



Latvijas Lauksaimniecības Universitāte
Latvia University of Agriculture



Latvijas Valsts mežzinātnes institūts “SILAVA”
Latvia State Forest Research Institute “SILAVA”



ANDIS LAZDIŅŠ

**DABISKI APMEŽOJUŠOS LAUKSAIMNIECĪBAS
ZEMJU EFEKTĪVAS APSAIMNIEKOŠANAS
NOSACĪJUMI**

**PRECONDITIONS FOR EFFICIENT
MANAGEMENT OF NATURALLY AFFORESTED
FARMLANDS**

Promocijas darba KOPSAVILKUMS

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

*SUMMARY of the Doctoral thesis for the scientific degree Dr.
in Forest Ecology and Silviculture*

Jelgava 2011

Promocijas darba zinātniskais vadītājs:
The Academic adviser:

Imants Liepa
Dr.habil.biol.

Pētnieciskais darbs veikts Latvijas Valsts Mežzinātnes institūtā "Silava" laika posmā no 2005. līdz 2010. gadam. Doktora studiju laiks Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Meža fakultātē no 2007. līdz 2010. gadam.

The research has been carried out at the Latvia State Forestry Research Institute 'Silava' between 2005 and 2010. The doctoral studies at Forest Faculty of the Latvia University of Agriculture have been performed between 2007 and 2010.

Oficiālie recenzenti/ Official reviewers:

Dr.silv. **Andrejs Dreimanis** Lauksaimniecības universitātes profesoru, Latvijas Zinātnes padomes ekspertu/ *Professor at Latvia University of Agriculture, expert of the Scientific Board of Latvia*

Dr.silv. **Gunta Bāra**, Latvijas Republikas Zemkopības ministrijas Lauku attīstības fondu atbalsta nodaļas vecākā referente/ *Senior Officer in Department of support for rural development funds of Ministry of Agriculture of Republic of Latvia*

Dr. sc. **Kestutis Armolaitis** Lietuvas Lauksaimniecības un mežsaimniecības pētniecības centra vadošais pētnieks/ *Senior Researcher of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry*

Darba izstrāde veikta ar Eiropas Sociālā fonda granta un Eiropas reģionālās attīstības fonda atbalstu.
The doctoral Thesis has been elaborated with financial support of European Social Fund and European regional development fund



Ieguldījums tavā nākotnē



Eiropas Savienība

Promocijas darba aizstāvēšana notiks LLU Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozares promocijas padomes atklātā sēdē 2011.gada 26.augustā plkst. 10:30, Jelgavā, Dobeles ielā 41, sēžu zālē.

The promotion paper will be presented for public criticism in an open session of the Promotion Council of the Forest Sciences and Material sciences of Latvia University of Agriculture held on August 26, 2011 at 10:30 in the conference hall, Dobele street 41, Jelgava

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Fundamentālajā bibliotēkā Lielā ielā 2, Jelgavā vai <http://llu.fb.llu.lv/llu-theses.htm>. Atsaukmes sūstīt Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Mežzinātņu un Materiālzinātņu nozaru promocijas padomes sekretāram Latvijas Lauksaimniecības Universitātes profesoram Dr. sc. ing. A. Drēskam Akadēmijas ielā 11, Jelgava, Latvija, LV-3001 vai mfdek@llu.lv

The thesis and resume are available at the Fundamental Library of Latvia University of Agriculture, Liela street 2, Jelgava, or <http://llu.fb.llu.lv/llu-theses.htm>.

References welcome to be sent to professor, Dr.sc.ing. A.Drēška, the Secretary of the Promotion Council of the Forest Sciences and Material sciences of Latvia University of Agriculture, Akademija street 11, Jelgava, LV-3001, Latvia or mfdek@llu.lv

SATURS

1.Darba vispārējs raksturojums.....	5
1.1.Tēmas aktualitāte.....	5
1.2.Promocijas darbā veiktā pētījuma mērķis.....	7
1.3.Promocijas darba uzdevumi.....	7
1.4.Darba novitāte, zinātniskā un praktiskā nozīmība.....	8
1.5.Zinātniskā darba aprobācija.....	8
1.6.Promocijas darba struktūra un apjoms.....	10
2.Pētījuma materiāls un metodika.....	11
2.1.Meža statistiskās inventarizācijas datu analīze.....	11
2.2.Parauglaukumu ierīkošana un uzmērīšana.....	12
2.3.Darba ražīguma un pašizmaksas pētījumi.....	13
2.4.Biomasā piesaistītā CO ₂ uzkrājuma aprēķins.....	14
3.Rezultāti un diskusija.....	15
3.1.Dabiski apmežojušās lauksaimniecības zemes Latvijā.....	15
3.1.1.Enerģētiskās koksnes resursu novērtējums DALZ platībās.....	19
3.1.2.Dažādu koku sugu virszemes biomasas aprēķinu vienādojumi.....	20
3.2.Lēmumu pieņemšanas atbalsta modelis saimnieciskajai darbībai.....	22
3.2.1.Ražīguma un pašizmaksas pētījumu rezultāti.....	22
3.2.2.Lēmuma pieņemšanas modeļa struktūra.....	24
3.3.Dažādu apsaimniekošanas alternatīvu īstenošanas tautsaimniecisks izvērtējums.....	26
3.3.1.Biokurināmā piegāžu potenciāls.....	26
3.3.2.Oglekļa piesaistes potenciāls augu biomasā.....	28
4.Secinājumi.....	29

TABLE OF CONTENTS

1.General description.....	32
1.1.Topicality of the theme.....	32
1.2.Aim of the thesis.....	34
1.3.Research objectives.....	35
1.4.Practical significance and scientific novelty.....	35
1.5.Approbation of research results.....	36
1.6.Structure and coverage of thesis.....	36
2.Material and methods.....	37
2.1.Evaluation of the National statistical forest inventory data.....	37
2.2.Establishment and measurement of sample plots.....	38
2.3.Productivity studies.....	39
2.4.Estimation of CO ₂ stored in biomass.....	40
3.Results.....	41
3.1.Naturally afforested farmlands in Latvia.....	41
3.1.1.Estimation of solid biofuel potential in NAF areas.....	42
3.1.2.Biomass equations of the most common tree species.....	44
3.2.Forest management decision support model.....	44
3.2.1.Results of productivity studies.....	44
3.2.2.Structure of the decision support model.....	45
3.3.Economic evaluation of different alternatives of forest management.....	47
3.3.1.Potential of solid biofuel deliveries.....	47
3.3.2.Potential of carbon removals in biomass.....	48
4.Conclusions.....	49

1. DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

1.1. Tēmas aktualitāte

Latvijas teritorijas kopplatība saskaņā ar Valsts zemes dienesta datiem ir 6.5 milj. ha, tajā skaitā 2.5 milj. ha pēc zemes lietošanas veida ir lauksaimniecībā izmantojamā zeme, 2.9 milj. ha – meži, 0.1 milj. ha – krūmāji, 0.3 milj. ha – purvi, 0.2 milj. ha ir zem ūdeņiem, bet pārējo zemju (ceļi, pagalmi u.c.) platība ir 0.5 milj. ha. Samazinoties lauksaimnieciskās ražošanas apjomam, lielas agrāk lauksaimniecībā izmantojamo zemju platības vairs netika apstrādātas un dabiski apmežojās, veidojot saimnieciski mazvērtīgas mežaudzes un krūmājus.

Meža statistiskās inventarizācijas (MSI) uzsākšana 2004. gadā pirmo reizi ļāva statistiski ticami novērtēt faktisko dabiski apmežojušos lauksaimniecības zemju (DALZ) platību un koksnes resursus. MSI dati liecina, ka kopējā DALZ platība Latvijā ir 12 % no lauksaimniecības zemju platības 2008. gadā. Jāņem vērā, ka būtiska ir datu interpretācija – vai DALZ kategorijā iekļauj visas zemes, kas atbilst Meža likumā dotajai meža definīcijai, vai atsevišķi nodala zemes, kas atbilst ieaudzētu vai atjaunotu kultūru vai plantāciju mežu kritērijiem. Šajā darbā par DALZ uzskata visas zemes, kas atbilst meža likuma mežaudzes definīcijai. Saskaņā ar MSI datiem DALZ raksturīga liela sugu sastāva, vecuma struktūras un biežības dažādība. Kompleksa DALZ īpašību un apsaimniekošanas alternatīvu analīze, balstoties uz faktiskajiem zemes izmantošanas datiem un DALZ raksturojumu, līdž šim nav veikta.

Saglabājoties esošajam stāvoklim, DALZ platībās veidosies saimnieciski mazvērtīgas mežaudzes vai krūmāji. Turpretim, atbilstošu mežsaimniecisko pasākumu pielietošana (sastāva kopšana, jaunaudžu papildināšana, sugu sastāva nomaiņa) nodrošinās produktīvu un kvalitatīvu mežaudžu izveidošanos, kas būtiski palielinās kokmateriālu un enerģētiskās koksnes resursus pēc 40...60 gadiem, kad šīs mežaudzes sasniegs galvenās cirtes vecumu. Zviedrijas mežu pētniecības institūta Skogforsk un Latvijas Valsts mežzinātnes institūta “Silava” (LVMI Silava) sadarbībā ar AS “Latvijas valsts meži” (LVM) 2005. gadā veiktajos pētījumos konstatēts, ka vidējā mežizstrādes atlieku un malkas sortimenta krāja kailcirtēs mistrotās audzēs ir aptuveni 80 m³ ha⁻¹, tātad kopējā biokurināmā krāja aptuveni 298 tūkst. ha DALZ platību pēc 40...60 gadiem būs ap 24 milj. m³. Koksnes patēriņš centralizētajā siltumapgādē un ražošanas procesu nodrošināšanai Latvijā 2008. gadā bija 1.8 milj. m³. Tas nozīmē, ka, saglabājoties kurināmā patēriņam esošajā apjomā, DALZ varēs nodrošināt enerģētiskās koksnes piegādes, kas atbilst patreizējam 13 gadu patēriņam. Apmēram tikpat daudz biokurināmā varēs sagatavot sastāva un krājas kopšanas cirtēs un veicot celmu izstrādi.

Alternatīvs risinājums mazvērtīgo, ar kokiem un krūmiem aizaugušo lauksaimniecības zemju apsaimniekošanai ir esošā apauguma novākšana un daudzgadīgo enerģētisko augu (īscirtmeta enerģētiskās koksnes plantāciju vai stiebrzāļu sējumu) ierīkošana biokurināmā ražošanai. Šajā gadījumā intensīvi kultivētās platībās enerģētiskās biomasas pieaugums būs 8...10 tonnas gadā vai 95...178 milj. tonnas (238...445 milj. m³) 298 tūkst. ha platībā 40...60 gadu laikā. Tomēr īscirtmeta enerģētiskās koksnes plantācijās netiek sagatavoti apaļkoku sortimenti, kas mezsaimniecībā rada lielāko daļu pievienotās vērtības un nodrošina līdzekļus meža infrastruktūras uzturēšanai. Bez tam Latvijā netiek saražots pietiekoši daudz organisko atlieku (notekūdeņu dūņu un kūtsmēslu), kas nepieciešamas tik lielas plantāciju platības mēslošanai. Tāpēc īscirtmeta plantācijas ierīkojamas tikai lielās vienlaidus platībās netālu no mēslojuma ražošanas un kurināmā patēriņa vietas.

Ne mazāks svarīgs ir DALZ potenciāls CO₂ piesaistes nodrošināšanā, kompensējot emisijas, ko rada atmežošana, būvējot ceļus un citus infrastruktūras objektus.

Latvijai ir bagāta zinātnisko datu bāze un praktiskā pieredze mākslīgajā meža atjaunošanā un lauksaimniecības zemju apmežošana. Meža ieaudzēšanas apjomu līdz šim visvairāk ietekmējusi subsīdiju pieejamība. Līdz 2009. gadam nav atbalstīta kopšana un audžu rekonstrukcija DALZ, lai gan to platība ir aptuveni 25 reizes lielāka, nekā pēdējo 20 gadu laikā mākslīgi ieaudzēto mežaudžu platība.

Meža ieaudzēšanu reglamentē virkne normatīvo dokumentu, taču galvenais ir pašvaldības teritorijas plānojums. Ja teritorijas plānojumā DALZ platība iezīmēta kā lauksaimniecībā izmantojama zeme, šīs teritorijas transformācija iespējama, veicot labojumus teritorijas plānojumā. Maldīgu priekšstatu par meža resursiem lauksaimniecības zemēs sniedz atšķirības mežaudžu definīcijā Meža likumā un kritēriji mežaudzes atzīšanai par ieaudzētu MK Meža ieaudzēšanas un plantāciju mežu noteikumos. Mežaudzes definīcijai likuma izpratnē atbilst audzes ar līdz 10 reizes mazāku koku skaitu, nekā tiek prasīts noteikumos, tāpēc saimnieciskās darbības plānošanai ir svarīgi nodalīt jaunaudzes, kas atbilst Meža ieaudzēšanas un plantāciju mežu noteikumu prasībām, un vecākas audzes, kurās šķērslaukums vai koku skaits ir lielāks par kritisko atbilstoši Noteikumiem par koku ciršanu meža zemēs.

Meža statistiskās inventarizācijas ieviešana ļauj iegūt objektīvu priekšstatu par apmežojušos zemju platību un un apauguma īpašībām. Punktveida objektu (monitoringa parauglaukumi) un poligonu (atsevišķi meža nogabali) raksturošanai jaunas iespējas paver tālizpēte, kas ļauj samazināt izmaksas apmežojušos zemju apsaimniekošanas plānošanai, sniedzot informāciju par apmežojušos poligonu platību, apauguma struktūru un novietojumu attiecībā pret citiem ainavas elementiem un infrastruktūras objektiem.

Plaši pētījumi par jaunaudžu kopšanas mehanizācijas risinājumiem biokurināmā sagatavošanā no sikkoksnes veikti Ziemeļvalstīs. Latvijā veiktajos pētījumos iegūti mazāki iekārtu darba ražīguma rādītāji, kas var būt saistīts ar operatoru pieredzes trūkumu un nepiemērotu mašīnu izvēli eksperimentiem. Veselu koku izstrāde un pievešana pielietojama

audzēs, kur koku augstums ir 6...12 m. Iespējams, ka lielāku koku izstrāde ļautu palielināt tehnoloģijas darba ražīgumu, bet zinātnisku pētījumu par to nav.

Daļēji mehānizētu jaunaudzū kopšanu joslās praktizē Kanādā, kur ir lieli vienlaidus meža masīvi. Eiropas ziemeļos šī tehnoloģija netiek izmantota. Arī Latvijā, ņemot vērā nelielo meža nogabalu platību, daļēji mehānizēta kopšana joslās nav uzskatāma par perspektīvu. Izņēmums ir biokurināmā sagatavošana no joslās izzāģētās biomasas, piemēram, hibrīdās apsēs plantācijās, taču apmežojušos zemju kontekstā, ņemot vērā mazo biomasas koncentrāciju, šāds risinājums darbā tālāk nav izskatīts.

Trūkst pētījumu par plāvēju – smalcinātāju pielietošanu apauguma novākšanā, vienlaicīgi gatavojot biokurināmo. Šādas iekārtas vairumā gadījumu eksistē tikai testējamu prototipu veidā un tehnoloģijas strauji attīstās gan darba ražīguma, gan iekārtu izturības palielināšanas virzienā.

Jaunaudzū kopšana ar harvesteriem – saiņotājiem ļauj palielināt papīrmalkas un biokurināmā saiņu sagatavošanas darba ražīgumu jaunaudzēs. Tehnoloģija vērsta, galvenokārt, uz papīrmalkas sagatavošanas izmaksu samazināšanu un pagaidām nespēj konkurēt ar veselu koku izstrādi, kā biokurināmā sagatavošanas tehnoloģija. Latvijā nav papīrmalkas pārstrādātāju, kas gatavi izmantot vai eksportēt papīrmalkas saiņus, tāpēc vērtēt šīs tehnoloģijas pielietošanas iespējas DALZ apsaimniekošanā ir pārāgi.

