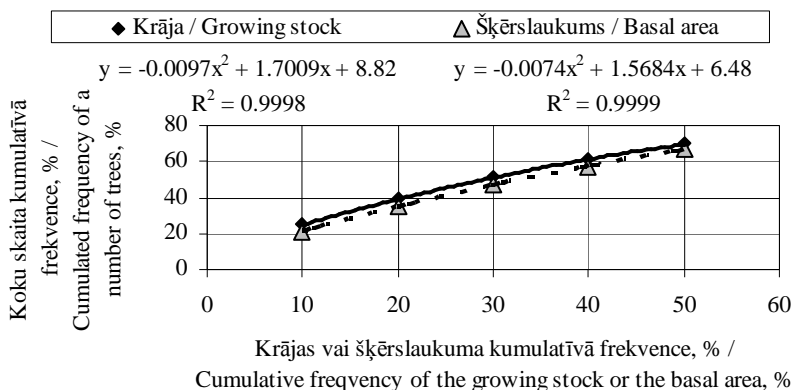
Krājas īpatsvars no audzes kopējās krājas trijās centrālajās caurmēra pakāpēs variē plašā diapazonā no 25 līdz 100 %. Tikai 6 no 44 audzēm triju centrālo caurmēra pakāpju krāja ir mazāka par 50 % no audzes kopējās krājas. Lielāks krājas īpatsvars centrālajās caurmēra pakāpēs ir audzēs ar mazu caurmēra pakāpju skaitu. Pastāv vidēji cieša negatīva korelācija starp caurmēra pakāpju skaitu un krājas īpatsvara sadalījumu trijās centrālajās caurmēra pakāpēs ($p = 0.0000 < \alpha = 0.05$, $R^2 = 0.5$). Neskatoties uz dažām statistiski ticamām krājas sadalījuma likumsakarībām caurmēra pakāpēs, jāatzīst, ka krājas sadalījumu ietekmē virkne citu faktoru, kurus pētniecības procesā nav iespējams fiksēt. Bez tam dažādi faktori savstarpēji mijiedarbojas, ko atklāt ne vienmēr ir iespējams.

Baltalkšņa audzes atrodas īpatnējā situācijā, jo tās līdz šim ir koptas tikai izņēmuma gadījumos. Kopšanas ciršu trūkuma dēļ audzēs ir liels tievo koku skaits, kam atbilst neliela koksnes krāja. Pētījuma uzdevums bija izpētīt likumsakarības starp koku skaitu, šķērslaukumu un audzes krāju. Šī uzdevuma atrisināšanai tika izmantoti šo parametru kumulātu grafiskie attēli. Pētījuma ietvaros analizētas koku skaita, šķērslaukuma un krājas kumulatīvo frekvenču vērtības 6 – 30 gadus vecās audzēs. Jaunākās audzēs šķērslaukuma un krājas vērtības ir niecīgas, praktiskām vajadzībām mērķtiecīgi ir vadīties pēc koku skaita, ko var noteikt uzskaites PL.

Koku skaita kumulatīvās frekvences (y) atkarībā no krājas un šķērslaukuma kumulatīvajām frekvencēm raksturo otrās pakāpes parabolas vienādojums (2.13) un grafiskais attēlojums, kur a un b – regresijas vienādojuma koeficienti un c - brīvais loceklis dots 3.3. attēlā.

Koku skaita kumulatīvo frekvenču vidējo vērtību atšķirības dažādu bonitāšu audzēs nepārsniedz 1.5 %, kam nav praktiskas nozīmes ($p = 0.999 > \alpha = 0.05$). Nav konstatētas koku skaita kumulatīvo frekvenču atšķirības II līdz VI vecumklases (vecumklases intervāls 5 gadi) audzēs ($p = 0.903 > \alpha = 0.05$), lai gan II vecumklasē kumulatīvās frekvences ir par 8 – 11 % augstākas nekā citās vecumklasēs. Tas izskaidrojams ar lielu tievo koku īpatsvaru 6 – 10 gadu vecajās audzēs, kurās notiek intensīva koku diferencēšanās. Atšķirības starp pārējām vecumklasēm ir nelielas. Audzes vidējais caurmērs būtiski neietekmē kumulatīvo frekvenču vērtības ($p = 0.989 > \alpha = 0.05$).

Kumulātu izvērtēšana parāda, ka krājas kumulatīvās frekvences caurmēra pakāpēs ir ar viszemāko vērtību, nedaudz augstākas tās ir šķērslaukuma un ievērojami lielākas koku skaita kumulatīvajām frekvencēm. Tam ir likumsakarīgs pamats, jo audzes tievo koku šķērslaukumi un stumbru tilpumi ir nelieli, un nepieciešams ievērojams koku skaits, lai sasniegtu kādu noteiktu krājas kumulatīvās frekvences vērtību. Tas vairāk izteikts audzēs ar lielu koku skaitu mazajās caurmēra pakāpēs.



3.3. att. Koku skaita kumulatīvo frekvenču sakarība ar šķērslaukuma un krājas kumulatīvajām frekvencēm /

Figure 3.3. Correlation of cumulative frequencies of the number of trees with cumulative frequencies of the growing stock

Literatūrā var atrast daudz informācijas par koku skaita faktisko vai relatīvo sadalījumu caurmēra pakāpēs, kas atkarīgs no koku sugas, audzes vecuma un izpildītajām kopšanas cirtēm. Meža taksācijā kumulātas izmanto, lai grafiski

noteiktu cērtamo paraugkoku caurmērus krājas aprēķināšanai (Sarma, 1948; Анучин, 1960, 1977). Darba izstrādes laikā literatūrā netika atrasta informācija par koku skaita, šķērslaukuma un krājas kumulatīvo frekvenču savstarpējām likumsakarībām. Tātad iespējams, ka šajā pētījumā iegūtā informācija ir oriģināla un izmantojama izcērtamo koku apjoma plānošanai pēc skaita, šķērslaukuma un krājas.

Koku vainagu forma un izmēri ir ļoti daudzveidīgi. Tie ir atkarīgi no koku sugas ģenētiskajām īpašībām, vecuma, augšanas apstākļiem, vēja ietekmes un bojājumiem (Отверк, 1974). Baltalkšņa audžu vainaga vidējais relatīvais garums būtiski atšķiras dažādu vecumklaşu audzēs ($p = 0.0000 < \alpha = 0.05$). Visās vecumklaşēs mazajās caurmēra pakāpēs tas ir 1.4 – 2.1 reizes īsāks nekā audzes lielākajā caurmēra pakāpē. Vecumā no 1 līdz 5 gadiem baltalkšņa audžu vainaga vidējais garums ir $61 \pm 3.1 \%$, variācijas koeficienta vērtība – 4 %. Otrās vecumklaşes audzēs vidējais vainaga garums samazinās līdz $44 \pm 4.9 \%$. Vainaga vidējais garums samazinās līdz ar audzes vecuma palielināšanos. Piektās un sestās vecumklaşes audzēs vainaga vidējais garums nepārsniedz 30 – 31 %. Vecumklaşes robežās vainaga garuma variācijas koeficienta vērtību intervāls ir 13 – 20 %, ($p < 0.05$). Audzēs, kurās koku ir līdz 5000 gab. ha⁻¹, audzes vidējā koka relatīvais vainaga garums ir robežās no 27 – 43 %. Starp koka caurmēru (x) un vidējo relatīvo vainaga garumu (y) dažādu vecumklaşu audzēs pastāv ciešas korelatīvas sakarības, kuras raksturo logaritmiskais regresijas (2.12) vienādojums (3.5. tab.).

3.5. tabula / Table 3.5.

**Relatīvo vainaga garumu raksturojošie
logaritmiskā ($y = a \ln x + b$) vienādojuma regresijas koeficienti /
Coefficients of logarithmic equation of regression ($y = a \ln x + b$) characterizing
the relative length of the crown**

Vecumklaşes intervāls, gados / Age group years	A	b	R ²	p- vērtība / p - value	Caurmēra intervāls, cm / Diameter interval, cm
6 – 10	12.6420	24.235	0.88	0.0000	1 – 6
11 – 15	13.4130	7.662	0.99	0.0000	4 – 14
16 – 20	4.8390	25.072	0.64	0.0000	4 – 22
21 – 25	10.7140	0.912	0.99	0.0000	8 – 24
26 – 30	16.8570	-14.903	0.95	0.0000	8 – 24

Apzīmējumi: a un b – regresijas vienādojuma brīvie locekļi, R² - determinācijas koeficients, p- vērtība – ticamības līmenis

Key: a and b – free members of the regression equation, R² – coefficient of the determination, p – value – plausibility level

Literatūrā minēts, ka relatīvais vainaga garums, un arī caurmērs ietekmē vainaga tilpumu, lapu asimilējošo virsmu un ražotās organiskās masas apjomus (Kramer, 1988).

No promocijas darba pētījumiem izriet, ka baltalkšņa audžu vainagu daudzveidība ir atkarīga no audzes vecuma un koku skaita tajā. Pēc I. Belova (Белов, 1983) baltalksnis pēc gaismas prasības atrodas ceturrtajā vietā aiz kārpainā un pūkaina bērza un apses. Tas izskaidro relatīvi īsos un skrajos baltalkšņa vainagus.

3.3. Baltalkšņa un baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas apjomu izvērtēšanas metodes

Baltalkšņa biomasas noteikšanas metodikas izstrādei nocirsti 188 koki ar caurmēru 1.3 m augstumā 0.2 – 26.0 cm. Visa paraugkopa sadalīta divās daļās: koki ar caurmēru līdz 3 cm un koki ar caurmēru lielāku par 3 cm. Kopējās empīriskās formulas izstrāde visam caurmēru diapazonam nav iespējama, izmantojot SPSS piedāvātos empīriskos vienādojumus, jo mērījumu novirzes no līknes neatspoguļo reālo situāciju.

Pirmo paraugkopu veido 52 baltalkšņa paraugkoki ar caurmēru līdz 3 cm un koka augstumu no 1.35 līdz 7.0 m. Uzmērīto koku dendrometrisko rādītāju minimālā un maksimālā vērtība: caurmēram 0.2 – 3.0 cm, koka augstumam 1.35 – 7.0 m, koka stumbra tilpumam 0.00001 – 0.00278 m³, koka stumbra biomasai 0.045 – 2.5 kg, zaru biomasai 0.003 – 0.193 kg, koka bezlapotās virszemes biomasai 0.06 – 2.58 kg un absolūti sausās koksnes masai 0.03 – 1.16 kg.

Baltalkšņa stumbra tilpums (y) līdz 3 cm resnajiem kokiem atkarībā no caurmēra (x) aprēķināms pēc parabolas vienādojuma $y = 0.0004x^2 - 0.0003x + 0.00009$, ($R^2 = 0.99$, $p < 0.05$). Determinācijas koeficients uzrāda ciešu sakarību starp koka caurmēru un stumbra tilpumu.

Dabiski mitras zaru masas īpatsvars koka kopējā virszemes biomasā variē plašās robežās no 1.6 līdz 32.5 % (variācijas koeficients – 45 %). Zaru masas īpatsvara vidējā vērtība ir 15.3 ± 0.97 %.

Pētījumā dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa biomasas (y) aprēķināšanai atkarībā no dažādiem argumentiem (x) pārbaudīts parabolas regresijas (2.13) vienādojums (3.6. tab.). Par argumentu (x) pārbaudīti šādi mainīgie lielumi: koka caurmērs (D), koka caurmēra kvadrāts (D²), koka caurmēra kvadrāta un augstuma reizinājums (D²H). Baltalkšņa virszemes biomasas noteikšanai otrās kārtas parabolas vienādojums parāda augstu sakarības ciešumu ($R^2 = 0.97 - 0.99$, $p < 0.01$), salīdzinājumā ar taisnes, pakāpes un logaritmisko regresijas vienādojumu. Somu zinātnieki baltalkšņa stumbra

biomasas noteikšanai izmanto otrās kārtas parabolas vienādojumu, kurā par argumentu izmantots koka caurmērs. Noskaidrots, ka starp mainīgajiem lielumiem veidojas cieša sakarība ($R^2 = 0.97$, $p < 0.01$). Formulas pielietošanas intervāls ir kokiem ar caurmēru 0.8 – 6.3 cm (Muukkonen, Mäkipää, 2006).

Dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa virszemes biomasas noteikšanas otrās pakāpes parabolas vienādojuma regresijas koeficienti, neatkarīgi no argumenta veida, ir statistiski nozīmīgi ($p = 0.0000 - 0.003 > \alpha = 0.01$).

3.6. tabula / Table 3.6.

Dabiski mitrās un absolūti sausās baltalkšņa virszemes biomasas aprēķināšanas parabolas ($y = ax^2 + bx + c$) vienādojuma regresijas koeficientu vērtības / Coefficients of parabolic regression equation ($y = ax^2 + bx + c$) characterizing naturally wet and dry above-ground biomass of grey alder

x	a	b	c	R ²	s _x , kg
Dabiski mitrai / For naturally wet					
D	0.3427	- 0.3063	0.1636	0.984	0.0575
D ²	0.0089	0.1689	0.0469	0.986	0.0538
D ² H	- 0.0002	0.0529	0.0847	0.984	0.0578
Absolūti sausai / For absolutely dry					
D	0.1529	- 0.1408	0.0845	0.968	0.0318
D ²	0.0043	0.0715	0.0318	0.979	0.0296
D ² H	- 0.0001	0.0025	0.0485	0.973	0.0333

Apzīmējumi: x – arguments: D – koka caurmērs; D² – koka augstums; D²H – koka caurmēra kvadrāta reizinājums ar koka augstumu; a un b – regresijas vienādojuma koeficienti; c – brīvais loceklis, R² - determinācijas koeficients, s_x – regresijas standartklūda

Key: x – argument: D – the diameter of a tree; H – height of the tree; D² – square of a tree diameter; D²H; - multiplication of the square of a diameter and the height of a tree; a and b – coefficients of the regression equation; c – a free member of the regression equation, R² – coefficient of the determination, s_x – standard error of the regression

Otro paraugkopu veido 136 baltalkšņi ar caurmēru 3 – 26 cm, koka augstumu 5.35 – 22.2 m, koka stumbra tilpumu 0.0032 - 0.5200 m³, stumbra masu 2.1 – 19.6 kg, zaru masu 0.05 – 101.0 kg, dabiski mitra koka biomasu 2.4 – 490.0 kg un absolūti sausas koksnes masu 1.1 – 236.6 kg. Baltalkšņa stumbra tilpums (y) no 3.1 cm līdz 26 cm resnajiem kokiem atkarībā no caurmēra (x) aprēķināms pēc logaritmiskā regresijas vienādojuma (Liepa, 1996).

No kopējās bezlapotās virszemes biomasas paraugkopu (caurmērs no 3.1 līdz 26.0 cm) zaru masa vidēji ir 21 ± 2.1 %, variācijas koeficients 32 %. Zaru īpatsvara atšķirības starp paraugkokiem ir intervālā 4 – 32 %.

Dažādu koku sugu biomasas noteikšanai pārsvarā tiek lietoti regresijas vienādojumi ar vienu argumentu ($y = ax^b$) (Карманова, 1976; Gradeckas un Malinauskas, 2005). Pēdējā laikā regresijas vienādojumos iekļauj divus vai pat vairākus mainīgos. Satto (1970) norāda, ka tas ļauj precīzāk noteikt koka

biomasu (Карманова, 1976). Igaunijā baltalkšņa virszemes biomasas aprēķināšanai plantāciju audzēs pielietots pakāpes regresijas vienādojums, kā argumentu izmantojot koka caurmēra un augstuma reizinājums un koka caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājumu (Uri, 2001). Mainīgā lieluma koka caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājuma izmantošana nedod labākus rezultātus biomasas noteikšanai, salīdzinājumā ar koka caurmēru, jo sakarība ir mazāk cieša. Nedaudz ciešāka sakarība veidojas ar koka caurmēra kvadrātu, kas sakrīt ar Krievijā iegūtajiem secinājumiem (Усолецев, 1985). Tas nozīmē, ka koka caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums ir mazāk informatīvs biomasas noteikšanā nekā stumbra caurmērs (Микшис, 1988). Somu zinātnieki baltalkšņa stumbra biomasas noteikšanai izmanto pakāpes vienādojumu $y = ax^b$, kur par argumentu izmantots caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums (Muukkonen, Mäkipää, 2006). Tāpēc par argumentu – koka caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājumu iepriekš minētie autori atsaucas dažādi. Dotajā pētījumā arguments koka caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums ir pietiekoši informatīvs biomasas noteikšanā, jo pastāv cieša korelācija (3.7. tab.).

Šajā pētījumā dabiski mitras un absolūti sausas baltalkšņa biomasas (y) aprēķināšanai atkarībā no dažādiem argumentiem (x) pārbaudīts pakāpes regresijas vienādojums. Par argumentu izmantoti šādi mainīgie lielumi (3.7. tab.): koka caurmērs (D); koka caurmēra kvadrāts (D^2); koka caurmēra un augstuma reizinājums (DH); koka caurmēra kvadrāta un koka augstuma reizinājums (D^2H); koka šķērslaukuma un augstuma reizinājums (GH); stumbra tilpums (V). Baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas aprēķināšanai pārbaudītie argumenti, spriežot pēc determinācijas koeficientu vērtībām ($R^2 = 0.98 - 0.99$, $p < 0.05$), teorētiski ir vienlīdz labi izmantojami aprēķinu veikšanai, ja koku caurmērs ir intervālā no 3.1 – 26 cm. Dabiski mitru un absolūti sausu baltalkšņu biomasas noteikšanai izmantojamie pakāpes regresijas vienādojumi un koeficienti (3.7. tab.), neatkarīgi no argumenta veida, ir būtiski ($p = 0.0000 < \alpha = 0.01$). Tie ir izmantojami koka bezlapotās virszemes biomasas aprēķināšanai.

Dabiski mitrās un absolūti sausās baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasas pakāpes regresijas ($y = ax^b$) vienādojuma koeficientu vērtības / Coefficients of power regression equation ($y = ax^b$) characterizing naturally wet and dry above-ground biomass of the grey alder

x	A	b	R ²	s _x , (kg)
Dabiski mitrai / For naturally wet				
D	0.1336	2.5476	0.979	0.224
V	1044.4000	1.0376	0.984	0.194
D ²	0.1369	1.2672	0.979	0.224
DH	0.0212	1.5917	0.983	0.212
GH	0.0526	0.9852	0.982	0.204
D ² H	0.0415	0.9852	0.982	0.195
Absolūti sausai / For absolutely dry				
D	0.0700	2.5059	0.988	0.167
V	479.4600	1.0235	0.987	0.174
D ²	0.0700	1.2530	0.988	0.167
DH	0.0114	1.5667	0.987	0.175
GH	0.0297	0.9596	0.987	0.175
D ² H	0.0224	0.9676	0.987	0.175

Apzīmējumi: x – arguments: D – koka caurmērs; V – koka tilpums; D² – koka caurmēra kvadrāts; DH – koka caurmēra un augstuma reizinājums; GH – koka šķērslaukuma un koka augstuma reizinājums; D²H – koka caurmēra kvadrāta reizinājums ar koka augstumu; a – regresijas vienādojuma brīvais loceklis; b – regresijas koeficients; R² – determinācijas koeficients; s_x – regresijas standartklūda

Key: : x – argument: D – diameter of the tree; V – volume of the tree; D² – square of the tree diameter; DH – multiplication of the diameter and height of the tree; D²H – multiplication of the square of diameter and the height of tree; a – a free member of the regression equation; b – coefficient of the regression; R² – coefficient of the determination; s_x – structural unit of the regression

Viens no svarīgākajiem biomasas apjomu ietekmējošiem faktoriem ir koksnes blīvums. Tas ir atkarīgs no koksnes mitruma pakāpes: palielinoties koksnes mitrumam, palielinās arī koksnes blīvums un otrādi (Līpiņš un Liepa, 2007). Koksnes izmantošana kurināšanai ir cieši saistīta ar tās mitrumu. Relatīvais mitrums parāda ūdens daudzuma īpatsvaru tikko cirstā koksnē. Pētījumā noskaidrots, ka tā vidējā vērtība ir 53.5 ± 0.32 %, pazīmes standartnovirze 2.5 % un variācijas koeficients 4.7 %, ($p < 0.05$). Koksnes relatīvā mitruma svārstības starp koksnes paraugiem konstatētas intervālā 39.7 – 58.3 %.