Priekšnosacījumi organizētai un mērķtiecīgai DALZ apsaimniekošanai valsts mērogā ir DALZ platību sadalījuma apzināšana pēc augšanas apstākļiem, valdošās sugas, vecuma, koku skaita, bonitātes, platības, īpašuma veida, atrašanās vietas un citiem saimnieciski nozīmīgiem kritērijiem; saimnieciskās darbības lēmumu pieņemšanas atbalsta sistēma un dažādu DALZ apsaimniekošanas alternatīvu ekonomiskais izvērtējums.

1.2. Promocijas darbā veiktā pētījuma mērķis

Darba zinātniskais mērķis ir izstrādāt priekšnosacījumus ekonomiski efektīvai DALZ apsaimniekošanai, tajā skaitā apzināt DALZ, novērtēt potenciālos koksnes resursus un izstrādāt metodisko bāzi to apsaimniekošanai.

1.3. Promocijas darba uzdevumi

1. DALZ apzināšana Latvijā, tajā skaitā platību sadalījums pēc sugas, vecuma, koku skaita, bonitātes, platības, īpašuma veida, atrašanās vietas un citiem saimnieciski nozīmīgiem kritērijiem;
2. saimnieciskās darbības lēmumu pieņemšanas modeļa izstrādāšana DALZ apsaimniekošanai atsevišķas mežaudzes mērogā;
3. dažādu DALZ apsaimniekošanas alternatīvu ekonomiskais izvērtējums.

1.4. Darba novitāte, zinātniskā un praktiskā nozīmība

Darba novitāti nosaka MSI datu izmantošana DALZ raksturošanai Latvijā, tajā skaitā ANO Vispārējās konvencijas par klimata pārmaiņām un tās Kioto protokola kontekstā; un dažādu mežizstrādes un meža kopšanas tehnisko risinājumu pielietošanas iespēju analīze, vērtējot biokurināmā resursus, to izmaksas un kvalitatīvu mežaudžu ieaudzēšanai DALZ platībās nepieciešamos ieguldījumus. Pētījuma ietvaros izstrādāta DALZ klasifikācijas sistēma un lēmuma pieņemšanas atbalsta modelis, kurā apvienota mežaudžu taksācijas datu un dažādu tehnisko risinājumu pielietošanas iespēju analīze. Promocijas darbs ir pirmais šāda veida pētījums Latvijā.

Promocijas darbā noskaidrots, ka DALZ platība Latvijā ir 298 tūkst. ha. Visintensīvāk dabiskā apmežošanās notikusi valsts austrumu daļā; piemēram, bijušajā Ludzas rajonā apmežojušies 27.4 % no 2008. gadā reģistrētās lauksaimniecības zemju platības. Kopējā krāja DALZ platībās ir 0.5 % no krājas meža zemēs. Veicot atbilstošas mežsaimnieciskās darbības, DALZ īpatsvaru Latvijas meža bilancē var palielināt līdz 10 %. Vērtējot saimnieciskās darbības veikšanas iespējas, konstatēts, ka 81 % DALZ ekonomiski izdevīgākais risinājums ir esošā apauguma novākšana un jaunu meža kultūru ieaudzēšana. Tikai 11 % platību ir izdevīgāk izkopt un saglabāt esošās audzes. Patreizējais biokurināmā ražošanas potenciāls DALZ platībās atbilst 7.7 milj. MWh, bet kopējās izmaksas apmežojušās platības transformētu augstvērtīgās, mežsaimniecības normatīvu prasībām atbilstošās audzēs, izmantojot ekonomiski izdevīgākos risinājumus, ir 166 milj. Ls vai vidēji 554 Ls ha⁻¹. Oglekļa piesaistes potenciāls augu biomasā DALZ platībās atbilst 10 % no patreizējās meža zemju radītās neto CO₂ piesaistes.

1.5. Zinātniskā darba aprobācija

Zinātniskās publikācijas par darba tēmu:

1. Daugaviete, M., Liepiņš, K., Lazdiņš, A., Daugavietis, O., Žvīgurs, K., 2009. Baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) audžu atjaunošanās gaita un virszemes biomasas uzkrāšanās jaunaudžu vecuma audzēs. *LLU Raksti* 23 (318), 78.-91. lpp.
2. Lazdāns, V., Lazdiņš, A., Zimelis, A., 2009. Biokurināmā sagatavošanas tehnoloģija no mežizstrādes atliekām kailcirtes izstrādāšanā egļu mežaudzēs. *Mežzinātne* 19(52)2009: 109.-121. lpp.

Starptautisko konferenču, kongresu, semināru, darba sanāksmju recenzēto referātu pilnu tekstu izdevumos:

1. Lazdiņš, A., Lazdiņa, D., Liepa, I., 2010. Characterization of naturally afforested farmlands in Latvia, in: *Annual 16th International Scientific Conference Proceedings*. Presented at the Research for Rural Development 2010, Latvia University of Agriculture, Jelgava, p. 176-183.

2. Kalnacs, J., Lazdinsh, A., 2010. Biomass for energy production characteristics, amount and distribution in Latvia. In: *Proceedings of International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'10)*, European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality (EA4EPQ), p. 6.
3. Miezīte, O., Lazdiņš, A., 2009. Grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench) stands for bioenergy – resources and technologies, in: *Proceedings of International Scientific Conference Youth Seeks Progress – 2009*, Lithuanian University of Agriculture, p. 160-164.
4. Lazdiņš, A., Thor, M., 2009. Bioenergy from pre-commercial thinning, forest infrastructure and undergrowth – resources, productivity and costs, in: *Annual 15th International Scientific Conference Proceedings*. Presented at the Research for Rural Development 2009, Latvia University of Agriculture, Jelgava, p. 147-154.
5. Lazdiņš, A., Lazdiņa, D., Liepiņš, K., Miezīte, O., 2008. Forest Biofuel from Abandoned Agricultural Lands - Resources and Management Opportunities, in: *Proceedings of the 5th UEAA General Assembly and the Associated Workshop*. Presented at the Renewable Energy Resources, Production and Technologies, Zinātne, Rīga, p. 130-137.
6. Liepins, K., Lazdins, A., Daugaviete, M., Miezīte, O., 2008. Naturally afforested agricultural lands in Latvia – assessment of available timber resources and potential productivity, in: *Proceedings of The 7th International Conference ENVIRONMENTAL ENGINEERING*. Faculty of Environmental Engineering Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio ave 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania, p. 194-200.
7. Lazdiņš A., Daugaviete M., Miezīte O., Lazdiņa D., Liepiņš K. Biofuel from reforested arable lands – resources, technologies and costs, in: *Proceedings of Third International Scientific Conference Rural Development 2007*, p. 271.-277.

Dalība konferencēs:

1. Research for Rural Development 2010, The Annual 16th International Scientific Conference, Jelgava, 19.05.2010, referāts “*Characterization of naturally afforested farmlands in Latvia*”.
2. Eighth International Scientific Conference Engineering for rural development, Jelgava, 28.05.2009, referāts “*Productivity and costs of stump harvesting for bioenergy production in Latvian conditions*”.
3. SNS Growth and Yield Researchers Meeting, Kokkola, Finland 08.06.2009, referāts “*Biofuel production technologies in young stands, forest infrastructure, from undergrowth trees and stumps - Results of Latvian case studies*”.

4. Research for Rural Development 2009, The Annual 15th International Scientific Conference, Jelgava, 20.05.2009, referāts “*Bioenergy from pre-commercial thinning, forest infrastructure and undergrowth – resources, productivity and costs*”.
5. Latvijas Lauksaimniecības un meža zinātņu akadēmija un Latvijas Lauksaimniecības Universitātes Meža fakultāte, zinātniski praktiskā konference “Zinātne un prakse nozares attīstībai”, Jelgava, 16.04.2008, referāts “*Enerģētiskās koksnes sagatavošanas tehnoloģijas meža infrastruktūras objektu kopšanā un platību atcelmošanā pēc kailcirtēm*”.
6. The 5th UEAA General Assembly and the Associated Workshop, Riga, 28.05.2008, referāts “*Forest biofuel from Abandoned Agricultural lands – resources and management Opportunities*”.
7. The 7th International Conference “Environmental Engineering”, Lithuania, Vilnius, 22.05.2008, referāts “*Naturally afforested agricultural lands in Latvia – assessment of available timber resources and potential productivity*”.
8. The Nordic – Baltic conference on Forest Operations at the Faculty of Life Sciences, Copenhagen, Denmark, 25.09.2008, stenda referāts “*Biofuel potential from naturally afforested arable lands in Latvia*”.
9. The 3rd International Scientific Conference Rural Development 2007, Jelgava, 08.11.2007, referāts “*Biofuel from reforested arable lands – resources, technologies and costs*”.

1.6. Promocijas darba struktūra un apjoms

Promocijas darba struktūra pakārtota darba pētnieciskajiem uzdevumiem. Darbs sastāv no trīs nodaļām. Pirmajā nodaļā 6 apakšnodaļās apskatīti citu autoru iepriekšējos gados veiktie pētījumi, kā arī sagatavots nacionālo normatīvu apkopojums; tajā skaitā analizēti neizmantojamo lauksaimniecības zemju resursi, raksturota lauksaimniecības zemju apmežošanas pieredze Latvijā, sniegts ieskats meža statistiskās inventarizācijas vēsturē, jaunaudžu kopšanas mežsaimnieciskajos un tehniskajos risinājumos, kā arī raksturota DALZ potenciālā loma valsts starptautisko saistību izpildē ietekmes uz klimata izmaiņām mazināšanai. Otrās nodaļas 4. apakšnodaļās raksturota pētījuma metodika; tajā skaitā meža statistiskās inventarizācijas datu analīzes metodika, parauglaukumu ierīkošanas un uzmērīšanas, darba ražīguma un pašizmaksas pētījumu metodika un biomasā piesaistītā CO₂ novērtēšanas metodika Kioto protokola kontekstā un meža aprites griezumā. Trešās nodaļas 4 apakšnodaļās analizēti pētījuma rezultāti. Pirmajā apakšnodaļā sniegts DALZ raksturojums Latvijā, tajā skaitā galvenie DALZ raksturojošie rādītāji, mežaudžu sekundāro parametru vidējās vērtības, enerģētiskās koksnes resursu novērtējums DALZ platībās un saimnieciski nozīmīgāko koku sugu virszemes biomasas aprēķinu vienādojumu izstrādāšanas rezultāti. Otrajā apakšnodaļā raksturots pētījuma ietvaros izveidotais lēmumu pieņemšanas atbalsta

modelis saimnieciskajai darbībai DALZ platībās, tajā skaitā darba ražīguma un pašizmaksas pētījumu rezultāti un lēmuma pieņemšanas modeļa struktūra. Modelis izstrādāts ERAF finansētā projekta Nr. 2010/0268/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/118 ietvaros. Trešajā apakšnodaļā analizētas DALZ apsaimniekošanas alternatīvas (mežaudžu koššana un papildināšana un apauguma novākšana un meža mākslīgā ieaudzēšana). Ceturtajā apakšnodaļā sniegts dažādu apsaimniekošanas alternatīvu īstenošanas tautsaimniecisks izvērtējums, tajā skaitā biokurināmā piegāžu potenciāls un CO₂ piesaistes potenciāls augu biomasā Kioto protokola kontekstā un ilgtermiņā – meža aprites ciklā.

Promocijas darba apjoms 113 lapaspuses; informācija apkopota 52 tabulās un 36 attēlos; izmantoti 114 literatūras avoti. Darba noslēgumā formulēti 8 secinājumi.

2. PĒTĪJUMA MATERIĀLS UN METODIKA

2.1. Meža statistiskās inventarizācijas datu analīze

DALZ platību novērtējums veikts 2004...2008. gados ierīkotajos MSI parauglaukumos – kopā 1471 objekts, kas atbilst 62. un 64. zemju kategorijai (mežs lauksaimniecības zemē un aizaugusi lauksaimniecības zeme). Viena parauglaukuma reprezentētā platība aprēķināta, izmantojot LVMI Silava 2010. gadā īstenotā projekta par Kioto protokola 3.3 un 3.4 pantiem atbilstošajām aktivitātēm datus par kopējo apsekoto pagaidu un pastāvīgo MSI parauglaukumu platību (Andis Lazdiņš et al. 2010f). Platības aprēķinos izmantotie dati doti 2.1 tabulā.

2.1. tabula / Table 2.1.

Platības aprēķinos izmantotie dati / Values used in calculation of area

Rādītājs / Measure	Skaitliskā vērtība / Value	Mērvienība / Unit
Valsts kopplatība / Country area	64561814580	m ²
MSI parauglaukumu kopplatība / Total area of NSFI plots	9312078	m ²
MSI parauglaukuma reprezentētā platība / Area represented by single NSFI plot	346.7	ha 500 m ⁻²

Uzsākot aprēķinus, katram parauglaukumam noteikta tā reprezentētā platība un, pareizino ar parauglaukuma reprezentēto platību, pārrēķināti rādītāji, kas izriet no platības, piemēram, kopējā krāja ar mizu un tekošais potenciālais pieaugums.

Datu ticamības raksturošanai aprēķināta aritmētiskā vidējā standartklūda, ko aprēķina ar 1. formulu:

$$s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}; \text{ kur:} \quad (1)$$

s_x – vidējā aritmētiskā standartklūda;
 s – standartnovirze;
 n – atkārtojumu skaits.

Standartnovirzi aprēķina ar 2. formulu:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}}; \text{ kur:} \quad (2)$$

x_i – mērījumu rezultāti.

Lai izteiktu aritmētiskā vidējā standartklūdu procentos, to izdalīja ar aritmētisko vidējo:

$$s_x(\%) = \frac{\bar{s}_x}{\bar{x}} * 100\%; \text{ kur:} \quad (3)$$

\bar{x} – aritmētiskais vidējais.

Aritmētiskā vidējā klūdu procentos (precizitātes rādītāju) izmantoja aprēķinos, kur jānosaka datu ticamības rādītājus, ko nosaka vairākas aritmētiskā vidējā standartklūdas, piemēram, kopējo krāju parauglaukumu ar valdošo sugu P reprezentētajā platībā nosaka platības un krājas aritmētiskā vidējā standartklūdas. Šādos gadījumos aprēķinos izmantoja 4. formulu:

$$s_{xy}(\%) = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (4)$$

2.2. Parauglaukumu ierīkošana un uzmērīšana

Aptaujājot Bijušo Rīgas, Ogres, Balvu, Liepājas un citu rajonu pašvaldību un mežniecību darbiniekus, izraudzītas biomasas vienādojumu izstrādāšanai piemērotas platības (vidējais valdošās sugas koku augstums 4...9 m, koku skaits 3...5 tūkst. kociņi uz ha). Katrai koku sugai (apse, *Populus tremula* L. (A), baltalksnis, *Alnus incana* L. Moench (Ba), bērzs, *Betula pendula* Roth (B), egle, *Picea abies* (L.) H.Karst. (E), melnalksnis, *Alnus glutinosa* L. (Ma) un priede, *Pinus sylvestris* L. (P)) atlasīja 20 platības, lai būtu pārstāvēti dažādu dimensiju koki un katrai dimensiju grupai (koku vidējais augstums 4...5, 5...6, 6...7 un 8...9 m) atbilstu 5 attiecīgās sugas audzes 2 Latvijas reģionos (centrālajā un austrumu daļā). Ma audzes pārstāvētas tikai Rīgas rajonā.

Apsekojot atlasītās audzes, atsiņātas tās, kurās faktiskā situācija atšķirās no iesniegtajiem datiem (apmežojusies platība mazāka par 0.1 ha, norādīta nepareiza valdošā suga, mežaudze jau izstrādāta vai platībā ir lauksaimniecības zemēm neraksturīgi augšanas apstākļi – izstrādāti karjeri). Katrā audzē ierīkoja 1 apļveida parauglaukumu koku uzņēmīšanai un paraugu ievākšanai. Katrā Ma un E audzē ierīkoja 3 parauglaukumus datu ievākšanai, lai nodrošinātu tikpat lielu paraugkoku skaitu, kā citām sugām. Audzēs, kur koku augstums ir 3.1...6.0 m ierīkoja parauglaukumus ar rādiusu 3.99 m, bet audzēs ar garākiem kokiem – parauglaukumu rādiuss bija 5.64 m. Parauglaukuma centru iezīmēja tā, lai parauglaukuma ārējās malas būtu vismaz 1 vidējā koka augstuma attālumā no robežas ar citiem mežaudzes elementiem. Ma un E audzēs parauglaukumus ierīkoja vismaz 2 vidējā koka augstumu attālumā vienu no otra.