Dabiski mitras baltalkšņa koksnes vidējais blīvums no katra stumbra četros dažādos augstumos izzāģētām ripām ir 795 ± 5.2 kg m⁻³, pazīmes standartnovirze 58.7 kg m⁻³, variācijas koeficients 7.4 % ($p < 0.05$). Vidējā koksnes blīvuma svārstības 122 paraugkiem atrodas intervālā no 670 līdz 918 kg m⁻³. M. Draudiņa un L. Beķera (1979) monogrāfijā norādīts, ka alkšņa koksnes blīvuma svārstību diapazons svaigi cirstai koksnei ir no 680 līdz

1000 kg m⁻³. Dabiski mitras koksnes blīvums dažādos attālumos no stumbra resgaļa atšķiras būtiski ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$), kā arī starp atsevišķu koku koksnes blīvumu pastāv būtiskas atšķirības ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$).

Absolūti sausas baltalkšņa koksnes vidējais blīvums ir 447 ± 3.2 kg m⁻³, pazīmes standartnovirze 35.6 kg m⁻³ un variācijas koeficients 8% ($p < 0.05$). Pētījumā 122 paraugkoku koksnes blīvuma atšķirības ir ievērojamas un atrodas intervālā $388 - 506$ kg m⁻³. Literatūrā norādīts, ka alkšņa absolūti sausas koksnes blīvuma svārstības starp kokiem ir $432 - 574$ kg m⁻³ intervālā (Vaņins, 1950) un $420 - 630$ kg m⁻³ (Draudiņš un Beķeris, 1979). Minēto autoru darbos absolūti sausas koksnes blīvuma atšķirībām tiek uzrādītas augstākas vērtības. Jāatzīmē, ka darbā nav norādīta alkšņu suga.

Pētīto baltalkšņa audžu vecums variē intervālā no 2 līdz 40 gadiem (3.8. tab.). Baltalkšņa audžu biomasas apjoms būtiski atšķiras no audzes vecuma ($p = 0.022 < \alpha = 0.05$).

3.8. tabula / Table 3.8.

**Baltalkšņa audžu virszemes biomasas apjoms bezlapotā stāvoklī /
Above-ground biomass without leaves of grey alder stands**

Vecums gados / Age in years	DMVB $\pm s_x^-$, t ha ⁻¹ / NWAB $\pm s_x^-$, t ha ⁻¹	ASVB $\pm s_x^-$, t ha ⁻¹ / ADAB $\pm s_x^-$, t ha ⁻¹
1 – 5	9.5 \pm 2.51	4.3 \pm 1.10
6 – 10	40.0 \pm 16.09	18.9 \pm 8.12
11 – 15	136.0 \pm 17.88	63.7 \pm 8.37
16 – 20	150.0 \pm 18.08	70.9 \pm 8.68
21 – 25	194.0 \pm 16.81	89.8 \pm 6.74
26 – 30	223.0 \pm 21.04	104.4 \pm 9.81

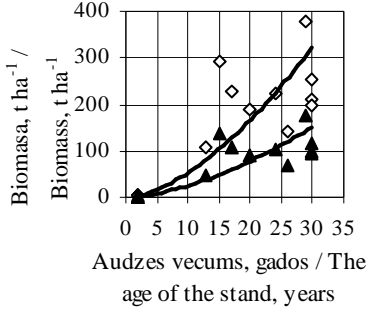
Apzīmējumi: DMVB – dabiski mitra virszemes biomasas; ASVB – absolūti sausā virszemes biomasas
Key: NWAB – naturally wet above-ground biomass; ADAB – absolutely dry above-ground biomass

Dabiski mitrās un absolūti sausās baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas apjomi t ha⁻¹ (3.4. att.) nosakāmi pēc pakāpes regresijas vienādojuma, kur kā arguments izmantots audzes vecums.

Vienādojuma regresijas koeficienti ir statistiski nozīmīgi ($p = 0.000 - 0.0110 < \alpha = 0.05$) un izmantojami baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes biomasas aprēķināšanai (3.4. att.).

◇ DMVB / NWAB ▲ DMVB / ADAB

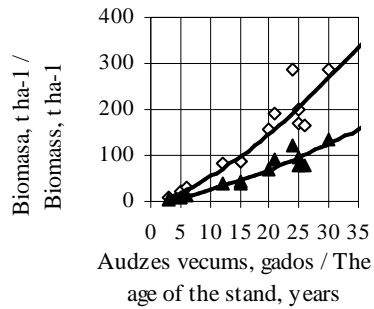
$y = 1.2019x^{1.646}$ $y = 0.5961x^{1.6287}$
 $R^2 = 0.9363$ $R^2 = 0.9374$



a

◇ DMVB / NWAB ▲ DMVB / ADAB

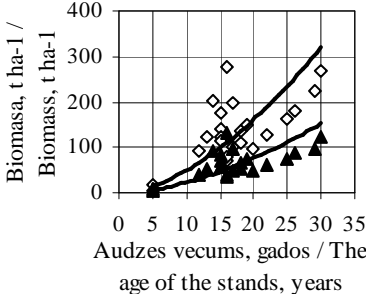
$y = 1.7753x^{1.4753}$ $y = 0.7961x^{1.4869}$
 $R^2 = 0.9742$ $R^2 = 0.9791$



b

◇ DMVB / NWAB ▲ DMVB / ADAB

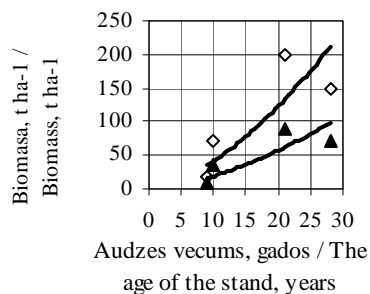
$y = 1.0347x^{1.685}$ $y = 0.455x^{1.7088}$
 $R^2 = 0.7088$ $R^2 = 0.715$



c

◇ DMVB / NWAB ▲ DMVB / ADAB

$y = 1.0586x^{1.5883}$ $y = 0.4952x^{1.5855}$
 $R^2 = 0.7073$ $R^2 = 0.6966$

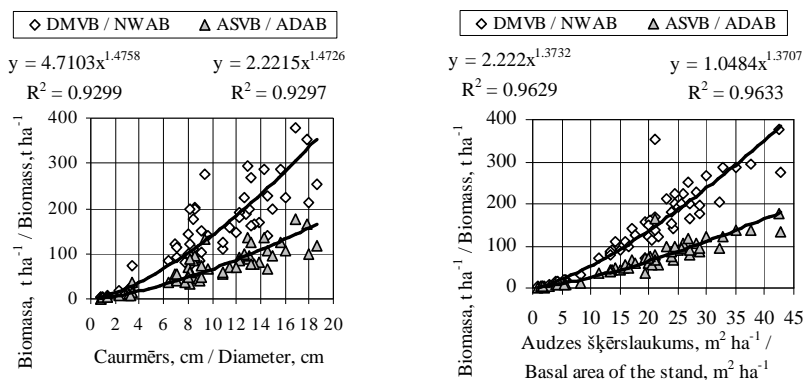


d

3.4. att. Sakarība starp audzes vecumu un baltalkšņa bezlapotās virszemes biomasu: a – 1. A bonitātes audzēs; b – 1. bonitātes audzēs; c - 2. bonitātes audzēs un d – 3. bonitātes audzēs /

Figure 3.4. Correlation between the age of the stand and above-ground biomass of grey alder: a – 1. A site index stands; b – 1st site index stands; c - 2nd site index stands and d – 3rd site index stands

Bezlapotas virszemes biomasas aprēķināšanai baltalkšņa audzēs ar pakāpes regresijas vinādojumu par argumentiem pārbaudīti audzes vidējais caurmērs un audzes šķērslaukums (3.5. att.). Izmantojot kā argumentu audzes vidējo caurmēru, var secināt, ka biomasas apjomi būtiski neatšķiras dažādu bonitāšu audzēs ($p = 0.601 > \alpha = 0.05$), bet biomasas apjomu būtiski ietekmē audzes vidējais caurmērs ($p = 0.0000 < \alpha = 0.01$). Pielietojot kā argumentu audzes šķērslaukumu, var secināt, ka biomasas apjomi būtiski neatšķiras dažādu bonitāšu audzēs ($p = 0.548 > \alpha = 0.05$), bet biomasas apjomu katrā konkrētā audzē būtiski ietekmē audzes šķērslaukums ($p = 0.0000 < \alpha = 0.01$). Ievērojami ciešāka sakarība konstatēta starp audzes šķērslaukumu (x) un audzes biomasas (y) apjomu $t\ ha^{-1}$ ($R^2 = 0.972$ un $R^2 = 0.973$, $\alpha < 0.05$). Audzes šķērslaukums vienlaicīgi sevī apvieno tā izmaiņu atkarību no audzes vecuma, kā arī koku caurmēra un skaita ietekmi.



3. 5. att. Sakarība starp: a - audzes vidējo caurmēru;

b – audzes šķērslaukumu un baltalkšņa bezlapotas virszemes biomasu /

Figure 3.5. Correlation between: a – average diameter at breast height; b – basal area of the stand and above-ground biomass without leaves of grey alder

Dabiski mitru un absolūti sausu baltalkšņu biomasas noteikšanai izmantotajiem pakāpes regresijas koeficienti (3.5. att) neatkarīgi no argumenta veida, ir būtiski ($p = 0.0000 < \alpha = 0.01$) un izmantojami koka virszemes biomasas aprēķināšanai.

Pieņemot, ka baltalkšņa audzes ir izmantojamas enerģētiskās šķeldas iegūšanai, ASVB pārrēķināta šķeldā (3.9. tab.). Tās gada apjomi pēc baltalkšņa audžu 15 gadu vecuma sanieģšanas samazinās no 25.5 līdz 21.3 ber.m³ ha⁻¹ (3.9. tab.). Tas nozīmē, ka maksimumu saniedz 15 gadu vecumā. Vidējie šķeldas gada apjomi pēc 15 – 17 gadu vecuma sasnieģšanas samazinās vidēji par 17.6 %.