Parauglaukumos visiem kokiem, kas augstāki par 2 m, noteikta suga un caurmērs krūšu augstumā. Augstumlīknes konstruēšanai 9 katras parauglaukumā sastopamās sugas kokiem, tajā skaitā 2 garākajiem, 2 īsākajiem un 4 vidējiem kokiem mērīts augstums. Ja parauglaukumā nebija 9 attiecīgās sugas koki, tos uzmeklēja un uzņēmīja ārpus parauglaukuma teritorijas. E un Ma audzēs katram parauglaukumam veidoja savu augstumlīkni.

Virszemes biomasas aprēķinu vienādojumu izstrādāšanai katrā parauglaukumā B un P audzēs līdz ar zemes virsmu nozāģēti 10 koki, bet A, Ba, E un Ma audzēs katrā parauglaukumā nozāģēti 5 koki. Nozāģētajiem kokiem noteikts kociņu augstums (h), caurmērs celma augstumā (d_0), caurmērs krūšu augstumā ($d_{1.3}$), kopējā virszemes daļas masa, atsevišķi zaru un stumbra masa. Pirms svēršanas lapu kokiem noplēstas lapas. Skujkoki svērti ar visām skujām. No katra stumbra izzāģētas 3 ripas (stumbra resgalī, vidū un galotnē, kur caurmērs samazinās līdz 3 cm). Laboratorijā koksnes paraugiem, žāvējot 105 °C temperatūrā līdz nemainīgai masai, noteikts mitruma saturs atbilstoši ISO/TS 17892-1:2004 standartam. Biomasas sausnas aprēķinos izmantots aritmētiskais vidējais mitruma saturs katram paraugkokam. Mitruma saturs stumbra koksne attiecināts uz visu virszemes biomasu.

2.3. Darba ražīguma un pašizmaksas pētījumi

Pētījuma ietvaros novērtēts pļāvēja – smalcinātāja AHWI AM 600 uz traktora CLAAS Xerion 3300 Trac VC bāzes darba ražīgums vienlaidus apauguma novākšanā un kārkļu plantācijās, kā arī mulčētāja AHWI FM600 Profi uz traktora CASE HI MAGNUM 225 bāzes darba ražīgums, veicot augsnes apstrādi un novācot apaugumu.

Smalcinātāja AHWI AM600 darba ražīguma noteica SIA “Rīgas meži” valdījumā esošās aizaugušās lauksaimniecības zemēs 7 ha platībā, tajā skaitā aizauguši platība, kurā veikta apauguma novākšana un enerģētiskās koksnes sagatavošana – 3.5 ha. Mulčētāja AHWI FM600 Profi darba ražīguma hronometrāža veikta tajā pašā teritorijā 6 ha platībā, tajā skaitā 3 ha platībā bija kokaugu un krūmu apaugums. Smalcinātāja AHWI AM600 darba ražīguma hronometrāža veikta arī trīsgadīgā kārkļu plantācijā Olaines kokaudzētavā 0.8 ha platībā.

Kārķļu plantācijā veiktās hronometrāžas dati iekļauti pētījumā, lai sniegtu salīdzināmus datus par iekārtas darba ražīgumu optimālos apstākļos.

Hronometrētie darba etapi ir:

1. manevrēšanas laiks;
2. darba laiks;
3. pārejās darba operācijas;
4. manevru skaits;
5. citas ar darbu nesaistītas operācijas.

AHMI FM600 Profi hronometrāža veikta trim darba režīmiem:

1. vienlaidus krūmu apauguma novākšana un augsnes apstrāde;
2. krūmu apauguma novākšana un augsnes apstrāde joslās (ik pēc 5 m);
3. jaunaudžu kopšana joslās (ik pēc 6 m).

Izmantojot hronometrāžas rezultātus un traktora datora izdruku (apstrādātā platība un degvielas patēriņš uz platības vienību), aprēķināts nobrauktais attālums un vidējais ātrums.

Hronometrāžas datu uzkrāšanai un pirmējai apstrādei izmantoti Juniper Systems lauka datori Allegro CX ar SDI programmatūru.

2.4. Biomāsā piesaistītā CO₂ uzkrājuma aprēķins

Dzīvajā biomasā piesaistītais CO₂ aprēķināts, izmantojot SEG inventarizācijas pārskatā izmantoto metodiku (LVĢMA 2010). Pārrēķinam no kopējās krājas ar mizu un kopējā tekošā potenciālā krājas pieauguma un CO₂ izmantota 5. formula:

$$CO_2 \text{ tonnas} = \frac{V * a * b * (1 + c) * d * 44}{12}; \text{ kur:} \quad (5)$$

V – krāja vai krājas pieaugums, m^3 ;

a – koksnes blīvums, $\text{tonnas } m^{-3}$;

b – koeficients virszemes biomasas aprēķinam;

c – koeficients pārrēķinam no virszemes uz pazemes biomasu;

d – oglekļa (C) saturs koksnē, $\text{tonnas C tonnā koksnes}$;

$\frac{44}{12}$ – pārrēķins no C uz CO₂.

Aprēķinu koeficienti a , b , c un d ņemti no SEG inventarizācijas pārskatu sagatavošanas vadlīnijām (Ed. Penman 2003).

CO₂ piesaistes novērtējums meža aprites griezumā veikts, pieņemot, ka vidējā dzīvās un nedzīvās koksnes krāja dažāda vecuma viena meža tipa un vienas koku sugas audzēs DALZ platībās un mežaudzēs meža zemēs neatšķiras. Aprites ilgums pieņemts atbilstoši Meža likumam. Ba audzēm aprites ilgums pieņemts atbilstoši vecuma desmitgadei, kurā, saskaņā ar Valsts meža dienesta 2009. un 2010. gada datiem, Ba audzes visbiežāk izcērt kailcirtē.

Stumbru koksnes un nedzīvās koksnes krāja dažādu meža tipu un valdošo sugu audzēs sadalījumā pa vecuma desmitgadēm izrēķināta, izmantojot MSI datus. Tām mežaudžu grupām, kurām galvenās cirtes vecuma desmitgadē datu trūka, jo MSI nebija attiecīgu parauglaukumu, iztrūkstošie dati izrēķināti ar interpolācijas metodi, izveidojot regresijas vienādojumus no jaunāku un vecāku mežaudžu datiem.

Koksnes blīvuma, virszemes un pazemes biomasas raksturošanai izmantoti SEG inventarizācijas 2006. gada vadlīnijās (Eggleston et al. 2006) dotie koeficienti. Selekcijas efekta raksturošanai izmantota pētījumu rezultāti (Jansons 2006). Nedzīvās koksnes blīvums atbilstoši 2006. gada vadlīnijām pieņemts 0.5 tonnas m⁻³. Oglekļa saturs dzīvajā un nedzīvajā koksnē pieņemts 50 %. Aprēķins veikts 2 scenārijiem – dabiskajai un mākslīgajai meža atjaunošanai. Otrajā scenārijā ņemts vērā koksnes krājas palielinājuma efekts, ko dod selekcionēta stādmateriāla izmantošana. Aprēķinos pieņemts, ka selekcionētā stādmateriāla īpatsvars mākslīgās meža atjaunošanas gadījumā saglabājas tāds, kāds tas ir patreiz meža atjaunošanas praksē.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Dabiski apmežojušās lauksaimniecības zemes Latvijā

DALZ platība Latvijā ir 297860 ± 4165 ha. Lielākais apmežojušos zemju īpatsvars ir bijušajā Ludzas rajonā (12.2 % no rajona kopplatības); mazākais – Ventspils rajonā (0.9 % no rajonu kopplatības). Kopējā krāja DALZ platībās ir 3315748 ± 194131 m³, bet oglekļa uzkrājums dzīvajā biomasā – 1658847 ± 90082 tonnas. Kopējais tekošais potenciālais krājas pieaugums ar mizu DALZ ir 275291 ± 18990 m³ gadā. Lielākā daļa pieauguma konstatēta B audzēs, otrajā vietā ir Ba audzes. Sadalījumā pa meža tipi dominē vērī (58.1 % no DALZ platības), damaksnis (17.7 %) un šaurlapju ārenis (10.8 %). Sadalījumā pēc valdošās sugas izplatītākās ir B (39.4 % no DALZ platības) un Ba (20.4 %) audzes. P audzes aizņem 10.4 % no apmežojušos zemju platības, kas liecina, ka P sekmīgi ieaug lauksaimniecības zemēs kā pioniersuga. Sadalījumā pēc krājas B un Ba ir līdzvērtīgi – B audzēs ir 31 %, bet Ba audzēs 30 % no kopējās krājas DALZ (3.1. tabula).

3.1. tabula / Table 3.1.

Dabiski apmežojušos lauksaimniecības zemju sadalījums pēc valdošās sugas / *Distribution of different forest stand types in naturally afforested farmlands*

Valdošā suga / <i>Dominant tree specie</i>	Platība, ha / <i>Area, ha</i>	Kopējā krāja, m ³ / <i>Growing stock, m³</i>	Biomāsā saistītais ogleklis, tonnas / <i>Carbon in biomass, tons</i>
A / <i>Aspen</i>	14353 ± 913	351798 ± 104773	179121 ± 7442
Ba / <i>Grey alder</i>	46577 ± 1406	960210 ± 104117	453333 ± 14835
B, <i>Betula sp. / Birch</i>	90001 ± 1900	1042277 ± 107841	520410 ± 22740

3.1. tabulas nobeigums

Valdošā suga / <i>Dominant tree specie</i>	Platība, ha / <i>Area, ha</i>	Kopējā krāja, m ³ / <i>Growing stock, m³</i>	Biomasā saistītais ogleklis, tonnas / <i>Carbon in biomass, tons</i>
E / <i>Norway spruce</i>	11313 ± 979	52793 ± 21850	23462 ± 3398
Ma / <i>Black alder</i>	10842 ± 606	75148 ± 32153	50259 ± 2694
P / <i>Scots pine</i>	23754 ± 810	154501 ± 45349	71880 ± 4859
Pārējās sugas / <i>Other species</i>	31628 ± 977	679020 ± 87545	360381 ± 9479
Kopā / Total	228469 ± 3144	3315748 ± 214040	1658847 ± 69055

Lauksaimniecības zemju apmežošanās lielākoties notikusi pēdējo 20 gadu laikā; 116843 ± 2601 ha vai 51.8 % no DALZ platības aizņem par 11 gadiem jaunākas audzes (3.2. tabula).

3.2. tabula / Table 3.2.

Dabiski apmežojušos lauksaimniecības zemju sadalījums vecuma desmitgadēs / *Distribution of different forest stand types in naturally afforested farmlands*

Vecuma desmitgade / <i>Age decade</i>	Platība, ha / <i>Area, ha</i>	Kopējā krāja, m ³ / <i>Growing stock, m³</i>	Biomasā saistītais ogleklis, tonnas / <i>Carbon in biomass, tons</i>
1...10	116843 ± 2601	288848 ± 44486	153167 ± 23302
11...20	76395 ± 2012	1454585 ± 125370	730386 ± 68050
21...30	20564 ± 1068	816682 ± 109316	421517 ± 60842
31...40	9168 ± 594	490847 ± 97721	231379 ± 48710
41...50	1552 ± 265	154242 ± 37083	72607 ± 18352
51...60	410 ± 52	41025 ± 14421	19022 ± 5859
> 61	600 ± 75	59291 ± 3690	25439 ± 1585
Kopā / Total	225625 ± 3525	3314721 ± 239533	1657465 ± 129546

Tehnoloģisko risinājumu izvēlei DALZ platībās būtisks rādītājs ir koku $d_{1.3}$ un d_0 . Lielākā daļa īsircimeta plantāciju izstrādei paredzēto iekārtu spēj apstrādāt līdz 8 cm resnus kokus; savukārt, sortimentu sagatavošana ir lietderīga tad, ja koku $d_{1.3}$ ir vismaz 12 cm. Atbilstoši šiem kritērijiem plāvēju – smalcinātāju pielietošanai piemērotas līdz 20 gadus vecās audzes, izņemot vītolu audzes, kurās 11...20 gadu vecumā $D_{1.3}$ ir 9.3 ± 0.8 cm (3.3. tabula). Sortimentu sagatavošanu var veikt, sākot ar 21...30 gadu vecumu.

3.3. tabula / Table 3.3.

Vidējais koku $D_{1,3}$ (cm) dažāda vecuma desmitgadu un valdošo sugu audzēs / Average $D_{1,3}$ (cm) in different age and species stands

Valdošā suga	Vecuma desmitgade / Age decade			
	1...10	11...20	21...30	31...40
A / <i>Aspen</i>	1.9 ± 0.2	8.5 ± 1	21.4 ± 2.7	-
Ba / <i>Grey alder</i>	2.5 ± 0.2	6.3 ± 0.4	14.1 ± 1.1	15.6 ± 1.3
B / <i>Birch</i>	2 ± 0.1	6.4 ± 0.3	15.3 ± 1.3	21.4 ± 2.6
E / <i>Norway spruce</i>	1.1 ± 0.1	3.6 ± 0.4	9.9 ± 5.1	-
Ma / <i>Black alder</i>	1.8 ± 0.3	5.4 ± 1.1	18.1 ± 2.3	-
P / <i>Scots pine</i>	1.3 ± 0.1	5.5 ± 0.7	14 ± 1.8	-
Pārējās sugas / <i>Other species</i>	2.8 ± 0.4	9.3 ± 0.8	17.2 ± 1.7	18.4 ± 1.6
Vidēji / Average	2 ± 0.1	6.5 ± 0.2	16.2 ± 0.8	19.1 ± 1.2

Saskaņā ar zviedru un somu mežizstrādātāju atzinumu veselu koku izstrādes iekārtu izmantošana ir ekonomiski pamatota, ja vidējais koku augstums ir vismaz 6 m, savukārt, par 12 m garāku koku audzēs novērojams darba ražīguma zudums sakarā ar nepieciešamību sadalīt stumbrus vismaz 2 daļās, lai tos varētu pievest ar forvarderu (Thor et al. 2008). Ņemot vērā, ka zinātniskie pētījumi, kas raksturo veselu koku izstrādes tehnoloģijas, Latvijā veikti audzēs ar $H \leq 12$ m, arī šajā darbā kā tehniskais kritērijs veselu koku izstrādei noteikts maksimālais koku augstums 12 m. Saskaņā ar šo pieņēmumu veselu koku izstrādes iekārtas izmantojamas 11...30 gadus vecās audzēs (3.4. tabula).

3.4. tabula / Table 3.4.

Vidējais koku augstums (H, m) dažāda vecuma desmitgadu un valdošo sugu audzēs / Average height (H, m) in different age and species stands

Valdošā suga / Dominant tree species	Vecuma desmitgade / Age decade			
	1...10	11...20	21...30	31...40
A / <i>Aspen</i>	2.6 ± 0.3	9.1 ± 0.8	16.8 ± 1.3	
Ba / <i>Grey alder</i>	3.1 ± 0.2	7.4 ± 0.3	11.5 ± 0.6	13 ± 0.7
B / <i>Birch</i>	2.5 ± 0.1	7.2 ± 0.2	13.1 ± 0.9	15.7 ± 1.3
E / <i>Norway spruce</i>	1.1 ± 0.1	3.3 ± 0.2	6.6 ± 2.6	
Ma / <i>Black alder</i>	2 ± 0.3	5.3 ± 0.7	11.7 ± 0.7	
P / <i>Scots pine</i>	1.2 ± 0.1	3.5 ± 0.3	6.3 ± 1.6	
Pārējās sugas / <i>Other species</i>	2.8 ± 0.4	7.8 ± 0.4	10.2 ± 0.4	11 ± 0.6

3.4. tabulas nobeigums

Valdošā suga / <i>Dominant tree species</i>	Vecuma desmitgade / <i>Age decade</i>			
	1...10	11...20	21...30	31...40
Vidēji / <i>Average</i>	2.5 ± 0.1	6.6 ± 0.2	11.7 ± 0.4	13.3 ± 0.7

Pārrēķinot vidējo krāju šķeldu berkubikmetros¹, tikai 21...30 gadus vecās audzēs var iegūt vismaz 100 ber. m³ ha⁻¹ biokurināmā (3.5. tabula). Veselu koku izstrādē biokurināmā sagatavošanai izmanto arī vainagu, kas saskaņā ar SEG inventarizācijas vadlīnijām vidēji ir 30 % no stumbra biomasas (Penman et al., 2003); attiecīgi, vismaz 100 ber. m³ ha⁻¹ biokurināmā var sagatavot arī 11...20 gadus vecās audzēs.