**Baltalkšņa audžu enerģētiskās koksnes apjomi /
A stock of biofuel in the grey alder stands**

Audzis vecums, gados / Age of the stand, years	ASVB, t ha ⁻¹ / ADAB, t ha ⁻¹	Šķeldā, * ber.m ³ ha ⁻¹ / Wood chips* ber.m ³ ha ⁻¹	Šķeldā, ber.m ³ ha ⁻¹ gadā / Wood chips, loose. m ³ ha ⁻¹ yearly	Šķeldas apjomi pēc ciršanas un šķeldošanas zudumu atreķināšanas, ber.m ³ ha ⁻¹ / Amount of wood chips after harvesting, cummition and calculation of losses, loose.m ³ ha ⁻¹	Vidēji, ber.m ³ ha ⁻¹ gadā / Average, loose. m ³ ha ⁻¹ yearly	Vidējie ieņēmumi par šķeldu (ber.m ³ gadā, Ls ha ⁻¹ / Average income from selling of wood chips (loose. m ³) yearly, Ls ha ⁻¹
1 - 5	4.3	26	5.2	18.1	3.6	34
6 - 10	18.9	113	11.3	79.4	7.9	74
11 - 15	63.7	382	25.5	267.5	17.8	167
16 - 20	70.9	425	21.3	297.8	14.9	139
21 - 25	89.8	539	21.6	377.2	15.1	141
26 - 30	104.4	626	20.9	438.5	14.6	137

Apzīmējumi: * viena tonna absolūti sausas biomasas (sausnas) – 5.6 – 6.7 ber.m³

Key: * one ton of absolutely dry above-ground biomass – dry mass – 5.6 - 6.7 loose.m³

Meža produkcijas enerģētiskās koksnes eksporta cena 2007. gadā² par šķeldu – 9.34 Ls ber.m⁻³. Pēc baltalkšņa audžu 15 gadu sasniegšanas vidējie ieņēmumi gadā par enerģētisko koksni (šķeldu) samazinās no 167 uz 139 Ls ha⁻¹.

Secinājumi un ieteikumi praksei

Secinājumi

1. Pieaugošā kurināmā deficīta apstākļos baltalkšnis vērtējams kā ātraudzīga koku suga, kas īsā laika periodā spēj producēt ievērojamu koksnes daudzumu bionerģijas iegūšanai. Tā izpēte divdesmit pirmā gadsimta sākumā ieguvusi ievērojamu aktualitāti.
2. Pētītajās 2 līdz 40 gadus vecās baltalkšņa audzēs izlīdzinātās krājas dažādu bonitāšu audzēs atkarībā no vecuma vai šķerslaukuma apromiksē pakāpes regresijas $y = ax^b$ vienādojums. Tās dažādu bonitāšu audzēs būtiski neatšķiras.

² Meža nozares produktu ārējā tirdzniecība [tiešsaiste]: Zemkopības ministrija [skatīts 10. jūnijā 2008. g.]. Pieejams <http://www.zm.gov.lv/?sadala=289>.

- Ražīgāko audžu krājas variē diapazonā 170 – 410 m³ ha⁻¹. Lielas krājas 170 – 237 m³ ha⁻¹ veido gan audzes ar lielu koku skaitu (5500 – 6600 gab. ha⁻¹), gan ievērojami retākās, kurās koku skaits nepārsniedz 2200 gab. ha⁻¹.
- Baltalkšņa krājas vidējais pieaugums būtiski neatšķiras dažādu bonitāšu audzēs. Pēc 20 gadu vecuma krājas vidējais pieaugums samazinās.
 - Starp audzes vecumu un koku skaitu visu bonitāšu audzēs pastāv statistiski ticama pakāpes regresija $y = ax^b$.
 - Baltalkšņa audzēs koki visbiežāk grupējas 11 – 15 dabiskajās caurmēra pakāpēs. Krājas īpatsvars trijās centrālajās pakāpēs variē diapazonā no 25 līdz 100 %. Jaunākās audzēs ir lielāks dabisko caurmēra pakāpju skaits nekā vidēji vecās vai pieaugušās audzēs. Dabisko caurmēra pakāpju skaits nav atkarīgs no audzes bonitātes. Vienā trešdaļā audžu koku skaita sadalījums atbilst Tjūrīna sadalījumam, neatbilstība vairāk raksturīga līdz 15 gadiem vecajās audzēs.
 - Audzēs struktūras analizē iegūta oriģināla informācija par sakarībām starp koku skaita, šķērslaukuma un krājas kumulatīvajām frekvencēm. Šķērslaukuma kumulatīvo frekvenču vērtības par 3 – 5 % pārsniedz krājas kumulātas atbilstošos lielumus. Koku skaita kumulatīvo frekvenču vērtības ir ievērojami lielākas. Koku skaita kumulatīvo frekvenču vērtības nav atkarīgas no audzes bonitātes, vidējā caurmēra un vecumklases.
 - Vainaga relatīvais garums būtiski neatšķiras dažādu bonitāšu audzēs. Audzes vidējā caurmēra ietekmi uz vidējo relatīvo vainaga garumu dažādu vecumklašu audzēs raksturo logaritmiskais vienādojums $y = -10.78\ln(x) + 61.784$.
 - Dabiski mitras baltalkšņa koksnes blīvums pieaug virzienā no stumbra resgaļa uz galotni, tā vidējā vērtība $795 \pm 5.2 \text{ kg m}^{-3}$, variācijas amplitūda no 670 līdz 918 kg m⁻³. Absolūti sausas koksnes vidējais blīvums ir $447 \pm 3.2 \text{ kg m}^{-3}$, variācijas amplitūda no 388 līdz 506 kg m⁻³. Vidējais relatīvais baltalkšņa koksnes mitrums ir $53.5 \pm 0.32 \%$, pazīmes variācijas koeficients 4.7 %.
 - Pamatojoties uz 188 baltalkšņa paraugkoku datiem, ieteikti bezlapotās virszemes biomasas aprēķināšanas regresijas vienādojumi dabiski mitrā un absolūti sausā stāvoklī. Līdz 3 cm resnu, bezlapotu baltalkšņu virszemes biomasas aprēķināšanai dabiski mitrā stāvoklī ir izmantojams regresijas vienādojums $y = 0.3427x^2 - 0.3063x + 0.1636$, absolūti sausas biomasas aprēķināšanai $y = 0.1529x^2 - 0.1408x + 0.0845$. No 3 līdz 26 cm resnu baltalkšņu virszemes biomasas aprēķināšanai dabiski mitrā stāvoklī ir izmantojams regresijas vienādojums $y = 0.1357x^{2.5377}$, absolūti sausas biomasas - $y = 0.07x^{2.5059}$.
 - Baltalkšņa audžu bezlapotās virszemes dabiski mitrā biomasa aprēķināma, kā argumentu izmantojot šķērslaukumu, pēc pakāpes regresijas vienādojuma $y = 2.222 \cdot x^{1.3732}$, absolūti sausā biomasa - $y = 0.10484 \cdot x^{1.3707}$. Biomasas apjomi būtiski neatšķiras dažādu bonitāšu audzēs.

11. Dabiski mitrās biomasas vidējais pieaugums, lielāks par 10 t ha^{-1} , ir audzēs ar koku skaitu $5500 - 6600 \text{ gab. ha}^{-1}$ un vidējo audzes caurmēru $8 - 10 \text{ cm}$. Vairumam audžu ikgadējais dabiski mitras biomasas pieaugums ir robežās no 4 līdz 10 t ha^{-1} . Audzēs ar vidējo caurmēru, mazāku par 6 cm , biomasas vidējais pieaugums nepārsniedz 6 t ha^{-1} .

Ieteikumi praksei

1. Baltalkšņa audžu biomasas prognozēšanai ir izmantojami promocijas darbā empīriski iegūtie regresijas vienādojumi.
2. Visizdevīgāk baltalkšņa biomasu izstrādāt enerģētiskās koksnes ražošanai $15 - 17$ gadu vecumā, pirms krājas vidējā pieauguma samazināšanās. Pašreizējā tirgus situācijā, nocērtot baltalkšņa audzes šķeldas iegūšanai 15 gadu vecumā, vidējie gada ieņēmumi ir 167 Ls ha^{-1} .
3. Lai īsā laikā iegūtu lielu koksnes krāju, kas izmantojama kurināmās šķeldas iegūšanai, koku skaitam baltalkšņa audzēs $14 - 17$ gadu vecumā jāpārsniedz $3000 \text{ gab. ha}^{-1}$.
4. Turpmākajos eksperimentos jāpārbauda lielas bieztības baltalkšņa enerģētiskās koksnes plantāciju ierīkošanas lietderīgums.
5. Baltalkšņa audžu kopšanas modeļa izstrādē izmantojamas atrastās koku skaita, šķērslaukuma un krājas kumulatīvo frekvenču savstarpējās likumsakarības.

1. GENERAL OVERVIEW OF THE WORK

Actuality of the theme

Increasing human population and climate changes are factors endangering nowadays further existence of the society. Already in 1992 the United Nations Organization accepted convention “On climate change”. Countries, that accepted this convention, including Latvia, want to stimulate introduction of measures leading to reduction of total emissions at national and international level. It is necessary to support sequestration of carbon in biomass to reduce emissions of greenhouse gases. Utilization of biomass for heat production is known as an environmentally safe and economically beneficial solution, because of smaller amount of greenhouse gas emissions. Firewood, chips and wood processing residues including logs, sawdust and wood pellets are significant renewable fuels.

The increasing share of natural renewable sources in energy sector, especially in heat production, simultaneously changes the importance of grey alder in forest ecosystem. More and more often grey alder is marked as a prospective species for biomass production for energy purposes.

There are several advantages of grey alder for bioenergy production if compare to other tree species. Grey alder regenerates successfully naturally, it does not suffers significantly from animals. Grey alder is a fast growing species, it is resistant to climatic fluctuations, diseases and pests. Regeneration and maintenance of grey alder stands is relatively cheap. Grey alder can be easily utilized for production of firewood and wood chips, wood of grey alder fastly dries up. Taking in account these advantages, it would be reasonable to use wood chips produced from grey alder for bioenergy production. Bioenergy - it is a strategic resource, which is dealt with in Kyoto protocol to replace fossil fuel. Emptying of fossil resources is increasing the economical significance of the grey alder.

Research target

Evaluation of the harvestable stock of above-ground biomass of grey alder stands in relation to the structure of stands.

Research tasks

1. Evaluation of dendrometric indicators, growing process and productivity of grey alder stands;
2. Investigation of conformities of variations in stand basal area, growing stock and crown structure of grey alder;
3. Elaboration and evaluation of methods for the estimation of aboveground biomass without leaves for grey alders stands.

Scientific innovation

The recent significant researches on grey alder were implemented 40 years ago. Interest about this tree species revived only during the late 5 years, when it was established that the earlier researches were rather incomplete. Innovation of this research work covered the following issues:

- obtained new data about the developing process and productivity of natural grey alder stands representing different age groups and site indexes;
- implemented comparison of grey alder stands' data with the growing rate tables;
- elaborated empirical equation for calculation of timber volume according to measurement data of small timbers of grey alder, which can be used to calculate growing stock in young stands;
- obtained fresh information about distribution of a number of trees in normal and natural diameter classes;
- found certain conformities of changes of grey alder crowns;
- investigated conformities of cumulative frequencies in distribution of a number of trees, basal area and growing stock in grey alder stands;
- using the sample plot method, elaborated empiric equations for calculation of above-ground grey alder biomass without leaves for trees with diameter below 26 cm;
- elaborated empiric equations for estimation of above-ground grey alder biomass without leaves depending on the stand age, average diameter and basal area of the stand.

Practical value of the work

In 1988 grey alder covered only 1.1 % of state forests. Information about grey alder stands on three lands belonging to former collective farms usually was outdated because of the extensive use and was not taken into account. This situation significantly changed after privatization, when lands returned to

the former owners and their legatees. In 2006 grey alder stands covered 190.6 thousands ha or 6.8 % of the total forest area. The total growing stock of grey alder stands is 31.3 million m³. According to the area grey alder in Latvia is in the fourth place if compare to other tree species and it represents significant resources, which were underestimated until now.

In the situation of increasing deficiency and the price of fuel, the role of grey alder in the forest ecosystem should be reevaluated. The economical value of grey alder expresses it self in its ability to regenerate mainly with root shots, which leads to reduction of forest regeneration costs. Thus it is necessary to investigate in detail the economical potential of grey alder.

The lack of fuel resources led to significant increase of fuel costs even in rural areas. Significant amount of fuel is utilized in district heating plants belonging to the rural municipalities, which are switching to wood chips, instead of standard length wood-logs. Timber wood as well as branches can be utilized to produce wood chips, but it' is complicated to estimate the volume of branches. This means, that from practical reasons it's necessary to develop simple methods for estimation of the grey alder biomass, using simple and easily obtainable dendrometric indicators of the stand.

Methodology of the estimation of above-ground grey alder biomass, applicable to estimate harvestable biomass of grey alder without leaves, is elaborated within the scope of this study.

It can be assumed, that further economical prospective of this work lays in estimation of productivity and biomass of growing grey alder stands.

Structure and scope of the doctoral thesis

The first chapter of the thesis contains information about biology and distribution of *Alnus incana* (L.) Moench. as well as about regeneration and economical importance of this species. There is a summarized information about grey alder resources in Latvia, as well as compilation of findings of the earlier researches about growing, productivity and structure of grey alder stands. There is also a comparison of productivity of grey alder with other tree species and methods used in different countries to estimate biomass of grey alder. The second chapter contains information about pilot plots and methodology of the experimental work. The third chapter deals with the results of the researches about dendrometric indicators of grey alder stands. The comparison of the growing stock of the stands with tables of growing rate (further in the text AGT) elaborated by P. Mūrnieks (1963) was done to estimate productivity of unmanaged grey alder stands.

Characteristics of variation of different structural elements of grey alder stands of different ages has been done using: characteristics of variations of a number of trees; distribution of trees in normal and natural diameter classes; distribution of growing stock in different diameter classes; relationships of cumulative frequencies of the number of trees, basal area and growing stock; characteristics of structure of the trees crown.

Estimation of biomass of grey alder stands has been done using equations elaborated within the scope of this study. Characteristics of density of naturally wet and dry grey alder wood has been evaluated. The amount of naturally wet and dry above-ground biomass of the studied grey alder stands has been estimated. Structure and productivity of grey alder stands have been evaluated using the methods of descriptive statistics, correlation, regression and dispersion analysis.

The fourth chapter contains summary of findings of the author, conclusions and propositions, which were obtained in the course of studies of grey alder stands.

The thesis contains 127 pages; information is summarized into 26 tables and 58 charts, 136 sources of information have been used.

2. MATERIALS AND METHODS

Generally pure grey alder stands of up to 30 years of age are used in this study, 55 temporary sample plots (further the in text PL) in total in different Latvian districts. Materials for the studies were collected in period from 2005 to 2007. It was found during the elaboration of these thesis, that the average height of trees in some of the stands overreach growing stock the upper limit marked for the first (1) site index. Due to this finding, the lower limit for a 1 A site index had been estimated using extrapolation method. The stands, where the average height was bigger, were added to to the 1 A site index.

Experimental data from 2 - 10 year old stands had been obtained from 15 PL (25 m² each) located diagonally across the forest compartment. Diameter at breast height (diameter) of all the trees in the PLs was measured. The height of 15 - 20 trees representing the whole range of tree heights was measured to calculate height curve. Trirty PLs had been established in 2006, where height had been measured for 180 trees. Grey alder stands of 11 - 30 year age had been studied using the method of six trees PL (Kramer un Akča, 1982). Trirty six tree PLs had been established in each of the stands, where diameter of 180 trees had been measured. The sample plots were located is parallel was covering all the area of the stand. The six Free sample plots are round sample plots with variable diameter. The essence this method is the fact that only half of the

sixth Free has been taken into account. His used in calculation of the basal area, growing stock and the number of trees grey alder stand in each round sample PL using equations (2.1 – 2.6).

188 trees had been cut down to estimate the above-ground biomass without foliage. All of those trees were divided into two groups: with diameter below 3 cm and diameter from 3.1 to 26.0 cm. Naturally wet and dry mass of stems and branches were estimated separately.

Information obtained using the six tree PL method had been used to calculate dendrometric data of the stands: radius and area of each PL, stand basal area of the tree and the stand, number of trees and growing stock. The following indicators had been calculated to characterize the productivity and structure of the grey alder stand in each round sample PL using equations (2.1 – 2.6).

Statistical indicators had been calculated using biometric methods (Paura, Arhipova, 2002; Arhipova, Bāliņa, 2003) utilizing measurement data obtained in the six tree sample PLs, including radius and area of sample PL, basal area of the stand and number of trees per ha.

To characterize the productivity and structure of grey alder stands, dendrometric data obtained in round sample PLs had been used to calculate basal area of the stand, growing stock, basal area, diameter (D_g), height (H_g) and stem volume of the average tree (2.7 – 2.11).

Equalized height data obtained from the regression equation of the height curve had been used to calculate the volume of the stem. Logarithmic regression equation (2.12) had been used to calculate the tree height (y) because it usually has the highest value of the coefficient of determination (R^2) and it approximates in the best way the variation of empiric values of the tree height and diameter (2.12).

Stem volume of the grey alder had been calculated using empiric equations elaborated by Prof. I. Liepa (Liepa, 1996).

Growing stock of the stands had been compared with growing rate tables by P. Mūrnieks (1963). The term relative growing stock had been used to characterize actual standing volume, which corresponds to the relation between actual growing stock and a growing stock of the main stand of full density stands of a certain site index expressed in %. It is important to estimate the whole biomass of grey alder stands of evaluate energetic value of the grey alder stands, therefore the main standard un osoorly growing trees are not it separated. Descriptive statistics (Arhipova un Bāliņa, 2003) had been used in analysis of dendrometric characteristics of grey alder stands.

A 2 cm step in diameter is used to study the structure of the stand. The number of trees in a certain diameter class had been expressed in % as a ratio between the number of trees in a diameter class and the total number of trees. A proportion of the growing stock in different diameter classes is expressed in % of the total growing stock.

The distribution of the diameter classes changes during the lifetime of the stand, because the increment of even a few millimeters can move a tree to another diameter class. The distribution of a number of trees in different diameter classes is commonly used in practice. This distribution has one disadvantage, because during the growth of the stand, trees move to bigger diameter classes. As a result it is complicated to compare different stands. Trees in different stands of a certain age can be distributed in different number of diameter classes, depending on the from a process of differentiation of trees, natural variability of diameters of trees, implemented or not performed thinning operations. The diameter of trees can be expressed not only in cm, but also as a number of the reduction of tree. The numbers of the reduction can be calculated by dividing the diameter of a tree and an average diameter of trees in the stand (Анучин, 1960; 1977). This distribution gives an opportunity to compare stands irrespective of from their age and average diameter.

Distribution of values of cumulative frequencies of the stand basal area, growing stock and a number of trees into diameter classes estimated for each stand, has been started from the thinnest trees in the stand.

Cumulative frequencies of a number of trees in concord to the values of cumulative frequencies of the basal area and growing stock in the range between 10 and 50 % are estimated by graphical cumulative expression (Figure 2.1).

The length of the crown of grey alder had been estimated as a difference between the tree height and the starting point of the crown. Relative length of the crown has been expressed in percentage from the tree height.

A regression analysis is used to characterize the relationships between a number of trees and several factorial indicators (Arhipova un Bălița, 2003). It was verified during the study using χ^2 – chi-squared test that unthinned grey alder stands corresponds to theoretical distribution elaborated by Tjūrin (Liepa, 1974).

Regression analysis had been used to estimate naturally wet and absolutely dry above-ground grey alder biomass without foliage and to characterize variations of biomass depending on the arguments used in the analysis. These arguments had been evaluated for the trees with diameter less than 3 cm: diameter of the tree, square of diameter of the tree, product of multiplication of square of diameter of the tree and the height of the tree; but for trees with diameter more than 3 cm the following arguments were evaluated: diameter of the tree, volume of the stem, square of the diameter of the tree, the product of multiplication of diameter of the tree and the height of the tree, product of multiplication of basal area of the tree and height of the tree and the product of multiplication of the square of a diameter of the tree and the height of the tree.

Parabolic equation (2.13) and power regression equation (2.14) had been used to estimate above-ground grey alder biomass.