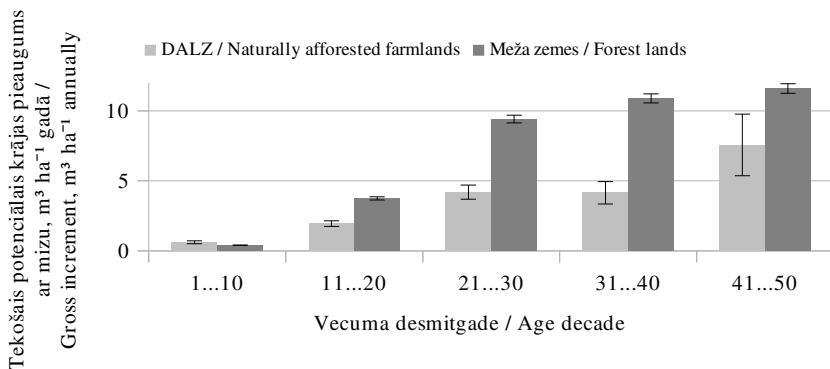
3.5. tabula / *Table 3.5.*

Vidējā krāja (m³ ha⁻¹) dažāda vecuma desmitgadu un valdošo sugu audzēs / *Average stock (m³ ha⁻¹) in different age and species stands*

Valdošā suga / <i>Dominant tree species</i>	Vecuma desmitgade / <i>Age decade</i>			
	1...10	11...20	21...30	31...40
A / <i>Aspen</i>	8.7 ± 4.5	32.6 ± 11.2	124.1 ± 31.7	-
Ba / <i>Grey alder</i>	7.8 ± 1.7	39.7 ± 6.9	51.4 ± 9.6	104.8 ± 49.1
B / <i>Birch</i>	3.8 ± 0.8	22.3 ± 3.5	49.9 ± 16.1	59.6 ± 19.4
E / <i>Norway spruce</i>	0.1 ± 0.1	10.7 ± 4.6	2.5 ± 1.1	-
Ma / <i>Black alder</i>	0.4 ± 0.2	9 ± 3.2	15.8 ± 6.4	-
P / <i>Scots pine</i>	0.4 ± 0.1	10.4 ± 2.5	49.9 ± 38.9	-
Pārējās sugas / <i>Other species</i>	6.8 ± 2.8	19.6 ± 3.3	32.3 ± 5.9	41.7 ± 11.4
Vidēji / <i>Average</i>	4.9 ± 0.8	23.5 ± 2.2	49.8 ± 6.4	61.3 ± 11.1

Salīdzinot ar saimnieciskajiem mežiem, krājas pieaugums DALZ visās vecuma desmitgadēs, izņemot 1...10 gadus vecas audzes ir par 53 % līdz 163 % mazāks (3.1. att.). Salīdzinot apmežojušās platības un saimnieciskos mežus, konstatēts, ka galvenais iemesls mazākajam krājas pieaugumam ir nelielais koku skaits uz platības vienību. Tas nozīmē, ka, plānojot mežsaimnieciskos pasākumus DALZ, visbiežāk nāksies saskarties ar esošo audžu papildināšanu vai rekonstrukciju.

¹ Pārrēķinu koeficients no kubikmetriem uz berkubikmetriem ir 3 (LVMI Silava, 2008).



3.1. att. Tekošā potenciālā krājas pieauguma ar mizu salīdzinājums dažāda vecuma desmitgadu audzēs meža zemēs un aizaugušajās lauksaimniecības zemēs

Fig. 3.1. Gross increment with bark in naturally afforested farmlands and forest lands depending from age of stand

3.1.1. Enerģētiskās koksnes resursu novērtējums DALZ platībās

Lai novērtētu resursu pieejamību, visas DALZ sadalītas 4 kategorijās:

1. platības, kurās jāveic audžu rekonstrukcija, jo šķērslaukums ir mazāks par kritisko²;
2. platības, kurās var veikt kopšanu, jo šķērslaukums pārsniedz minimālo;
3. platības, kurās var veikt kopšanu, ierīkojot tehnoloģiskos koridorus, t.i. audzes, kur šķērslaukums pārsniegs minimālo pēc 20 % no mežaudzes izstrādes tehnoloģisko koridoru ierīkošanai;
4. platības, kurās nav nepieciešama kopšana, t.i. šķērslaukums ir starp kritisko un minimālo.

Biokurināmā sagatavošana iespējama rekonstruējamās audzēs un platībās, kur kopšanu var veikt, ierīkojot tehnoloģiskos koridorus. Atsevišķi izdalītas platības, kurās iespējama biokurināmā sagatavošana ar vienlaidus pļāvējiem – smalcinātājiem $D_{1,3} \leq 8$ cm, kā arī platības, kas piemērotas biokurināmā sagatavošanai ar veselu koku izstrādes iekārtām ($H \geq 6$ m un ≤ 12 m). Aprēķinos pieņemts, ka platībās, kas nav uzņēmīgas ($D_{1,3}$ tajās ir mazāks par 2 cm, 74481 ± 2527 ha) veicama audžu rekonstrukcija.

Kopējā DALZ platība, kur šķērslaukums vai koku skaits ir zem kritiskā, neskaitot platības, kas atbilst neuzņēmīgajiem parauglaukumiem, ir 156515 ± 2463 ha ar kopējo virszemes biomasu 652789 ± 62638 tonnas, vidēji 4.9 ± 0.4 tonnas ha⁻¹. Visvairāk šādu platību ir 1...10 gadu vecuma desmitgadē, tomēr jāņem vērā, ka šis pieņēmums var būt

² Kritiskais un minimālais koku skaits un šķērslaukums novērtēti atbilstoši MK noteikumiem Nr. 892 "Noteikumi par koku ciršanu meža zemēs".

pārspīlēts, jo mazākie koki nav uzmērti un 1...10 gadu vecuma desmitgadē šādu koku īpatsvars var būt pietiekoši liels, lai faktiskais koku skaits pārsniegtu kritisko robežu. Biokurināmā piegāžu potenciāls no rekonstruējamām platībām ir 4 milj. ber. m³ vai 3.1 milj. MWh.

Mežaudžu, kur iespējama kopšana, platība ir 39985 ± 1743 ha ar kopējo krāju 2047438 ± 179479 m³. Atsijājot audzes, kurās pēc tehnoloģisko koridoru ierīkošanas koku skaits vai šķērslaukums nokristu zem minimālā, kopšanai ar biokurināmā sagatavošanu piemēroti 36474 ± 1719 ha ar kopējo līdz minimālajam šķērslaukumam izkopjamo biomasu 718852 ± 66797 tonnas (vidēji 19.7 ± 6.4 tonnas ha⁻¹). Biokurināmā piegāžu potenciāls no kopjamām platībām ir 4.3 milj. ber. m³ vai 3.5 milj. MWh.

Mežaudžu, kuru šķērslaukums vai koku skaits ir starp kritisko un minimālo, platība ir 27930 ± 1507 ha. Kopējā krāja šajās platībās ir 524590 ± 70803 m³ (vidēji 18.6 ± 2.1 m³ ha⁻¹). Biokurināmā piegāžu potenciāls, pieņemot, ka audzes ar šķērslaukumu vai koku skaitu starp kritisko un minimālo izstrādā kailcirtē, piemēram, lai veiktu audžu rekonstrukciju ir 1.6 milj. ber. m³ vai 1.3 milj. MWh. Kopējais biokurināmā piegāžu potenciāls no rekonstruējamām un izkopjamām audzēm ir 9.9 milj. ber. m³ vai 7.9 milj. MWh.

Biokurināmā sagatavošanai ar pļāvējiem – smalcinātājiem piemēroti 171190 ± 2764 ha ar kopējo virszemes biomasu 1001274 ± 85916 tonnas (vidēji 7.3 ± 0.6 tonnas). Lielākā daļa biomasas atrodas 11...20 gadus vecās audzēs. Biokurināmā piegāžu potenciāls, pieņemot, ka visas audzes ir pieejamas izstrādei kailcirtē ir 6 milj. ber. m³ vai 4.8 milj. MWh.

Biokurināmā sagatavošanai ar veselu koku izstrādes iekārtām piemēroti 67182 ± 1841 ha ar kopējo virszemes biomasu 1341938 ± 85865 tonnas (vidēji 23.6 ± 1.7 tonnas). Lielākā daļa biomasas koncentrēta 11...20 gadus vecās audzēs, bet lielākā biomasu, pārrēķinot uz platības vienību, ir 21...30 gadus vecās audzēs. Salīdzinājumā ar pļāvēju – smalcinātāju izmantošanai piemērotajām platībām, tajās pašās vecuma desmitgadēs veselu koku izstrādei piemērotajās platībās virszemes biomasu ir par 14 % līdz 467 % lielāka. Biokurināmā piegāžu potenciāls, pieņemot, ka visas audzes ir pieejamas izstrādei kailcirtē ir 8 milj. ber. m³ vai 6.4 milj. MWh.

3.1.2. Dažādu koku sugu virszemes biomasas aprēķinu vienādojumi

Koksnes biomasas aprēķināšanai kociem mērti trīs parametri – koku augstums (h) metros, d_{1.3} un d₀ centimetros. Pētījumā kopējās virszemes biomasas un stumbra masas aprēķinu modeļu izveidei izmantotais parametrs ir d_{1.3}, kas uzrādīja vislielāko korelāciju ar stumbra un kopējo virszemes biomasu un ir visvienkāršāk iegūstamais rādītājs.

Biomasa aprēķināšanai pielietota pakāpes regresija:

$$Y_i = b_0 * x_i^{b_1}; \text{ kur:} \quad (6)$$

Y_i – rezultatīvā pazīme (biomasa, stumbra sausnas masa, zaru sausnas masa (kg);

x_i – faktoriālā pazīme (krūšaugstuma caurmērs (cm);

$b_0; b_1$ – koeficienti.

Izveidoto modeļu precizitāte noteikta, aprēķinot vidējo relatīvo kļūdu procentos ar 7. formulu (Siipilehto, 1999):

$$s_{\%} = 100 * \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left[\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} \right]; \text{ kur:} \quad (7)$$

$Y_i - \hat{Y}_i$ – parametra faktiskā vērtība;

\hat{Y}_i – parametra aprēķinātā vērtība;

n – paraugkopas lielums.

Izveidoto modeļu parametri doti 3.6. un 3.7. tabulās.

3.6. tabula / Table 3.6.

Stumbru sausnas aprēķināšanas modeļa parametri / Parameters for calculations of stem dry mass

Suga / Species	R ²³	F ⁴	d _f ⁵	p ⁶	Aprēķinātie koef. / Estimated coefficients		Ierobežojumi / Limitations	s%
					b ₀	b ₁		
A / Aspen	0.894	616.652	74	0.000	0.173	1.775	0.8 cm < D _{1.3} < 7.0 cm	-5.1
B / Birch	0.936	1940.462	134	0.000	0.174	1.951	0.6 cm < D _{1.3} < 6.9 cm	-4.3
Ba / Grey alder	0.948	1328.027	74	0.000	0.164	1.774	0.6 cm < D _{1.3} < 6.0 cm	-2.0
E / Norway spruce	0.757	227.535	74	0.000	0.363	1.372	1.0 cm < D _{1.3} < 7.9 cm	-5.8
Ma / Black alder	0.951	546.880	74	0.000	0.099	2.266	1. cm < D _{1.3} < 5.5 cm	-1.4
P / Scots pine	0.954	3679.658	179	0.000	0.140	1.880	0.7 cm < D _{1.3} < 9.3 cm	-2.8

³ Determinācijas koeficients / Coefficient of determination.

⁴ Fišera kritērijs / Fisher criteria.

⁵ Brīvības pakāpju skaits / Number of degrees of freedom.

⁶ Regresijas būtiskums / Significance of regression.

Virszemes biomasas aprēķināšanas modeļa parametri / Parameters for calculations of above-ground dry mass

Suga / Species	R ²	F	d _r	p	Aprēķinātie koef. / Estimated coefficients		Ierobežojumi / Limitations	s%
					b ₀	b ₁		
A / Aspen	0.884	554.060	74	0.000	0.274	1.613	0.8 cm <D _{1,3} < 7.0 cm	-4.5
B / Birch	0.851	762.538	134	0.000	0.290	1.757	0.6 cm <D _{1,3} < 6.9 cm	-9.3
Ba / Grey alder	0.954	1520.774	74	0.000	0.202	1.783	0.6 cm <D _{1,3} < 6.0 cm	-1.8
E / Norway spruce	0.634	126.382	74	0.000	1.162	1.210	1.0 cm <D _{1,3} < 7.9 cm	-8.0
Ma / Black alder	0.952	558.468	74	0.000	0.118	2.235	1.6 cm <D _{1,3} < 5.5 cm	-1.4
P / Scots pine	0.939	2744.284	179	0.000	0.230	1.910	0.7 cm <D _{1,3} < 9.3 cm	-3.7

3.2. Lēmumu pieņemšanas atbalsta modelis saimnieciskajai darbībai

3.2.1. Ražīguma un pašizmaksas pētījumu rezultāti

Augsnes apstrādi joslās veica krūmiem un sīkkokiem aizaugušā platībā, ierīkojot koridorus ik pēc 5 m. Šajā gadījumā mērķis bija nevis veikt esošās audzes izkopšanu, bet sagatavot augsni mežaudzes rekonstrukcijai, stādot cietos lapu kokus starp kārklu, A un Ba kulisēm. Šajā eksperimentā ap mežaudzi pa visu perimetru ierīkoja tehnoloģisko koridoru mašīnas manevriem, taču operators to neizmantoja, bet gan izbrauca no mežaudzes atpakaļgaitā pa to pašu koridoru, pa kuru iebrauca, tādējādi būtiski samazinot iekārtas darba ražīgumu.

Kopšana joslās notika A jaunaudzē, ierīkojot 2 m platus tehnoloģiskos koridorus ik pēc 6 m. Šajā gadījumā darba agregātu turēja 5 cm augstumā no zemes. Tehnoloģisko koridoru pa audzes perimetru neierīkoja, bet no audzes brauca ārā pa to pašu koridoru, pa kuru iebrauca. Operators nebija pieradis pie šāda darba paņēmiena, tāpēc maksimālo ražību sasniedza tikai izmēģinājuma beigās. Neskatoties uz lielo koku izmēru (daudzu celmu d₀ bija lielāks par 10 cm), traktors varēja pārvietoties ar maksimālo ātrumu (4 km h⁻¹).

Veicot vienlaidus apauguma novākšanu, operators novāca krūmu un koku apaugumu un safrēzēja augsni aizaugušajā platībā, bet neveica augsnes apstrādi pārējā platībā, kur auga tikai lakstaugi; attiecīgi, apstrādātā platība ir mazāka par kopējo platību.

Pašizmaksas aprēķinu kopsavilkums dots 3.8. tabulā. Vidējais darba ražīgums (tajā skaitā pārbraucieni starp laukiem), veicot apauguma novākšanu, ir 0.21 ha E₁₅ stundā⁷.

⁷ Pētījumā darba stunda atbilst mašīnstundai.

Apauguma novākšanas pašizmaksa, vienlaicīgi veicot augsnes apstrādi nofrēzētajās platībās, ir 248 Ls ha⁻¹ (rēķinot uz aizaugušo platību). Veicot augsnes sagatavošanu joslās un jaunaudzū kopšanu joslās, pašizmaksa ir, attiecīgi, 219 un 227 Ls ha⁻¹.