The density of wood had been estimated for 122 trees using ISO 3131 (1975) standard method and the moisture of wood – using EN 13183 – 1 (2002) standard method. Analysis of variance (ANOVA) is used to estimate variations of wood density in different places of the stand and between sample trees (at 1.3 m height, of $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ and $\frac{3}{4}$ of the tree height). Descriptive statistics is utilized for the moisture analysis.

Power regression equation (2.14) with stand age, average diameter and basal area as arguments had been used to analyze above-ground grey alder biomass without foliage.

The significance of the equations elaborated for the estimation of biomass of grey alder and grey alder stands had been verified using analysis of variance functions of the SPSS program package (Arhipova un Bălița, 2003).

3. RESULTS

3.1. Dendrometric evaluation of grey alder stands

Grey alder can be characterized as a fast growing and developing tree species, and in contrast to other tree species significant changes of dendrometric indicators occur rather early for this species. The number of trees in stands depends on the success of the natural regeneration process, resulting in denser or sparser stands, which differ in terms of availability of growing resources. The crowns close up in a shorter time period in sparser stands than in denser stands. This, of course, affects dendrometric indicators of trees.

Results of Pearson's coefficient of correlation of dendrometric indicators of 55 grey alder stands allow to consider the value, significance and direction of the coefficients (Liepa, 1974; Arhipova, Bălița, 2006). Insignificant negative correlation found between the site index of the stand and other dendrometric indicators: between the site index and the average volume of the grey alder stem ($r = -0.431$, $p < 0.01$), between the site index and the average diameter in the stand ($r = -0.283$, $p < 0.05$) and between the site index and the average height of a tree ($r = -0.265$, $p < 0.05$). These issues can be explained by the fact, that the research material covers wide range of ages of the grey alder stands with different inventory indicators. All of the indicators in uncultivated grey alder stands are affected by a number of trees per area unit, which differs significantly even within stands representing the same site index and age.

There is usually a significant correlation between the stand age and other inventory indicators. Within the scope of this study a positive correlation was found between the stand age and other inventory indicators: with the average height of trees ($r = 0.936$, $p < 0.01$), the average diameter ($r = 0.929$, $p < 0.01$), the average stem volume of trees ($r = 0.839$, $p < 0.01$) and the growing stock ($r = 0.815$, $p < 0.01$).

Correlation analysis without additional graphical analysis does not provide clear vision of the nature of the relationships, because in most cases the inventory indicators of the stand are not in a linear dependency from the stand age.

The average diameter and height vary insignificantly in the studied stands of an age less than 10 years. When the stands reach 15 years of age, the amplitude of variations of diameters significantly increases, reaching the range of 6 cm and persists until the stand reaches 30 years of age. The average height also has similar characteristic of variation and reaches 5 - 6 m at the age of 12 - 15. In most cases it corresponds to the findings of P. Mūrnieks (1950), that at the age of 25 the average height in the stand varies in 6 m range.

When the stands become older, the number of trees goes down ($r = -0.737$, $p < 0.01$) as a result of natural thinning (Ткаченко, 1955; Skudra, Dreimanis, 1993; Белов, 1983). Despite moderate to strong correlation, this relationship can be explained better using power regression equation (2.14) ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$, $R^2 = 0.760$). More than 10000 trees per ha^{-1} had been found only in the stands, which are younger than 10. The number of trees reaches 5150 – 6200 stems per ha^{-1} only in a few 11 – 20 year old stands.

Moderate positive correlation was found between the stand age and the stand basal area ($r = 0.672$, $p < 0.01$). The basal area depends on the number and diameter of trees. The power regression equation approximates relationship of the basal area and the stand age much better ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$; $R^2 = 0.812$), although a very wide range of variations of the basal area is found in stands representing similar age groups. The basal area of the same age stands can differ 1.9 – 3.8 times. The most significant differences are found in 12 – 16 and 28 – 30 year old stands. A different number of trees in the stand affects the value of the basal area.

A power regression equation $y = ax^b$ approximates relationship between the growing stock (y) and the stand age (x) or the basal area (x), a range of application of this equation is shown in Table 3.1.

Coefficients (Table 3.1) of the regression equation characterizing relationship between the growing stock and the stand age are statistically significant ($p = 0.0000 - 0.0022 < \alpha = 0.05$, $R^2 = 0.708 - 0.963$). A more significant correlation is found between the stand basal area and the growing stock ($p = 0.0000 - 0.006 < \alpha = 0.01$, $R^2 = 0.927 - 0.988$).

The calculated regularized growing stock depending on the basal area demonstrates, that the actual growing stock in the stands representing site indexes 1 A and 1 is nearly even, but in the stands representing site indexes 2 and 3 it is smaller. This can be explained by the fact, that the actual height of the trees in the stands representing site indexes 1 A and 1 are similar if the stand basal area does not differ, but in the stands representing poorer site indexes they are shorter.

The statistical analysis of the regression equations demonstrates, that the actual growing stock of grey alder stands does not differ significantly in stands

representing different site indexes ($p = 0.4787 > \alpha = 0.05$, $R^2 = 0.707 - 0.968$). Data analysis clearly shows, that even in a rather narrow age range the growing stock may differ several times and it is not related to the site index. The most important reason for this difference is the basal area, which depends on the diameter and the number of trees per area unit.

The growing stock of the unthinned 11 to 30 year old grey alder stands (Figure 3.1) does not depend significantly on the site index of stand ($p = 0.0649 > \alpha = 0.05$).

The growing stock in 11 - 15 years old stands representing site index 1 is by 19 % lower than in stands representing site index 2, because the site index 2 includes stands with relatively high number of trees, which together generates significant basal area and growing stock.

At least 3000 trees per ha are necessary at the age of 14 - 17 years to grow the grey alder stands with a high growing stock, in a short period of time which can be utilized for wood chip production. The possibilities for the formation of such stands should be evaluated in separate studies.

A relative growing stock of grey alder stands representing site indexes 1 A and 1 only in 5 of 24 or 21 % cases exceeds the growing stock in the stands fully stocked stands. In the other stands representing those site indexes, relative values of the growing stock ranges between 43 and 78 %. The values of the relative growing stock higher than 100 % found in 33 % cases in stands representing site indexes 2 and 3 (Figure 3.2). Extra high growing stock is characteristic of 10 - 17 year old stands with hypothetically large initial number of trees, which did not decrease significantly during the development of the stand. This corresponds to the well known forestry statement, that an intense reduction of number of trees is less typical for stands representing poorer site indexes (Ткаченко, 1955; Белов, 1983; Skudra, Dreimanis, 1993).

Relative heights exceed 100 % in 2/3 (66 %) of the studied stands. It means, that the heights in real stands are higher than in the tables of growing rate. Relative heights were higher in stands representing site index 1 A than in the tables of growing rate covering site index 1, which approves the validity of the formation of separate site index 1 A. The average height of the trees in stands that are younger than 10 years is far behind values in the tables of growing rate.

The real grey alder stands meet criteria of fully stocked stands (relative basal area 100 % or more) only in 24 % cases. The stand density coefficient 7 and more is found in 56 % cases, if compare to tables of growing rate by A. Mūrnieks (1963). Small density is characteristic of young stands representing all site indexes that are common to grey alder.

The comparison of the number of trees in the studied stands and tables of growing rate demonstrates that it is considerably less in real stands, which causes reduction of the stand basal area and the growing stock.

The average values of increment of the growing stock in the studied stands (Table 3.2) do not differ significantly in the stands representing different site indexes ($p = 0.461 > \alpha = 0.05$) as well as in different forest types ($p = 0.763 > \alpha = 0.05$).

The highest increment of the growing stock found in the *Aegopodiosa* stand representing site index 1 A and in the *Oxalidosa* stand representing site index 1, where the average yearly increment was more than $15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. It is remarked in literature, that the most productive grey alder stands grow on clay soils (Johanson, 1999), which are characteristic for *Oxalidosa* forest type.

The smallest average yearly increment found in this study is in *Myrtilloso-polytrichosa* stands representing site indexes 2 and 3. The average yearly increment in these stands at the age of 16 - 28 years is $4.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. It is remarked in literature, that the stands representing *Myrtilloso-polytrichosa* forest type are characteristic of low productivity, because the upper layer of soil usually consists of fresh woody and berry bush peat, that covers mineral podzolic sandy loam or clay layers which characterizes moderate fertility (Zälitis, 2006).

3.2. Evaluation of the structure of grey alder stands

The coefficient of variability of a number of trees does not differ significantly in stands representing different site indexes ($p = 0.736 > \alpha = 0.05$), forest types ($p = 0.618 > \alpha = 0.05$) and age classes ($p = 0.796 > \alpha = 0.05$), no significant relationship is found also between the site index and forest type ($p = 0.558 > \alpha = 0.05$), as well as between the age class and forest type ($p = 0.857 > \alpha = 0.05$), $R = 0.646$.

The coefficient of variability of on average number of trees in stands representing different site indexes ranges of 33 to 39 % (Table 3.3), the minimal values vary in range of 5 to 20 %, the maximal values - from 68 to 139 %.

The coefficient of variability in different forest types varies from 21 to 68 %: in *Oxalidosa* – 30 ± 6.3 %, in *Aegopodiosa* – 33 ± 7.3 %, in *Myrtilloso-polytrichosa* – 22 ± 4.7 %, in *Dryopteriosa* – 23 ± 9.9 % and in *Mercurialiosa mel.* – 40 ± 25.0 %. The harvesting time of an old stand is an important factor affecting a number of trees and the variability of this indicator in the new stand. It is remarked in literature (Mangalis, 2004) that it is recommended to harvest grey alder as well as other deciduous tree species in late autumn or winter, when nutrients have already moved to the underground parts of the trees, to secure the formation of even and vigorous coverage of vegetative shoots.

The number of trees significantly differs in stands representing different site indexes ($p = 0.001 < \alpha = 0.05$). The power regression equation characterizes relationship of the number of grey alder trees (y) and the stand age (x) in stands representing different site indexes (2.14).

The coefficients (Table 3.4) of the power regression equation used to determine the number of trees in stands representing different site indexes are statistically significant (for site index 1 A, 1 and 2 $p = 0.0000 < \alpha = 0.01$ and for site index 3 $p = 0.029 < \alpha = 0.05$).

A distribution of a number of trees in the diameter classes using 2 cm step not always corresponds to normal distribution in the evaluated stands (older than 10 years), although the curves of theoretical and actual distribution do not differ significantly.

A distribution of a number of trees in the diameter classes in 16 - 30 years old stands in most cases corresponds to the normal distribution. The calculated chi-squared (χ^2) value is higher than the theoretical one ($p < 0.05$). A significant asymmetry of the distribution of trees is observed in grey alder stands at the age of 20 - 30 years.

Eighty nine % of trees in 11 - 15 years old stands fits into four (4 - 10 cm) diameter classes, 89 % of trees in 16 - 20 year old stands fits into four (6 - 12 cm) diameter classes, but in 21 - 25 years old stands 76 % of trees fits into four (10 - 16 cm) diameter classes. Similar distribution of number of trees is found also in 26 - 30 years old stands, where 79 % of trees fits into five (10 - 18 cm) diameter classes.

Evaluation of 44 stands, that are younger than 10 years, within the scope of this study demonstrates, that growing stock is smaller than 1 % in two smaller diameter classes in 16 of the evaluated stands. Saw-like distribution of the growing stock in different diameter classes is a rare phenomenon. A share of the growing stock in diameter classes representing the highest values of the growing stock varies between 17 and 62 %. The higher values of the maximal growing stock are more characteristic for younger stands.

A share of the growing stock in three central diameter classes varies in wide range – from 25 to 100 %. A share of the growing stock in the three central diameter classes is less than 50 % of a total growing stock only in 6 of 44 evaluated stands. A higher share of the growing stock in the central diameter classes is characteristic for stands with smaller number of the diameter classes. There is a close negative correlation between a number of the diameter classes and a distribution of the growing stock in the three central diameter classes ($p = 0.0000 < \alpha = 0.05$, $R^2 = 0.5$). In spite of some statistically significant regularities of the distribution of the growing stock in different diameter classes, this distribution is affected by different factors, which cannot be fixed in the research process. Moreover, the interaction of different factors sometimes cannot be easily determined.

The stands of grey alder are in a special situation, because until now they were managed only in a few exceptional cases. Due to the lack of thinning there

is a significant number of small diameter trees, which contributes to insignificant share of the growing stock. The task of this study was to evaluate the relationships between the number of trees, stand basal area and growing stock. Cumulated graphical curves of these parameters were used to solve this problem. Cumulated values of frequencies of the number of trees, stand basal area and growing stock in 6 - 30 year old stands were evaluated within the scope of this study. The values of stand basal area and growing stock are insignificant in younger stands, for practical needs it is recommended to use a number of trees, which can be estimated using the sample plot method.

Square parabolic regression and the graphical curve (2.13) can be used to characterize relationships of cumulative frequencies of a number of trees (y) and cumulative frequencies of the growing stock and stand basal area, where a and b – coefficients of the regression equation and c – a free member (Figure 3.3).

The variations of cumulative frequencies of the values of a number of trees in stands representing different site indexes are less than 1.5 % and they do not have practical meaning ($p = 0.999 > \alpha = 0.05$). No significant differences found between cumulative frequencies of values of the number of trees in the age classes from II to VI (interval between age classes 5 years) ($p = 0.903 > \alpha = 0.05$), although the cumulative frequencies in the age class II are by 8 – 11 % higher than in other age classes. This can be explained with significant share of the small diameter trees in 6 - 10 years old stands, in which intense differentiation of trees takes place. The average diameter of the stand does not affect values of cumulative frequencies significantly ($p = 0.989 > \alpha = 0.05$).

Evaluation of the cumulated approve, that cumulative frequencies of the growing stock in diameter classes have the smallest values, a bit higher cumulative frequencies are characteristic for the basal area and much higher – for the number of trees. This phenomenon has regular statement, because the basal area and volume of stems of the thinnest trees are small and a significant number of measurements is necessary to obtain valid values of the cumulative frequencies of the growing stock. This phenomenon is more characteristic for stands with large number of trees in small diameter classes.

There are lots of information in literature about actual and relative distribution of a number of trees in the diameter classes, which depend on the tree species, stand age and implemented thinnings. Cumulatas of the forest inventory are used to graphically estimate diameters of sample trees for calculations of the growing stock (Sarma, 1948; Анучин, 1960, 1977). Within the scope of this study no remarks were found in the literature about relationships of values of cumulative frequencies of the number of trees, basal area and growing stock. Thus it is possible, that the information obtained in this study is original and can be used in the planning of thinning according to the number of trees, basal area un growing stock.

The shape and size of the crowns are very different. They depend on the genetical features of the species, age, growing conditions, impact and damages of the wind (Этвепк, 1974). The relative length of grey alder crowns differs significantly in stands representing different age classes ($p = 0.0000 < \alpha = 0.05$). The crowns are 1.4 - 2.1 times shorter in small diameter classes of the stands of all age classes if compare to large diameter classes. An average length of the crown is 61 ± 3.1 % in the 1 - 5 year old grey alder stands, coefficient of variability – 4 %. The length of the crown in the second age class decreases to 44 ± 4.9 % of the tree height. The average length of the crown decreases when the stands grow older. The average length of the crown in the stands representing the fifth and the sixth age classes doesnot surpass 30 – 31 %. A range of variations of the value of the coefficient of variability within one age class is 13 - 20 %, ($p < 0.05$). In the stands, where the number of trees is less than 5000 stems per ha⁻¹, the length of the crown of average tree varies in the range of 27 to 43 %. There are close correlative relationships, which can be characterized by using logarithmic equation (2.12) between the diameter of the tree (x) and the average length of the crown (y) in stands representing different age classes (Table 3.5).

It is stated in literature, that the relative length of the crown, as well as the diameter affect the volume of the crown, assimilating the surface of leaves and amount of produced biomass (Kramer, 1988).

The results of the thesis demonstrate, that the variability of the crowns of grey alder depends on the age of the stand and number of trees. Accordingly to I. Belovs (Белов, 1983) the grey alder is located in the fourth place after *Betula pendula*, *Betula pubescens* and *Populus tremula* in relation to the requirements of light. This explains, why grey alders have relatively short and sparse crowns.

3.3. Methods of estimation of above-ground biomass without leaves of grey alder and grey alder stands

One hundred and eighty eight trees with DBH 0.2 - 26.0 cm were harvested to elaborate the methodology for the estimation of the biomass of grey alder. The sampled population had been divided into two groups: trees with diameter less than 3 cm and trees with diameter more than 3 cm. The elaboration of a common empiric equation for the whole range of diameters is not possible using empiric equations proposed by SPSS program, because a deviation of the measurement data from a curve doesnot represents the actual situation.

The first population consists of 52 grey alder trees with a diameter less than 3 cm and the height of the trees from 1.35 to 7.0 m. The minimal and maximal values of the dendrometric indicators are: for the diameter 0.2 – 3.0 cm, for the tree height 1.35 – 7.0 m, for the stem volume 0.00001 – 0.00278 m³, for the stem

biomass 0.045 – 2.5 kg, for the branch biomass 0.003 – 0.193 kg, for the total above-ground biomass of a tree without foliage 0.06 – 2.58 kg and for the absolutely dry above-ground biomass of a tree 0.03 – 1.16 kg.

The volume of the stems of grey alder (y) with the diameter less than 3 cm in relation to the diameter (x) can be calculated using parabolic equation $y=0.0004x^2-0.0003x+0.00009$, ($R^2 = 0.99$, $p < 0.05$). The coefficient of determination shows significant correlation between diameter and volume of the tree.

The share of biomass of naturally wet branches in the total above-ground biomass varies in wide range, from 1.6 to 32.5 % (coefficient of variability – 45 %). The average share of branches is 15.3 ± 0.97 %.

Parabolic regression equation (2.13) with different arguments (x) is verified in this study to calculate naturally wet and absolutely dry biomass (y) of grey alder (Table 3.6). These indicators are verified as arguments (x): diameter of the tree (D), square of the diameter (D^2), product of multiplication of the square of the diameter and the height of the tree (D^2H). Significant correlation if compare to linear and logarithmic regression equations of the above-ground biomass demonstrates the second rank square parabolic equation ($R^2 = 0.97 - 0.99$, $p < 0.01$). Finnish scientists use second rank parabolic equation with the diameter of the tree as an argument to estimate the grey alder biomass. It is established, that there is significant correlation between the variables ($R^2 = 0.97$, $p < 0.01$). The diameter range for the use of this formula is 0.8 – 6.3 cm (Muukkonen, Mäkipää, 2006).

The regression coefficients of the second rank parabolic equation used to estimate naturally wet and absolutely dry grey alder biomass are statistically significant irrespective of the arguments used in the calculation ($p = 0.0000 - 0.003 > \alpha = 0.01$).

The second population consists of 136 trees with a diameter from 3 to 26 cm, the height of the trees 5.35 – 22.2 m, the volume of the stem 0.0032 - 0.5200 m³, the mass of the stem 2.1 – 419.6 kg, the mass of the branches 0.05 – 101.0 kg, the naturally wet biomass of the tree 2.4 – 490.0 kg and the absolutely dry biomass of the tree 1.1 – 236.6 kg. Logarithmic regression equation can be used to calculate the volume of grey alder stem B (y) with the diameter from 3.1 to 26 cm in relation to the diameter (x) (Liepa, 1996).

The mass of branches of sample trees (the diameter from 3.1 to 26.0 cm) in average is 21 ± 2.1 % of the above-ground biomass without foliage, the coefficient of variability 32 %. A share of the branches ranges between sample trees from 4 to 32 %.

In most cases regression equations with one argument ($y = ax^b$) are used to estimate biomass of different tree species (Карманова, 1976; Gradeckas and Malinauskas, 2005). Two or even more variables are used in regression equations in recent studies. Satto (1970) remarks, that this approach allows to estimate the wood biomass more precisely (Карманова, 1976). A power regression equation with the product of multiplication of the height and the diameter and the square of diameter and the height of tree as arguments are used in Estonia to estimate

grey alder biomass (Uri, 2001). The use of the product of multiplication of square of the diameter and the height of a tree as a variable does not provide better results in comparison to the diameter of the tree and the correlation is less significant. A bit higher correlation may be obtained if square of the diameter is used as an argument, which corresponds to the results obtained in Russia (Усольцев, 1985). This means, that the product of multiplication of square of the diameter and the height of the tree is less informative than the diameter of the tree in terms of the estimation of the biomass (Микшис, 1988). Finnish researchers use power regression equation $y = ax^b$ with the product of the multiplication of square of the diameter and the height of the tree as an argument to estimate the biomass of the stem of grey alder (Muukkonen, Mäkipää, 2006). Because of these reasons the authors mentioned above refer differently to the use the product of multiplication of square of the diameter and the height of the tree as an argument. Within the scope of this study the product of multiplication of square of the diameter and the height of the tree as an argument is informative enough, because a high correlation is found (Table 3.7).