3.8. tabula / Table 3.8.

Darba ražīguma un izmaksu aprēķinu rezultātu kopsavilkums / Summary of calculation of productivity and costs

	Apauguma novākšana / Removal of vegetation	Apauguma novākšana un augsnes apstrāde joslās / Removal of vegetation and preparation of soil in strips	Jaunaudzū kopšana joslās / Thinning in strips
Izmaksas, Ls gadā / Cost, LVL annually			
Investīcijas / Investments	27408	27408	27408
Atalgojums / Salary	32680	32680	32680
Tiešās ražošanas izmaksas / Production costs	144497	74785	77605
Kopā / Total	204584	134872	137692
Ražīgums / Productivity			
ha E ₁₅ stundā / ha E ₁₅ hour	0.21	0.16	0.15
ha gadā / ha annually	841	634	623

Strādājot kārkļu plantācijā, AHWI AM600 darba ražīgums bija 2.2 E₀ minūtes⁸ ber. m⁻³; savukārt, dabiskā kārkļu apaugumā 1 ber. m³ saražošanai vajadzēja 3.8 E₀ minūtes. Šķeldu sagatavošanas izmaksas, veicot apauguma novākšanu ar AHWI AM600, ir 8.20 Ls ber. m⁻³, darba ražīgums 7.5 ber. m³ darba stundā. Sezonā, strādājot 2 maiņās, viena mašīna var saražot 29.4 tūkst. ber. m³ šķeldu. Kopējās izmaksas uz 1 ha ir 558 Ls (3.9. tabula).

3.9. tabula / Table 3.9.

AHWI AM600 pašizmaksas aprēķins dabiskā kārkļu audzē / Productivity of AHWI AM 600 in naturally afforested farmland

Rādītājs / Indicator	Kārkļu izstrāde / Harvesting of willows				Kopā / Total
	AHWI AM600	Pievedējtraktors / Forwarder	Iekrāvējs / Loader	Šķeldu vedējs / Truck	
Izmaksas, Ls gadā / Cost, LVL annually					
Investīcijas / Investments	38066	6091	4299	14922	63378

⁸ E₀ – efektīvais darba laiks.

3.9. tabulas nobeigums

Rādītājs / <i>Indicator</i>	Kārķļu izstrāde / <i>Harvesting of willows</i>				Kopā / <i>Total</i>
	AHWI AM600	Pievedējtraktors / <i>Forwarder</i>	Iekrāvējs / <i>Loader</i>	Šķeldu vedējs / <i>Truck</i>	
Atalgojums / <i>Salary</i>	34455	34455	34455	35200	138565
Tiešās ražošanas izmaksas / <i>Production costs</i>	92002	40771	43419	36885	213077
Kopā / <i>Total</i>	164523	81317	82173	87006	415020
Darba ražība, ha E ₁₅ stundā / <i>Productivity ha E₁₅ hour</i>	7.51	9.16	268.1	19.29	-
Darba ražība, ha gadā / <i>Productivity, ha annually</i>	29364	35831	1048800	77765	
Šķeldu pašizmaksa, Ls ber. m ³ / <i>Prime cost of chips, LVL LV m³</i>	5.74	2.38	0.08	1.16	8.20
Kopējās izmaksas, Ls ha⁻¹ / <i>Total cost LVL ha⁻¹</i>	558				

Ražīguma un pašizmaksas pētījumu rezultāti apliecina, ka apauguma novākšana, atstājot sasmalcinātu biomasu uz lauka vai sagatavojot biokurināmo, ir konkurētspējīgas tehnoloģijas, taču to praktisko pielietojumu var būtiski ietekmēt darba organizācija – gari pārbraucieni starp laukiem, kas praksē var aizņemt pusi vai pat lielāko daļu darba dienas, būtiski palielina ražošanas izmaksas. Pētījumā izmantotā biokurināmā sagatavošanas iekārta ir eksperimentāls prototips, un tā sagatavoto biokurināmo bez papildus apstrādes nevar izmantot vidusmēra Latvijas katlumājā, tāpēc pirms šādas tehnoloģijas ieviešanas praksē jāpārlicinās, vai visa piegāžu ķēde – no lauka līdz patērētājam ir ekonomiski dzīvotspējīga. Izmēģinājumi kārķļu plantācijās liecina, ka optimālos darba apstākļos AHWI AM600 darba ražīgums būtiski palielinās.

3.2.2. Lēmuma pieņemšanas modeļa struktūra

Pētījuma ietvaros izstrādāts lēmuma pieņemšanas atbalsta modelis, kurā integrēti pētījumā iegūtie virszemes biomasas aprēķinu vienādojumi un tehnoloģiju analīzes rezultāti. Modelis izmantots dažādu apsaimniekošanas alternatīvu salīdzināšanai DALZ platībās, veicot aprēķinu katram no DALZ analīzē iekļautajiem 1471 MSI parauglaukumiem un to sektoriem. Lēmuma pieņemšanas atbalsta modelī salīdzināti 7 risinājumi DALZ apsaimniekošanai. Tehniskie risinājumi, kas iekļauti modelī, ir:

- mežaudzes rekonstrukcija;
 - apauguma novākšana ar mulčētājiem, nevācot kurināmo⁹;
 - apauguma novākšana ar pļāvējiem – smalcinātājiem, gatavojot biokurināmo⁹;

⁹ Izmantoti promocijas darbā veikto pētījumu rezultāti.

- apauguma novākšana ar akumulējošu veselu koku izstrādes galvu;
 - apauguma novākšana ar harvesteru, sagatavojot apaļkoku sortimentus;
 - mežaudzes kopšana;
 - mehānizēta kopšana ar veselu koku izstrādes galvu, ierīkojot tehnoloģiskos koridorus 20 % no mežaudzes platības;
 - mehānizēta kopšana, sagatavojot apaļkoksnes sortimentus.
- Tehnoloģiju pielietošanas atlases kritēriji:
- apauguma novākšana ar pašgājēju smalcinātāju, nevācot kurināmo, ar sekojošu meža atjaunošanu;
 - valdošā suga Ba vai pārējās sugas vai valdošās sugas šķērsslaukums vai koku skaits mazāks par kritisko;
 - $D_{1,3}$ mazāks par 8 cm;
 - apauguma novākšana ar pašgājēju smalcinātāju, vācot biokurināmo ar sekojošu meža atjaunošanu;
 - valdošā suga Ba vai pārējās sugas vai valdošās sugas šķērsslaukums vai koku skaits mazāks par kritisko;
 - $D_{1,3}$ lielāks par 1 cm un mazāks par 8 cm;
 - mežaudžu papildināšana (atjaunošana);
 - valdošās sugas šķērsslaukums vai koku skaits lielāks par kritisko, bet mazāks par minimālo;
 - apauguma novākšana ar veselu koku izstrādes galvu ar sekojošu meža atjaunošanu;
 - valdošā suga Ba vai pārējās sugas vai valdošās sugas šķērsslaukums vai koku skaits mazāks par kritisko;
 - koku vidējais augstums ir 6...12 m;
 - Apauguma novākšana ar harvesteru, sagatavojot apaļkoku sortimentus ar sekojošu meža atjaunošanu;
 - valdošā suga Ba vai pārējās sugas vai valdošās sugas šķērsslaukums vai koku skaits mazāks par kritisko;
 - $D_{1,3}$ lielāks par 12 cm;
 - kopšana ar veselu koku izstrādes galvu;
 - valdošās sugas šķērsslaukums vai koku skaits saglabājas lielāks par minimālo, ierīkojot tehnoloģiskos koridorus 20 % no cirsma platības;
 - koku vidējais augstums pirms kopšanas ir 6...12 m;
 - kopšana ar harvesteru, sagatavojot apaļkoku sortimentus;
 - valdošās sugas šķērsslaukums vai koku skaits saglabājas lielāks par minimālo, ierīkojot tehnoloģiskos koridorus 20 % no cirsma platības;
 - $D_{1,3}$ lielāks par 12 cm.

Tehnoloģijām, kuru pielietošana saskaņā ar mežaudzes taksācijas rādītājiem ir iespējama, aprēķinātas ražošanas izmaksas, tajā skaitā meža atjaunošanas vai ieaudzēšanas izmaksas, pieņemot, ka visās DALZ platībās ieaudzē mežu, ieņēmumi, pārdodot biokurināmo, un atlikums, kas vienlaicīgi raksturo arī ārējo finansējumu, kas nepieciešams plānotā darba īstenošanai. Kopšanas izmaksu un ieņēmumu aprēķinā pieņemts, ka mežaudzes izkopj līdz minimālajam šķērslaukumam un kopšanu veic, ar vienādu intensitāti izzāģējot visu caurmēra pakāpju kokus.

Meža atjaunošanas un agrotehniskās kopšanas izmaksas ņemtas no Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datu bāzes, tabula “MS07. Meža atjaunošanas un kopšanas izmaksas, LVL/h”. Agrotehniskās kopšanas izmaksas pareizinātas ar 3, pieņemot, ka agrotehnisko kopšanu veiks vismaz 3 reizes. Sastāva kopšanas izmaksas meža atjaunošanas izmaksu aprēķinā nav iekļautas. Aprēķinu rezultāts dots 3.10. tabulā.

3.10. tabula / Table 3.10.

Meža atjaunošanas un kopšanas izmaksas / Forest regeneration cost

Nr. / No.	Darbības veids / Operation	Izmaksas, Ls ha ⁻¹ / Cost, LVL ha ⁻¹
1.	Augsnes sagatavošana / Soil scarification	87
2.	Stādi / Seedlings	158
3.	Stādīšana / Planting	58
4.	Meža agrotehniskā kopšana / Weed control	154

Malkas cena pieņemta 14 Ls m⁻³, atbilstoši faktiskajām malkas cenām 2010. gada pirmajā pusē Latgales reģionā, kur ir vislielākais DALZ īpatsvars. Šķeldu cena pieņemta 6 Ls m⁻³ atbilstoši Latvijas Siltumuzņēmumu asociācijas (LSUA) pārstāvja sniegtajai informācijai par šķeldu iepirkuma cenām Latvijas katlumājās 2009. gadā.

3.3. Dažādu apsaimniekošanas alternatīvu īstenošanas tautsaimniecisks izvērtējums

3.3.1. Biokurināmā piegāžu potenciāls

Aizaugušo lauksaimniecības zemju apsaimniekošanas alternatīvu kopsavilkums dots 3.11. tabulā. Kopējais DALZ biokurināmā ražošanas potenciāls patreiz atbilst 7666.4 GWh; kopējās ražošanas izmaksas, tajā skaitā meža atjaunošanai, izmantojot ekonomiski izdevīgākos risinājumus – 165976.2 tūkst. Ls vai vidēji 0.6 tūkst. Ls ha⁻¹. Potenciālie ieņēmumi, realizējot biokurināmo, ir 41530.4 tūkst. Ls; attiecīgi, papildus ieguldījumi, kas nepieciešami, lai kompensētu mežsaimniecisko darbību radītās izmaksas, ir 124445.7 tūkst. Ls. Tikai mežaudžu kopšana ar veselu koku izstrādes iekārtām un malkas sagatavošana rada pozitīvu naudas atlikumu, visos pārējos gadījumos ir jāpiemaksā, lai iegūtu

kvalitatīvu mežaudzi. Jāņem vērā, ka izmaksu novērtējums kopšanā var būt pārāk optimistisks, jo papildus izdevumus var radīt gan pārbraucienu laika palielināšanās, gan pameža izžāģēšana pirms izstrādes, gan kopšanas paņēmiena izvēle.

Visvairāk (54 %) ir tādu DALZ, kur visizdevīgāk veikt apauguma novākšanu, nevācot biokurināmo. Otrajā vietā (16 %) ir platības, kur ekonomiski izdevīgākais risinājums ir vienlaidus apauguma novākšana ar plāvējiem – smalcinātājiem, vācot biokurināmo. Aptuveni tikpat lielā platībā izmantojama apauguma novākšana ar veselu koku izstrādes iekārtām un mežaudžu papildināšana, neveicot apauguma novākšanu. Vismazākā platība piemērota malkas sortimenta gatavošanai.

3.11. tabula / Table 3.11.

Dabiski apmežojušos lauksaimniecības zemju apsaimniekošanas alternatīvu kopsavilkums /
Summary of alternatives of management of naturally afforested farmlands

Tehnoloģija / Technology	Platība, tūkst. ha / Area, kilo ha	Biokurināmais, GWh / Biofuel GWh	Ražošanas izmaksas, tūkst. Ls / Production cost, kilo LVL	Ieņēmumi, tūkst. Ls / Income, kilo LVL	Nepieciešamie ieguldījumi, tūkst. Ls / Necessary investments, kilo LVL
Apauguma novākšana, nevācot biokurināmo / <i>Removal of vegetation, no biofuel extraction</i>	163.1	-	93953.8	-	93953.8
Apauguma novākšana ar plāvēju – smalcinātāju, vācot biokurināmo / <i>Removal of vegetation with biofuel extraction</i>	48.8	2501.3	24159.4	18760.0	5399.3
Apauguma novākšana ar veselu koku izstrādes iekārtām / <i>Whole tree harvesting</i>	27.8	1754.5	18373.3	13159.0	5214.3
Apauguma novākšana ar harvesteru, gatavojot malku / <i>Firewood production with harvester</i>	11.4	1510.2	13994.9	2227.9	11767.1
Mežaudžu papildināšana / <i>Supplementing of stands</i>	22.9	-	10472.6	-	10472.6

3.11. tabulas nobeigums

Tehnoloģija / Technology	Platība, tūkst. ha / Area, kilo ha	Biokurināmais, GWh / Biofuel GWh	Ražošanas izmaksas, tūkst. Ls / Production cost, kilo LVL	Ieņēmumi, tūkst. Ls / Income, kilo LVL	Nepieciešamie ieguldījumi, tūkst. Ls / Necessary investments, kilo LVL
Mežaudžu kopšana ar veselu koku izstrādes iekārtām / <i>Thinning with whole tree harvesters</i>	9.3	1582.1	4238.6	5155.6	-
Mežaudžu kopšana ar harvesteru, gatavojot malku / <i>Thinning producing firewood</i>	2.1	318.3	783.5	2227.9	-
Pārējās platības / <i>Other areas</i>	13.9	-	-	-	-
Kopā / Total	299.4	7666.4	165976.2	41530.4	124445.7

3.3.2. Oglekļa piesaistes potenciāls augu biomasā

Oglekļa piesaiste Kioto protokola kontekstā novērtēta, atlasot MSI parauglaukumus un to sektorus, kas atbilst MSI 62. un 64. kategorijai (mežs lauksaimniecības zemēs un aizaugusi lauksaimniecības zeme), kuri ir apmežojušies 1990...2003. gadā un kuros ir identificēts mežaudzes vecums. Kopā līdz 2003. gadam apmežojušies 124.6 tūkst. ha lauksaimniecības zemju. Līdz 2008. gadam apmežojusies platība noteikta ekstrapolācijas ceļā.

Kopējā CO₂ piesaiste dzīvajā biomasā laika posmā no 1990. līdz 2008. gadam Kioto protokola 3.3 pantam piederīgajās platībās atbilst 1557.8 tūkst. tonnām CO₂. Emisijas rada susinātās organiskās augsnes – kopā 1990...2008. gados 126.1 tūkst. tonnas CO₂; attiecīgi, neto piesaiste 1990...2008. gados apmežotajās zemēs ir 1431.6 tūkst. tonnas CO₂ vai vidēji 75.4 tūkst. tonnas CO₂ gadā.

Kioto protokola 3.3 panta aktivitāšu radītā piesaiste, visticamāk, nedos tiešu materiālu atdevi, pārdodot piesaistes kvotas pēc pirmā pārskata perioda beigām 2012. gadā, jo tirgū šajā laikā parādīsies arī citu valstu piesaistes kvotas, taču DALZ apsaimniekošana samazinās risku, ka valstij jākompensē atmežošanas vai mežaudžu vecuma struktūras izmaiņu radītais piesaistes samazinājums no citiem tautsaimniecības sektoriem (enerģētikas, transporta, rūpniecības), kur emisiju samazinājums panākts, pateicoties kapitālieguldījumiem tehnoloģiju modernizācijā un atjaunojamo resursu izmantošanai. CO₂ piesaiste naudas izteiksmē Kioto protokola 3.3 panta aktivitātēm atbilstošajās zemēs pirmajā pārskata periodā (2008...2012. gados) patreizējās emisiju kvotu cenas izteiksmē ir 26 milj. Ls. Ja krājas pieaugums apmežotajās zemēs būtu tikpat liels, kā meža zemēs, piesaiste naudas izteiksmē būtu vismaz 2 reizes lielāka. Investīcijas CO₂ piesaistes palielināšanai var nodrošināt Klimata izmaiņu finanšu instrumentu ietvaros.

Pētījuma ietvaros CO₂ piesaistes potenciāla noteikšanai meža aprites cikla laikā novērtēts varbūtējais DALZ sadalījums meža tipos un valdošajās sugās. Vidējais svērtais aprites cikla ilgums, saglabājoties esošajai meža apsaimniekošanas praksei, DALZ platībās būs 61...70 gadi. Kopējā krāja aprites ciklā, veicot dabisko meža atjaunošanu, ir 98.4 milj. m³ (3.12. tabula). Mākslīgā meža atjaunošana ļautu palielināt krāju galvenās cirtes vecumā par 11 %, līdz 108.1 milj. m³.

3.12. tabula / Table 3.12.

Stumbru un nedzīvās koksnes krājas pieauguma meža aprites ciklā aprēķinu kopsavilkums / Summary of calculation of increment of stem volume and dead biomass in forest management cycle

Rādītājs / Measure	Dabiskā meža atjaunošana / Natural regeneration	Mākslīgā meža atjaunošana / Artificial regeneration
Vidējais krājas pieaugums, m ³ ha ⁻¹ gadā / Average increment, m ³ ha ⁻¹ annually	4.2 ± 0.1	4.5 ± 0.1
Vidējais nedzīvās koksnes pieaugums, m ³ ha ⁻¹ gadā / Average increment of dead wood, m ³ ha ⁻¹ annually	0.5 ± 0.1	
Valdaudzes krāja galvenās cirtes vecumā, tūkst. m ³ / Growing stock at harvesting age, kilo m ³	98392.2 ± 12274.2	108062.9 ± 13932.8
Nedzīvās koksnes krāja galvenās cirtes vecumā, tūkst. m ³ / Growing stock of dead wood at harvesting age, kilo m ³	9932.1 ± 1257.1	

Meža dabiskās atjaunošanas gadījumā DALZ platības vidēji gada laikā piesaistīs 2.2 milj. tonnas CO₂, bet, veicot mākslīgo meža atjaunošanu – 2.4 milj. tonnas CO₂. Saglabājoties esošajai CO₂ piesaistei zemēs, kur mežs audzis pirms 1990. gada, un veicot atbilstošus mežsaimnieciskos pasākumus DALZ platībās, tās nodrošinās papildus 10 % CO₂ piesaisti, salīdzinot ar patreizējo CO₂ piesaisti meža zemēs.

4. SECINĀJUMI

1. Dabiskā apmežošanās visintensīvāk notikusi valsts austrumu rajonos; vislielākās DALZ platības ir bijušajā Ludzas rajonā, kur apmežojies līdz pat 27.4 % no 2008. gada oficiāli reģistrētās lauksaimniecības zemju platības. Lielākā daļa DALZ apmežojusies pēdējo 10 gadu laikā, taču daudzās DALZ platībās audžu vecums nav noteikts, jo koki nav sasnieguši dimensijas, kad tos sāk uzmērīt. Tas nozīmē, ka liela daļa jaunaudžu DALZ platībās var ilgstoši atrasties pārejas stadijā no lauksaimniecības uz meža zemi, piemēram, sakarā ar neregulāru zāles un sīkkoku pļaušanu, lai saņemtu vienoto platības maksājumu. MSI sniedz objektīvu

priekšstatu par DALZ kopplatību un reģionālo izplatību, bet izpratni par apmežojušos platību atbilstību meža ieaudzēšanu un kopšanu reglamentējošiem normatīviem var gūt tikai par audzēm, kurās valdaudzes stāvu veido koki ar $d_{1,3} > 2$ cm.

2. Attālums no ceļiem nav DALZ apsaimniekošanu un biokurināmā sagatavošanu limitējošais faktors, jo vidējais DALZ kategorijām atbilstošo parauglaukumu attālums līdz tuvākajam ceļam, neskaitot LVM ceļus, ir 226 ± 6 m.
3. Kopējā krāja 2008. gadā DALZ platībās ir 0.5 % no krājas meža zemēs, tomēr jāņem vērā, ka nākotnē, veicot atbilstošas mežsaimnieciskās darbības, DALZ īpatsvars Latvijas meža krājas bilancē var palielināties līdz 10 %, nodrošinot būtisku kokmateriālu piegāžu apjoma pieaugumu. Kopējais tekošais potenciālais krājas pieaugums DALZ platībās ir par 53...163 % mazāks, nekā vidēji saimnieciskajos mežos. Tas nozīmē, ka, lai nākotnē sasniegtu tādus krājas rādītājus, kā meža zemēs, DALZ platībās ir jāveic atbilstoši meža apsaimniekošanas pasākumi.
4. Pētījuma ietvaros izstrādātais lēmumu pieņemšanas atbalsta modelis palīdz novērtēt mežaudžu esošo stāvokli un dažādu mežsaimniecisko darbību veikšanas izvēli, tajā skaitā ražošanas izmaksu novērtējumu. Tas pielietojams audzēs, kur koku $h > 2$ m. Jaunākās audzēs lēmumus par saimniecisko darbību jāpieņem, pamatojoties uz Meža ieaudzēšanas un plantāciju noteikumos noteiktajiem kritērijiem par minimālo koku skaitu, un, individuāli katram nogabalam izvērtējot sugu sastāvu.
5. Ekonomiski izdevīgākais risinājums 81 % DALZ platību ir esošā apauguma novākšana ar vai bez biokurināmā savākšanas un jaunu meža kultūru ieaudzēšana. Vēl 8 % DALZ platību lietderīgi veikt esošo audžu papildināšanu. Tikai 11 % platību visizdevīgāk ir izkopt un saglabāt esošās audzes. Rekonstruējamo audžu platībā 1...10 gadu vecuma desmitgadē korekcijas var ieviest 2 cm caurmēru nesasniegušo koku uzskaitē MSI parauglaukumos. Jāņem vērā, ka, veicot rekonstrukciju šajās audzēs, visvairāk izpaustos selekcijas efekts, un koku dimensijas sasniegs saimnieciskai izmantošanai piemērotus rādītājus ātrāk, nekā dabiskās audzēs.
6. Patreizējais biokurināmā ražošanas potenciāls DALZ platībās ir 7.7 milj. MWh; bet kopējās izmaksas, lai DALZ transformētu augstvērtīgās, mežsaimniecības normatīvu prasībām atbilstošām mežaudzēs, izmantojot ekonomiski izdevīgākos risinājumus, ir 166 milj. Ls vai vidēji 554 Ls ha⁻¹. Biokurināmā realizācija var dot 42 milj. Ls. Šie rezultāti iegūti, pieņemot, ka visās DALZ platībās izmantos efektīvākos risinājumus un kopšanu veiks līdz minimālajam šķērslaukumam. Optimistiskā scenārija gadījumā papildus ieguldījumi DALZ apsaimniekošanā ir 124 milj. Ls, pesimistiskā scenārija gadījumā, pieņemot, ka visās DALZ platībās veic mežaudžu rekonstrukciju – 172 milj. Ls; attiecīgi, 0.4...0.6 tūkst. Ls ha⁻¹.

7. Ilgtermiņa ieguvumus no investīcijām DALZ apsaimniekošanā nosaka saimnieciskās darbības mērķis, augstvērtīga selekcionētā stādmateriāla izmantošanas īpatsvars, aprites ilgums, kokmateriālu un biokurināmā cenas un citi faktori. Pieņemot, ka vidējā krāja saimnieciskās izmantošanas vecumā (70 gados) ir $250 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, bet saražojamais mežizstrādes atlieku šķeldu apjoms $200 \text{ ber. m}^3 \text{ ha}^{-1}$, līdzīgu ieguvumu un izdevumu attiecību var iegūt, noguldot DALZ apsaimniekošanai optimistiskajā scenārijā nepieciešamos 124 milj. Ls bankā ar 3.95 % likmi, kas ievērojami vairāk, nekā patreiz pieejamās banku noguldījumu procentu likmes.
8. Lai apmežojušās zemes iekļautu Kioto protokola 3.3 panta aktivitāšu uzskaitē, šajās zemēs ir jāveic meža apsaimniekošanas pasākumi. Ietekmes uz klimatu mazināšanu finanšu instrumenti Kioto protokola pirmajā pārskata periodā nenodrošinās tiešus ieņēmumus no piesaistes vienību tirdzniecības, taču mazinās papildus izdevumu risku, kompensējot atmežošanas vai mežaudžu vecumstruktūras maiņas un mežizstrādes pieauguma radītās emisijas. Nākotnē DALZ platības var kompensēt 10 % no patreizējās CO_2 piesaistes zemēs, kur mežs audzis pirms 1990. gada.

1. GENERAL DESCRIPTION

1.1. Topicality of the theme

Total area of the Republic of Latvia according to the State Land Service is 6.5 mill. ha, including 2.5 mill. ha of farmland, 2.9 mill. ha of forest, 0.1 mill. ha of bushes, 0.3 mill. ha of wetlands and 0.2 mill. ha water bodies. Area of other lands (mostly settlements) is 0.5 mill. ha. Considerable area of farmlands are not managed any more due to reduction of agricultural production; and natural afforestation takes place instead, producing low value forest stands and bush-lands.

Initialization of the National statistical forest inventory (NSFI) in 2004 allowed first time to estimate actual area of the naturally afforested farmlands (NAF) and resources of biomass on these lands using statistical methods. The NSFI data testify that total area of the NAF in Latvia is about 12 % of formal area of the farmlands in 2008. Note, that interpretation of these data is important – if all lands fitting to threshold values of forests listed in the Forest act or lands fitting to the requirements of regulations on forest regeneration and afforestation are considered. This study considers NAF as all farmlands fitting to threshold values set in the Forest act, because methodology of the NSFI do not allow to identify number of trees in young naturally regenerated stands, where trees did not reach 2 cm diameter at 1.3 m height. According to the NSFI data the NAF areas characterizes with high diversity of dominant tree species and density of stands. Complex evaluation of characteristics of the NAF areas on the base of actual land use data and field measurement information is not done up to now in Latvia.

If the situation in the NAF areas will persist and no management activities will take place, they will transform into low quality forests and bush-lands. Whereas, implementation of proper forest management measures (thinning, supplementary planting, replacement of dominant species, if necessary) would contribute to formation of productive and valuable forest stands, which could significantly increase deliveries of round-wood and solid biofuel after 40...60 years, when these forests will reach maturity.

Studies implemented by the Skogforsk (Forest Research Institute of Sweden) and Latvia State Forest Research Institute “Silava” (LVMI Silava) in cooperation with Joint stock company “Latvijas valsts meži” (LVM) in 2005 demonstrated, that average stock of the firewood assortment and harvesting slash in final felling in mixed stands is $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$; respectively, total deliveries of biofuel in 298 kilo ha of NAF areas after 40...60 years will increase to about 24 mill. m^3 . Consumption of biomass in district heating systems in Latvia in 2008 was 1.8 mill. m^3 . This means, that in case if solid biofuel consumption will remain in the current level, the NAF areas can secure deliveries of solid biofuel corresponding to a 13 years

consumption. About the same amount of solid biofuel can be produced from thinnings and by stump extraction.

Alternative solution of management of low value, naturally afforested areas and bush-lands is removal of existing vegetation and establishment of plantations of perennial energy crops (short rotation woody crops or grasses) to produce a solid biofuel. In that case the increment of biomass would be 8...10 tons annually or 95...178 mill. tons (238...445 mill. m³) in 298 kilo ha area during 40...60 years. It is more than forest stand can deliver; however, short rotation crops would not provide round-wood assortments, which produces the most of added value in forestry and secure funds necessary for maintenance of the forest infrastructure. Besides, production of organic residues (waste-water sludge and manure) in Latvia is not sufficient to fertilize so big area of plantations. Therefore, short rotation crops should be established only in large, continuous areas nearby the sites, where the fertilizer materials are produced and solid biofuel will be consumed.

Of the same importance is potential of CO₂ removal in the NAF areas, thus compensating greenhouse gas (GHG) emissions raised by deforestation due to road contraction and establishment of new settlements.

Latvia has considerably scientific base and practical experience in artificial afforestation of farmlands and administration of this process. Expansion of the artificial afforestation in Latvia is mostly determined by availability of subsidies. Until 2009 no support was provided to thinning and reconstruction of forest stands in the NAF areas, despite area naturally afforested during last 20 years is 25 times larger than the artificially afforested area; therefore, this area was set aside for a while.

Afforestation is regulated by several legal acts, however the most important are the local level land use planning acts; respectively, if particular NAF area is listed as farmland in the local planning documents, legal transformation to forest land is possible only after relevant changes in the planning documentation. Erroneous impression about the forest resources in the country raises due to differences in forest definition in the Forest act and threshold values given in Regulations on afforestation and plantation forests. According to the Forest act the land is considered forest, if number of trees in the area is up to 10 times smaller than requested by the Regulations on afforestation and plantation forests; therefore, it is important for the planning purpose to identify prospective forest stands, which corresponds to requirements of the Regulations of afforestation and plantation forests and forest stands, where number of trees or basal area is bigger than critical according to Regulations on harvesting of trees in forest lands.

Introduction of the statistical forest inventory provides ability to build up objective impression about area and vegetation characteristics of the NAF areas. New opportunities for extending the spatial approach (permanent sample plot based measurements) utilized in the NSFI and polygon approach (separate forest compartments or blocks based estimations) provides remote sensing technologies, which can be utilized to reduce costs of planning of

management of the NAF, providing information about area and location of certain NAF areas against other landscape elements and infrastructure objects.

Comprehensive researches about mechanization of pre-commercial thinning and solid biofuel production from small trees are implemented in Scandinavian countries. Studies implemented in Latvia demonstrates, in average, smaller productivity figures, which can be result of lack of experience of operators and use of unsuitable machines in experiments. According to the study data the whole tree harvesting methods are usually applied in forest stands, where average height of trees 6...12 m. Increase of height limit could increase productivity of the technologies; however, scientific data on that are issue are limited. It is concluded in the study, that information about productivity and usability of the whole trees harvesting methods is sufficient and 12 m height of trees is set as upper limit of the technology.

Semi-mechanized pre-commercial thinning (strip-cleaning) is commonly used in Canada, where large and continuous forest stands are common. The technology is not used in practice in Nordic countries. Taking in account small average area of forest blocks In Latvia, the semi-mechanized thinning cannot be considered as a prospective technology. An exception is hybrid aspen plantations, where strip-cleaning can be used to produce a solid biofuel from pre-commercial thinning; however, this solution is not evaluated further in the study for the NAF areas, considering small concentration of biomass.

A research data about utilization of direct chipping – harvesting machines to produce the solid biofuel in the NAF areas is limited. These devices in the most cases exists and are tested only as prototypes.

Pre-commercial thinning with direct bundling harvesters theoretically allow to increase productivity of production of paper-wood and solid biofuel in young stands. The technology is aimed, generally, to reduce costs of production of paper-wood and cannot compete yet with the whole-tree harvesting systems in solid biofuel production. There are no paper-wood processing facilities in Latvia able to utilize or export bundled paper-wood; therefore, it is too early to evaluate opportunities of utilization of this technology in Latvia.

Preconditions for efficient management of the NAF areas at a state level are: (1) comprehensive evaluation of the NAF areas according to growing conditions, dominant tree specie, age, density of stands, site index, ownership, location and other important indicators; (2) elaboration of decision support model and (3) economic evaluation of different management alternatives of the NAF areas.