The power regression equation with different arguments (x) is verified in this study to estimate naturally wet and absolutely dry grey alder biomass (y). The verified arguments are (Table 3.7): the diameter of the tree (D); square of the diameter of the tree (D²); the product of multiplication of the diameter and the height of tree (DH); the product of multiplication of square of the diameter and the height of tree (D²H); the product of multiplication of the basal area and the height of the tree (GH); the volume of the tree (V). Significant value of the coefficient of determination ($R^2 = 0.98 - 0.99$, $p < 0.05$) demonstrates, that all of the verified arguments can be used to estimate above-ground grey alder biomass without foliage, if the diameter of the trees ranges between 3.1 and 26 cm. The power regression equations and the coefficients (Table 3.7), that are used to determine the naturally wet and absolutely dry grey alder biomass are significant independently from an argument ($p = 0.0000 < \alpha = 0.01$). They can be used to estimate above-ground biomass without foliage.

One of the most important factors affecting a stock of biomass is wood density. It depends on moisture of the naturally wet wood: higher moisture of the wood leads to increased density and vice versa (Līpiņš un Liepa, 2007). The utilization of the wood in the heating sector is closely related to different issues of the wood moisture. Relative moisture shows the amount of water in the wood directly after harvesting. It is estimated in this study, that the average relative moisture of the wood is 53.5 ± 0.32 % with the standard deviation 2.5 % and the coefficient of variability 4.7 % ($p < 0.05$). Fluctuations of the relative moisture found between 39.7 and 58.3 %.

The average density of the wood samples taken from four places of each sample tree is 795 ± 5.2 kg m⁻³ with the standard deviation 58.7 kg m⁻³ and the coefficient of variability 7.4 % ($p < 0.05$). The fluctuations of the density of

122 trees are found between 670 and 918 kg m⁻³. It is remarked in the monographs of M. Draudiņš and L. Beķeris (1979), that the range of variations of density of the fresh grey alder wood is from 680 to 1000 kg m⁻³. The density of the fresh naturally wet wood significantly depends on the sampling place – the distance from the butt-end ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$), as well as significant variations found in the wood density of different trees ($p = 0.000 < \alpha = 0.05$).

The density of absolutely dry grey alder wood is 447 ± 3.2 kg m⁻³ with the standard deviation 35.6 kg m⁻³ and the coefficient of variability 8 % ($p < 0.05$). A variation between the wood density of the 122 sample trees is significant and ranges between 388 and 506 kg m⁻³. It is remarked in literature that the range of variations of density of grey alder wood is 432 – 574 kg m⁻³ (Vaņins, 1950) and 420 – 630 kg m⁻³ (Draudiņš and Beķeris, 1979). In the studies of the authors mentioned above there are found more significant variations of the wood density. It should be mentioned, that grey alder species are not remarked in these works.

The age of the studied grey alder stands varies from 2 to 40 years (Table 3.8.) The biomass stock in grey alder stands depends significantly on the age of the stand ($p = 0.022 < \alpha = 0.05$).

The amount of naturally wet and absolutely dry above-ground biomass without foliage in grey alder stands can be estimated using power regression equation, where the age of the stand is an argument (Figure 3.4).

Coefficients of the regression equation are statistically significant ($p = 0.000 - 0.0110 < \alpha = 0.05$) and can be used to calculate above-ground biomass without foliage in grey alder stands (Figure 3.4.).

The average diameter and basal area are verified as arguments in the calculations of above-ground biomass in grey alder stands (Figure 3.5). If average diameter is used as an argument, it can be concluded that the amount of biomass does not differ in the stands representing different site indexes ($p = 0.601 > \alpha = 0.05$), but the average basal area of the stand has significant impact on the amount of biomass ($p = 0.0000 < \alpha = 0.01$). Even more significant correlation is found between the basal area (x) and the amount of biomass (y) in t ha⁻¹ in the stand ($R^2 = 0.9629$ and $R^2 = 0.9633$, $\alpha < 0.01$). The basal area of the stand combines dependency of changes in the biomass stock from the age of the stand, as well as the impact of the number and diameter of trees.

The coefficients of the power regression (Figure 3.5.) used to estimate naturally wet and dry grey alder biomass are significant ($p = 0.0000 < \alpha = 0.01$) irrespective of the argument used in the calculation and can be used to calculate above-ground biomass of the trees.

Assuming that grey alder stands can be utilized for wood chip production, ADAB has been recalculated to wood chips (Table 3.9.). The amount of wood chips decreases from 25.5 to 21.3 loose.m³ ha⁻¹ (Table 3.9.), when grey alder stands reach 15 years of age. This means, that the maximum of productivity

corresponds to 15 years age. The average amount of wood chips reduces by 17.6 % after the stands reach 15 - 17 years of age.

An average export price of forest bioenergy products in 2007³ was 9.34 Ls loose.m⁻³ in calculation to wood chips. After grey alder stands reach 15 years of age the average income from selling wood chips reduces from 167 to 139 Ls ha⁻¹.

CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Conclusions

1. Due to growing demand of fuel grey alder should be evaluated as a fast growing tree species, which can produce significant amount of biomass for bioenergy production in a short period of time. Research of grey alder has achieved significant topicality at the beginning of the twenty first century.
2. The growing stock in the studied 20 - 40 year old grey alder stands representing different site indexes can be approximated by using the power regression equation $y = ax^b$. The growing stock does not differ significantly in stands representing different site indexes. Growing stock of the most productive stands varies between 170 and 410 m³ ha⁻¹. High growing stock is characteristic, both of stands with large number of trees (5500 - 6600 trees ha⁻¹) and stands with relatively small number of trees (up to 2200 trees ha⁻¹).
3. Annual increment of grey alder does not differ significantly in stands with different site index. After grey alder reaches 20 years of age, the average yearly increment reduces.
4. There is a statistically significant power regression between the age of the stand and the number of trees in stands representing all site indexes $y = ax^b$.
5. Trees in grey alder stands are usually grouping in 11 - 15 natural diameter classes. The growing stock in three main diameter classes varies from 25 to 100 %. Number of the natural diameter classes is bigger in younger stands than in older or overgrown stands. The number of represented diameter classes is not relevant to the site index. The distribution of a number of trees corresponds to the Tjurin distribution in one third of the evaluated stands, nonconformity is more characteristic of the stands which are younger than 15 years of age.
6. The evaluation of the stand structure provides an original information about the relationship between the cumulative frequencies of the number of trees, stand basal area and growing stock. The values of the cumulative frequencies of the basal area exceed by 3 - 5 % the relevant cumulative frequencies of the growing stock. The cumulative frequencies of a number of trees are

³Meža nozares produktu ārējā tirdzniecība [Internet resource]: Ministry of Agriculture [visited in 10.06.2008]. Available at <http://www.zm.gov.lv/?sadala=289>.

significantly higher and they are not subjected to the site index, average diameter and age class.

7. The average relative length of the crown does not differ significantly in stands representing different site indexes. The effect of an average diameter on relative length of the crown in stands representing different age groups is characterized by a logarithmic equation $y = -10.78\ln(x) + 61.784$.
8. A density of naturally wet wood of grey alder increases in the direction to the top of the tree, the average density is $795 \pm 5.2 \text{ kg m}^{-3}$, the amplitude of variations is $670 - 918 \text{ kg m}^{-3}$. The average density of absolutely dry wood is $447 \pm 3.2 \text{ kg m}^{-3}$, the amplitude of variations is $388 - 506 \text{ kg m}^{-3}$. An average relative moisture of wood of grey alder is $53.5 \pm 0.32 \%$, the coefficient of variability of this property is 4.7% .
9. On the basis of measurement data of 188 trees, the regression equations are recommended to estimate naturally wet and dry above-ground grey alder biomass without foliage. A regression equation $y = 0.3427x^2 - 0.3063x + 0.1636$, is recommended to estimate naturally wet above-ground grey alder biomass without foliage for trees with diameter less than 3 cm, and a regression equation $y = 0.1529x^2 - 0.1408x + 0.0845$, is recommended for the estimation of absolutely dry biomass. It is recommended to use regression equation $y = 0.1357x^{2.5377}$, to estimate the naturally wet grey alder above-ground biomass of trees with diameter from 3 to 26 cm and to estimate absolutely dry biomass – $y = 0.07x^{2.5059}$.
10. The naturally wet grey alder above-ground biomass without foliage can be estimated using basal area as an argument in the power regression equation $y = 2.222 \cdot x^{1.3732}$, the absolutely dry biomass – using power regression equation $y = 0.10484 \cdot x^{1.3707}$. The amount of biomass does not differ significantly in stands representing different site indexes.
11. The annual increment of naturally wet grey alder above-ground biomass is higher by 10 t ha^{-1} in stands with a number of trees $5500 - 6600 \text{ per ha}^{-1}$ and an average diameter of trees in the stand $8 - 10 \text{ cm}$. The annual increment of naturally wet grey alder above-ground biomass in most cases varies between 4 and 10 t ha^{-1} . An average increment of the above-ground biomass is less than 6 t ha^{-1} in stands with average diameter less than 6 cm .

Recommendations

1. Regression equations evaluated in this work can be used to estimate the biomass of grey alder stands.
2. Harvesting of grey alder stands for bioenergy is the most beneficial at the age of $15 - 17$ years age, before reduction of annual increment. In the current market situation harvesting of grey alder stand at the age of 15 years will result in 167 Ls ha^{-1} yearly income.
3. The number of trees at the age of $14 - 17$ years should be at least 3000 per ha to obtain a big growing stock in a possible short period of time.

4. It is necessary to evaluate the potential of high density grey alder plantations for bioenergy production.
5. The correlations of cumulative frequencies of a number of trees, the stand basal area and growing stock can be used in the elaboration of grey alder forest management models.