1.2. Aim of the thesis

The aim of the study is to elaborate preconditions for economically efficient management of the NAF areas; particularly, to evaluate current status of the NAF areas, to estimate potential biomass resources and to elaborate methodological basis for management of the NAF areas.

1.3. Research objectives

1. Evaluation of current status of the NAF areas in Latvia, including the distribution according to dominant tree species, age, density of stands, ownership structure, location and other economically important indicators.
2. Elaboration of the single stand level based decision support tool for the NAF management.
3. Economic evaluation of different alternatives of the NAF management.

1.4. Practical significance and scientific novelty

Scientific novelty of the study is determined by utilization of the National statistical forest inventory (NSFI) data for characterization of the NAF areas, including the issues specific for the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and its Kyoto protocol; evaluation of possibilities to utilize different technical solutions in forest management by estimation of biomass resources, their costs and additional investments necessary to establish high quality forest stands in the NAF areas. Classification system of the NAF areas and decision support tool is elaborated within the scope of the study, combining forest inventory data and analysis of application of different technical solutions in forest management. The study is the first research of this type in Latvia.

It is estimated within the scope of the study that the total NAF area in Latvia is 298 kilo ha. The most intensive afforestation took place in the Eastern part of the country; for instance, in former Ludzas district 27.4 % of lands officially registered as farmlands in the National land inventory in 2008 are already afforested according to the NSFI. Total growing stock of timber in the NSFI areas corresponds 0.5 % the total growing stock in forest lands. Implementation of proper forest management measures can increase share of the NAF areas in the forest balance in Latvia up to 10 %. Evaluation of different management alternatives demonstrated that removal of existing woody vegetation and establishment of new forest stands is the most efficient solution in 81 % of the NAF areas. Maintenance and thinning of existing stands is the most feasible solution in 11 % of the NAF areas. Current potential of solid biofuel production in the NAF areas corresponds to 7.7 mill. MWh of primary energy; total costs to convert the NAF areas into productive forest stands fitting to national regulations of forest management, using the most efficient solutions, is 166 mill. LVL or 554 LVL ha⁻¹ in average. Potential of CO₂ removals in living and dead biomass in the NAF areas corresponds to 10 % of current net removals of CO₂ in forest lands being forests before 1990.

1.5. Approbation of research results

The research results have been presented in 1 national and 8 international conferences. Seven articles have been published in proceedings of international conferences. Two articles have been published in national scientific journals.

1.6. Structure and coverage of thesis

Structure of the thesis is subordinated to the research tasks. The thesis consists of three sections. Six sub-chapters of the first section contains summary of the national legislation; results of earlier studies on evaluation of resources of abandoned farmlands; characterization of the previous experience on afforestation of farmlands in Latvia; history and specifics of the forest inventory; mechanization of early maintenance of the forest stands; as well as characterization of role of the afforested farmlands in implementation of the climate change mitigation targets. Four sub-chapters of the second section are devoted to methodological issues; particularly, methodology of evaluation of the NSFI data, establishment and measurement of sample plots, productivity studies and estimation of potential of the CO₂ removals are described.

Results of the study are analysed in 4 sub-chapters of the third section. Characterization of the NAF areas in Latvia, including the most important stand characteristics, theoretical potential of solid biofuel and results of elaboration of biomass expansion equations for the most common tree species is provided in the first sub-chapter. The decision support model for the NAF management, including results of the productivity studies, is characterized in second sub-chapter. The model is elaborated within the scope of the project financed by the European regional development fund (No. 2010/0268/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/118). Third sub-chapter is devoted to analysis of different alternatives of management of the NAF areas (thinning and supplementing of existing stands, removal of woody vegetation with following regeneration of forest stands). The last sub-chapter provides economic evaluation of implementation of the different alternatives of management of the NAF areas, including estimation of potential of solid biofuel deliveries and CO₂ removals in the plant's biomass in short term (within the scope of activities listed in the Article 3.3 of the Kyoto protocol) and in long term – in forest rotation cycle.

The thesis consists of 113 pages; information is summarized in 52 tables and 36 charts and figures; 114 sources of information are used. Eight conclusions are formulated at the end of the thesis.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Evaluation of the National statistical forest inventory data

Characterization of the NAF areas is done in the NSFI sample plots established in 2004...2008; 1471 sample plot and sector corresponding to land use categories 62 and 64 (forest in farmlands and abandoned farmland with woody vegetation) in total. Area represented by a single plot is calculated utilizing results of the study implemented by the LSFRI Silava in 2010 (Elaboration and integration into National greenhouse gas inventory report matrices of land use changes of areas belonging to Kyoto protocol article 3.3 and 3.4 activities) considering total area of permanent and temporary sample plots (Andis Lazdiņš et al. 2010f). Data used in the area calculations are provided in the table 2.1 .

The first step of calculation is estimation of area represented by a particular sample plot or sector; then multiplication of the represented area data provide consequent values, like growing stock and gross annual increment.

Standard error of mean estimated according to formula No. 8 was used to characterize uncertainty level of obtained data:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}; \text{ where:} \quad (8)$$

$s_{\bar{x}}$ – standard error of mean ;
 s – standard deviation ;
 n – repetitions.

Standard deviation was calculated using formula No. 9:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}}; \text{ where:} \quad (9)$$

x_i – measurement data.

Standard error of mean was divided by mean value to express it as percent by formula No. 10:

$$s_{\bar{x}}(\%) = \frac{\bar{s}_x}{\bar{x}} * 100 \% ; \text{ where:} \quad (10)$$

\bar{x} – mean value.

Standard error of mean expressed in percent (uncertainty level) was used in calculations to estimate uncertainty figures of values, which are determined by several standard errors of mean; for instance, uncertainty of total growing stock in stands with pine as

a dominant tree specie was calculated from standard error of mean of relevant area and growing stock using formula No. 11:

$$s_{\bar{x}y}(\%) = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (11)$$

2.2. Establishment and measurement of sample plots

Survey method was used to identify areas suitable for measurement and sampling of material for elaboration of biomass equations. Criteria for selection – average height of trees 4...9 m, 3...5 thousands of trees per ha. Employees of municipalities and foresters in former Riga, Ogre, Balvi, Liepaja districts and other municipalities were surveyed within the scope of the study. For each specie (aspen, *Populus tremula* L. (A), grey alder, *Alnus incana* L. Moench (Ba), birch, *Betula pendula* Roth (B), Norway spruce, *Picea abies* (L.) H.Karst. (E), black alder, *Alnus glutinosa* L. (Ma) and Scots pine, *Pinus sylvestris* L. (P)) 20 plots were selected to have representation of different dimensions of trees. Each group of dimensions (average height of trees 4...5, 5...6, 6...7 and 8...9 m) would be represented by 5 stands in 2 regional repetitions (central and eastern part of the country). Black alder stands were presented only in former Riga district.

During the field visits those plots, where actual situation differed from the provided description (afforested area less than 0.1 ha, wrongly determined dominant tree specie, the stand is already harvested or the stand grows in non-typical conditions – recultivated quarries) were deselected from the study. A single circular sample plot was established in each stand to measure trees and to collect samples for the moisture determination. Three sample plots were established in each of remaining black alder and Norway spruce stands to secure the same number of sample trees as for other species. If the average height of trees in the stand was 3.1...6.0 m sample plots with a radius 3.99 m were established. In stands with higher trees radius of sample plots was 5.64 m. Centres of the sample plots were set so that distance from outer border of the sample plot to other forest elements (non-forested area or forest with different vegetation characteristics) is equal to at least height of average tree. In black alder and Norway spruce stands sample plots located in the same stand were set so that distance between outer borders of two sample plots is equal to at least 2 average tree heights.

All trees being higher than 2 m were measured in all sample plots, determining specie and diameter at the breast height. Height curve was constructed from 9 trees of every specie found in the sample plot, including 2 highest, 2 smallest and 5 average trees. If there were not enough trees in sample plot, remaining trees were selected outside the sample plot. In black alder and Norway spruce stands height curves were constructed for every sample plot.

Ten trees were cut for elaboration of biomass equations in each sample plot in birch and Scots pine stands, but in aspen, grey alder, Norway spruce and black alder stands 5 trees

were cut in every plot. Height (h), diameter at the ground level (d_0), diameter at the breast height ($d_{1.3}$), total above-ground biomass, stem biomass and branch biomass were measured for every tree. Deciduous trees were defoliated before weighting. Coniferous trees were weighted together with needles. Three cross-cuts (from bottom, middle and top of tree where diameter reduces to 3 cm) were collected from every tree. In a laboratory these cross-cuts were dried in 105 °C temperature until constant mass. Moisture in biomass was determined according to ISO/TS 17892-1:2004 standard. Average moisture for a single tree was used for biomass calculations. Moisture content in stem biomass was applied to the whole above-ground biomass.

2.3. Productivity studies

Within the scope of the study productivity of multi-harvester AHWI AM 600 on the base of CLAAS Xerion 3300 Trac VC tractor was evaluated, doing continuous removal of woody vegetation in selected NAF area and short rotation willow plantation. Another study was aimed to estimate productivity of mulcher AHWI FM600 Profi on the base of CASE HI MAGNUM 225 tractor in soil scarification and removal of vegetation.

Productivity of multi-harvester AHWI AM600 was studied in NAF area belonging to the Riga city forest management company SIA "Rīgas meži". Total area utilized for the productivity studies was 7 ha, including 3.5 ha of fields covered by uneven woody vegetation. Productivity of mulcher AHWI FM600 Profi was studied in the same area with total size of experimental fields 6 ha, including 3 ha with woody and bush vegetation. Productivity of multi-harvester was studied also in 3 years old willow plantation in Olaine nursery. Studied area 0.8 ha. Willow plantation was selected for the study to compare productivity figures in optimal working conditions and a typical NAF area.

Working stages separated in the productivity studies:

1. manoeuvring;
2. working time;
3. other work relevant operations;
4. number of manoeuvres;
5. other operations, not relevant to work.

AHWI FM600 Profi productivity study was implemented for 3 working regimes:

1. continuous removal of woody vegetation and simultaneous soil preparation;
2. removal of bushes in rows (strip cleaning after every 5 m) and simultaneous soil preparation;
3. strip cleaning without soil preparation (strip after every 6 m).

Figures of time studies and printouts of the machines' computers (treated area and fuel consumption per area) were used to estimate driving distance and average working speed. Field computers Allegro CX from Juniper Systems supplemented with SDI software were used in the productivity studies.

2.4. Estimation of CO₂ stored in biomass

Removals of CO₂ in living biomass are calculated, using methodology of the National greenhouse gas (GHG) inventory (LVGMA 2010). Recalculation from growing stock and gross increment to removed CO₂ is done using formula No. 12

$$CO_2 \text{ tons} = \frac{V * a * b * (1 + c) * d * 44}{12}; \text{ where:} \quad (12)$$

V – growing stock or increment, m³;

a – wood density, tonnas m⁻³;

b – expansion factor for above-ground biomass;

c – expansion factor for below-ground biomass;

d – carbon (C) content in biomass, tons of C in ton of biomass;

$\frac{44}{12}$ – coefficient for conversion from C to CO₂.

Coefficients a, b, c and d are taken from the Intergovernmental Panel on Climate Change Good Practice Guidance for Land Use, Land Use Change and Forestry (Ed. Penman 2003).

Removals of CO₂ in the forest rotation prospective are calculated, assuming, that average stock of living and dead biomass in forest stands, where forest grew before 1990, and the NAF areas representing the same dominant tree species, stand types and age decades do not differ. Rotation length assumed according to forest law. For the grey alder dominant stands rotation length assumed equal to age, which is the most common for final felling of grey alder stands according to the State Forest Service data about 2009 and 2010.

Growing stock of living trees and dead biomass in forests representing different stand types, dominant tree species and age decades is calculated from the NSFI data. Those data about growing stock at the proposed final felling age, which are missing in the NSFI, were interpolated from other age decades of the same dominant tree species and stand types. Area of stands of tree species, which are not used commercially in forest regeneration, were distributed between other species using proportion method.

Default values provided in a Good Practice Guidance for Agriculture, Forestry and Other Land Use (GPG AFOLU) were used to characterize wood density, above-ground and below-ground biomass (Eggleston et al. 2006). Breeding effect were assumed according to national studies (Jansons 2006). Density of dead biomass was assumed 0.5 tons m⁻³ according to the GPG AFOLU. Carbon content in living and dead biomass assumed 50 %. Calculation of CO₂ removals is done for 2 scenarios – for natural and artificial regeneration. In the second scenario additional increment of living biomass due to utilization of better planting material is considered. It is also assumed, that in case of artificial afforestation share of improved planting material will be the same as it is now in forestry practice.

3. RESULTS

3.1. Naturally afforested farmlands in Latvia

The total NAF area in Latvia is 297860 ± 4165 ha. The highest share of afforested lands is in former Ludza district (12.2 % of total area of the district); the smallest – in former Ventspils district (0.9 % of the total area of the district). Total growing stock in the NAF areas is 3315748 ± 194131 m³, carbon stock in biomass – 1658847 ± 90082 tons. Total gross annual increment with bark in the NAF areas is 275291 ± 18990 m³. The most of the increment is located in birch stands, grey alder is in second position, third position belongs to other species (mostly, *Salix* sp.) *Oxalidosa* is dominating (58.1 % of the NAF areas) in forest stand type distribution; *Myrtilloso-sphagnosa* is in second position with 17.7 % and *Myrtillosa mel.* is in third position, covering 10.8 % of the NAF areas. Birch and grey alder stands are the most common dominant tree species in the NAF areas; respectively, 39.4 % and 20.4 % of the NAF area. Scots pine stands are covering 10.4 % of the NAF areas, which means, that Scots pine succeed in abandoned farmlands as a pioneer specie. Growing stock in birch and grey alder stands is similar; respectively, 31 % and 30 % of the total growing stock (table 3.1.).

The most intensively afforestation process took place during last 20 years; 116843 ± 2601 ha or 51.8 % of the NAF areas are covered by stands younger than 11 years (table 3.2.).

Diameter at the breast height ($d_{1.3}$) and at stump level (d_0) are important indicators determining applicability of different technical solutions in forest management. The most of multi-harvesters suited for short rotation plantations are able to work with trees thinner than 8 cm; but production of round-wood assortments is reasonable, if $d_{1.3}$ of trees is at least 12 cm. According to these criteria stands younger than 20 years are more suitable to utilization of multi-harvesters in the NAF management, except *Salix* sp. dominant stands, in which $D_{1.3}$ at 11...20 years age is 9.3 ± 0.8 cm (table 3.3.). Production of round-wood assortments is reasonable starting with 21...30 years age.

According to findings of Swedish and Finnish foresters the whole-tree harvesting is economically feasible, if average height of trees (H) is at least 6 m; but in stands with average height of trees more than 12 m productivity decreases due to necessity to cut trees into pieces to simplify forwarding (Thor et al. 2008). Taking in account, that scientific studies characterizing productivity of the whole tree harvesting in Latvia are implemented in stands with $H \leq 12$ m, this height is set as the upper threshold value for application of this technology in the modelling. According to this assumption 11...30 years old stands are suitable for the whole tree harvesting (table 3.4.).

Recalculation of average growing stock into loose volume cubic meters of chips¹⁰ (LV m³) demonstrated, that only 21...30 years old stands can deliver at least 100 LV m³ ha⁻¹ of solid biofuel in case of clear-felling (table 3.5.). Whole tree harvesting method allow to utilize crowns of trees, which according to default values utilized in the GHG inventory in average is 30 % of stem biomass (Penman et al., 2003); respectively, using this method for recalculation at least 100 LV m³ ha⁻¹ of biofuel can be produced also in 11...20 years old stands.

If compared with historical forest lands, annual gross increment in the NAF areas in stands representing different age decades, except 1...10 years old stands, is 53 % to 163 % smaller in the NAF areas (Figure 3.1.). This comparison demonstrated, that the main reason of this difference is small density of forest stands in NAF areas. This means, that the most common measure to apply to the NAF areas will be supplementary planting or reconstruction of existing stands.

3.1.1. Estimation of solid biofuel potential in NAF areas

The NAF areas are grouped into 4 categories to estimate availability of resources of biomass:

1. areas, where basal area of stands do not reach critical threshold values set by national regulations¹¹;
2. areas, where thinning can be done, because the basal area is larger than minimal threshold values;
3. areas, where thinning and can be done with establishment of strip-roads, i.e. stands where the basal area would be higher than minimal threshold values, if 20 % of stand would be harvested under strip-roads;
4. areas, where thinning is not desirable, because the basal area is between critical and minimal threshold values.

Solid biofuel can be produced in areas suitable for reconstruction of forest stands and areas, where thinning can be done with establishment of strip-roads. Areas, where solid biofuel can be produced using multi-harvesters ($D_{1.3} \leq 8$ cm) and areas suitable for biofuel production using the whole tree harvesting devices (H 6...12 m) are additionally selected. It is assumed in calculations, that NAF areas, where no field measurements were done ($D_{1.3}$ is < 2 cm, total area 74481 ± 2527 ha) are left for reconstruction.

The total NAF area, where the basal area is below critical threshold values, excluding areas corresponding to unmeasured sample plots, is 156515 ± 2463 ha with total above-ground biomass stock 652789 ± 62638 tons, 4.9 ± 0.4 tons ha⁻¹ in average. The highest share of these areas is in 1...10 years old stands; however, this calculation might lead to

¹⁰ Coefficient for recalculation from solid volume to loose volume is 3 (LVMI Silava, 2008).

¹¹ Critical and minimal basal area are estimated according to Regulations of Cabinet of Ministers No. 892 "Regulations on harvesting of trees in forest lands".

overestimation, because the smallest trees are not measured in the NAF areas and share of these trees in 1...10 years old stands can be high enough to fulfil threshold criteria for the basal area. Solid biofuel potential from the NAF areas suited for reconstruction is 4 mill. LV m³ or 3.1 mill. MWh.

Area of forest stands suitable for thinning is 39985 ± 1743 ha with total growing stock 2047438 ± 179479 m³. After separating stands, where after thinning with establishment of strip-roads, basal area would reduce below minimal threshold value, the remaining NAF area suitable for solid biofuel production is 36474 ± 1719 ha with available for harvesting¹² biomass stock of 718852 ± 66797 tons (19.7 ± 6.4 tons ha⁻¹ in average). Potential of solid biofuel deliveries from these areas is 4.3 mill. LV m³ or 3.5 mill. MWh.

Area of forest stands with basal area between minimal and critical threshold values is 27930 ± 1507 ha. Total growing stock in these stands is 524590 ± 70803 m³ (18.6 ± 2.1 m³ ha⁻¹ in average). Potential of solid biofuel deliveries from these areas, assuming that they will be clear-felled for reconstruction is 1.6 mill. LV m³ or 1.3 mill. MWh.

Total potential of solid biofuel deliveries from areas suitable for reconstruction and thinning in short term is 9.9 mill. LV m³ or 7.9 mill. MWh.

The area suitable for utilization of multi-harvesters is 171190 ± 2764 ha with total above-ground biomass 1001274 ± 85916 tons (7.3 ± 0.6 tons in average). The most of the biomass is concentrated in 11...20 years old stands. The short term potential of solid biofuel deliveries from these areas, assuming that they are available for clear-felling is 6 mill. LV m³ or 4.8 mill. MWh.

The area suitable for application of the whole-tree harvesting devices is 67182 ± 1841 ha with total above-ground biomass 1341938 ± 85865 tons (23.6 ± 1.7 tons in average). The most of the biomass is concentrated in 11...20 years old stands, but the largest stock of biomass in calculation to tons ha⁻¹ is in 21...30 years old stands. In comparison to areas suitable for utilization of multi-harvesters for solid biofuel production, stock of above-ground biomass¹³ is by 14...467 % larger. The short term potential of solid biofuel deliveries from these areas, assuming that they are available for clear-felling is 8 mill. LV m³ or 6.4 mill. MWh.

3.1.2. Biomass equations of the most common tree species

Three parameters were measured within the scope of the study to elaborate above-ground biomass equations – height of trees (h) in meters, d_{1,3} and d₀ in centimetres. After correlation analysis d_{1,3} was selected for elaboration of above-ground and stem biomass, because it is the easiest to obtain value and it also demonstrated a good correlation with

¹² A part of biomass that can be harvested until minimal threshold of basal area is reached.

¹³ In calculation to tons ha⁻¹.

above-ground biomass. Power regression was used to characterize relation between the biomass and $d_{1.3}$:

$$Y_i = b_0 * x_i^{b_1}; \text{ where:} \quad (13)$$

Y_i – resulting factor (above-ground biomass, stem biomass, biomass of branches (kg);

x_i – factor (diameter at the breast height (cm);

$b_0; b_1$ – coefficients.

Uncertainty level of the elaborated models was estimated using relative error of mean using Formula No. 14 (Siipilehto, 1999):

$$s_{\%} = 100 * \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n \left[\frac{Y_i - \hat{Y}_i}{\hat{Y}_i} \right]; \text{ where:} \quad (14)$$

Y_i – actual value of the parameter;

\hat{Y}_i – calculated value of the parameter;

n – number of repetitions.

Parameters of the models given in tables 3.6. and 3.7.

3.2. Forest management decision support model

3.2.1. Results of productivity studies

Soil scarification in strips was done in a NAF area overgrown by small trees and bushes. Corridors were established after every 5 m. In this trial the scope was not to do thinning of existing stand, but to prepare soil for the next generation of trees leaving remaining bushes and trees of existing stand as shelter-wood for noble hardwoods. A technological corridor for manoeuvres was established around the whole stand; however, the operator did not use this corridor, but drive back-wards using the same strip he just scarified. This reduced theoretical productivity of the machine. Notably that the operator was not used to manoeuvring in forest stand and used the most common way of working for him; therefore theoretical reduction of productivity might be increase of productivity in practice.

Strip-cleaning took place in young aspen stand by establishment of 2 m wide corridors. Distance between centres of corridors was 6 m. The working device was lifted up so that it works at least 5 cm above ground level. A technological corridor around the stand was not established, the tractor left stand using the same strip, where it entered the stand. The operator was not used to this working method; therefore maximal productivity was reached only at the end of the study. Regardless of considerable dimensions of trees in the stand (d_0) of

many trees was > 10 cm), tractor could move in the stand with the maximal working speed (4 km h⁻¹).

During the trial of continuous removal of woody vegetation the operator harvested trees and scarified soil only in areas with woody vegetation, leaving the rest of area untouched; therefore, treated area is smaller than the total area of experiment.

Summary of prime-cost calculations is provided in the table 3.8. Average productivity during continuous removal of vegetation was 0.21 ha E₁₅ hour¹⁴. Prime-cost of continuous removal of vegetation in the treated area corresponds to 248 LVL ha⁻¹. Prime cost of soil scarification in rows and strip-cleaning; respectively, is 219 and 227 LVL ha⁻¹.

In a short rotation willow plantation productivity of AHWI AM600 multi-harvester was 2.2 minutes of efficient working time per LV m⁻³; but in natural woody vegetation, consisting mostly of different willow species, production of 1 LV m³ took 3.8 minutes of efficient working time. Prime cost of production of wood chips, using AHWI AM600 for continuous removal of vegetation is 8.20 LVL LV m⁻³ (productivity is 7.5 LV m³ per scheduled working hour). One machine can produce in a season 29.4 kilo LV m³ of wood chips if working in 2 shifts. Prime cost per ha in average is 558 LVL (table 3.9).

Results of productivity studies approves, that continuous removal of woody vegetation with or without production of biofuel, are competitive technologies; however, practical application of these techniques can be strongly affected by organization of work – long moves between fields, that takes half or even more of the working day, considerably increase the prime-cost. The multi-harvester utilized in the study is an experimental prototype and solid biofuel produced by the machine cannot be utilized in ordinary boiler plants in Latvia without additional treatment; therefore, it is important to evaluate if the whole delivery chain from a field to a customer is viable before broad introduction of the technology. Experiments in short rotation willow plantation demonstrates, that in optimal conditions productivity of the AHWI AM600 multi-harvester can be considerably higher.

3.2.2. Structure of the decision support model

Decision support model, integrating biomass expansion equations, elaborated within the scope of this study, and results of the technology analysis is used to compare different land use management alternatives in the NAF areas by calculating applicability and economical figures for every of 1471 NSFI plot and sector included into this study. Seven types of treatment of the NAF areas are analysed in the study. Technological solutions evaluated within the scope of the study are:

- reconstruction of stands;
 - removal of vegetation with no biomass collection with mulcher¹⁵;

¹⁴ A working hour, within this study is equal to an engine-hour.

¹⁵ Results of the study utilized in calculations.

- removal of vegetation and extraction of solid biofuel with multi-harvester¹⁵;
- removal of vegetation and extraction of biofuel with a whole-tree harvesting head;
- removal of vegetation and extraction of biofuel with a round-wood harvesters;
- thinning of stand;
 - mechanized thinning and biofuel extraction with a whole-tree harvesting head;
 - mechanized thinning and biofuel extraction with round-wood harvester.

Criteria for application of different technologies:

- continuous removal of vegetation with no biomass collection with mulcher with following forest regeneration;
 - dominant tree specie is grey alder or 'other species' or basal area of dominant tree specie is less than critical threshold value;
 - $D_{1,3}$ is ≤ 8 cm;
- continuous removal of vegetation and production of biofuel with multi-harvester with following forest regeneration;
 - dominant tree specie is grey alder or 'other species' or basal area of dominant tree specie is less than critical threshold value;
 - $D_{1,3}$ is 1...8 cm;
- supplementary planting (forest regeneration in practice);
 - basal area of dominant tree species is higher than critical threshold value, but less than minimal threshold value;
- continuous removal of vegetation and production of biofuel with a whole-tree harvesting head with following forest regeneration;
 - dominant tree specie is grey alder or 'other species' or basal area of dominant tree specie is less than critical threshold value,
 - H is 6...12 m,
- continuous removal of vegetation and production of biofuel with a round-wood harvesters with following regeneration of stands;
 - dominant tree specie is grey alder or 'other species' or basal area of dominant tree specie is less than critical threshold value;
 - $D_{1,3}$ is ≥ 12 cm;
- thinning with a whole tree harvesting head;
 - basal area of dominant tree species remains above minimal threshold value after establishment of strip-roads, covering 20 % of the stand area;
 - H before thinning is 6...12 m;
- thinning with a round-wood harvester;
 - basal area of dominant tree species remains above minimal threshold value after establishment of strip-roads, covering 20 % of the stand area;

- $D_{1,3}$ before thinning is ≥ 12 cm.

Production costs are calculated for those technical solutions, which are applicable in the particular stand according to the forest inventory data. Forest regeneration cost is considered in all cases, except thinning, assuming that all of the NAF areas are left for afforestation. Potential income from selling of solid biofuel is also considered. Difference between production and forest regeneration costs and income from selling of biofuel characterizes external funding, which is necessary to manage the NAF areas. It is assumed in calculation of cost of thinning, that the stands are thinned to the minimal threshold value for basal area and trees of all dimensions are harvested to the same extend.

Cost of forest regeneration are taken from Central Statistical Bureau public data base, table "MS07. Meža atjaunošanas un kopšanas izmaksas (*Forest regeneration and thinning cost*), LVL/h ". Cost of early management (weed control) is multiplied by 3, assuming that this measure will be applied 3 times per stand in average. Pre-commercial thinning is not considered in estimation of the forest regeneration costs. Results of calculation are provided in table 3.10.

Price of firewood is assumed 14 LVL m⁻³, according to actual firewood prices in the first half of 2010 in the Eastern part of the country, where share of NAF areas is the highest. Price of wood chips is assumed 6 LVL m⁻³ according to the information provided by the Association of Latvia's Heating Companies about average wood chip price in the district heating boiler plants in Latvia in 2009.

3.3. Economic evaluation of different alternatives of forest management

3.3.1. Potential of solid biofuel deliveries

Summary of evaluation of alternatives of management of afforested lands is provided in the table 3.11. Total short term potential of production of biofuel in the NAF areas corresponds to 7666.4 GWh; total production cost, including forest regeneration, using the most economically feasible solutions, is 165976.2 kilo LVL or 0.6 kilo LVL ha⁻¹ in average. Potential income from selling of biofuel is 41530.4 kilo LVL; respectively, additional investments to compensate remaining cost of forest management is 124445.7 kilo LVL. Only thinning with round-wood harvesters produces positive cash flow; in other cases additional investment is necessary to establish forest stand of high quality. Note, that the cost estimation of thinning can be too optimistic, because additional costs, less relevant to other technical solutions, can be raised by prolongation of moving time between sites, manual cutting of undergrowth trees before felling as well as by thinning method applied (from above, from below or mixed thinning).

Continuous removal of vegetation with mulchers (no biofuel collection) is the most feasible solution in 54 % of the NAF areas. Solid biofuel production with multi-harvesters is the most feasible solution in 16 % of the NAF areas. Similar area is economically more suited

for supplementary planting and utilization of the whole-tree harvesters for solid biofuel production during continuous removal of woody vegetation. The smallest part of the NAF is suitable for utilization of round-wood harvesters in thinnings or continuous removal of woody vegetation.

3.3.2. *Potential of carbon removals in biomass*

Sequestration of carbon in the prospective of Kyoto protocol is evaluated within the scope of the study selecting those NSFI plots, which corresponds to the NSFI categories forest on farmland and afforested farmland, which are afforested between 1990 and 2003 and where age of forest stands is identified. In total 124.6 kilo ha of farmlands were afforested during the selected period. Areas afforested between 2004 and 2008 are determined using extrapolation method.

Gross removal of CO₂ in living biomass during the selected period (1990...2008) in lands, where activities listed in the Article 3.3 of the Kyoto protocol took place is 1557.8 kilo tons. Emissions in afforested lands are associated mostly with drained organic soils; total CO₂ emissions from organic soils in 1990...2008 was 126.1 kilo tons of CO₂; respectively, net removal of CO₂ in living biomass in lands afforested between 1990...2008 was 1431.6 kilo tons or 75.4 kilo tons of CO₂ annually in average.

Net removals of CO₂ in living biomass within the scope of activities listed in the Article 3.3 of the Kyoto protocol probably will not raise monetary returns, which are awaited from selling of the removal units after 2012, because there will be plenty of these units in the market at that time; though proper management of the NAF areas will reduce risk of net emissions or emissions above the reference level from forest sector due to deforestation or changing age structure of forest causing reduction of annual gross increment. Those emissions otherwise has to be compensated from other sectors (transport or industry), where reduction of emissions is reached owing to considerable investments in modernization of technologies and increase of share of utilization of renewable resources. Potential monetary value of CO₂ removals in living biomass between 1990 and 2008 in areas where activities listed in the Article 3.3 of the Kyoto protocol took place is equal to 26 mill. LVL, if calculated to current price of CO₂ emissions' units. If the biomass increment in the NAF areas would be as high as in historical forest lands, the monetary value would be twice as high. It is possible to utilize financial instruments of the climate change mitigation to improve quality and "climate" value of forest stands in the NAF areas.

The potential removal of CO₂ in living and dead biomass in the forest rotation cycle is estimated within the scope of the study by evaluation of potential distribution of the forest stand types and dominant tree species. Weighted average notation cycle in the NAF areas, if ordinary forest management practice is applied, will be 61...70 years. Total growing stock in the rotation cycle, if natural regeneration is applied, would be 98.4 mill. m³ (table 3.12.).

Artificial regeneration using improved planting material would increase growing stock at a harvesting age by 11 %, to 108.1 mill. M³. Increment in dead biomass is not accounted.

Average removals of CO₂ in living and dead biomass in the NAF areas, where activities listed in The Article 3.3 of the Kyoto protocol take place, in case of natural regeneration would be 2.2 mill. tons, but in case of artificial regeneration – 2.4 mill. tons. If characteristic of CO₂ removals in forest lands, where forest grew before 1990, will persist in future and proper forest management measures will be implemented in the NAF areas, they will be able to provide additionally 10 % of CO₂ removals in future.

4. CONCLUSIONS

1. The most intensive natural afforestation took place in the Eastern part of the country; the biggest NAF areas are in former Ludzas district, where about 27.4 % of farmlands (according to the Land inventory data on 2008) are already afforested. The most of the NAF afforested during last 10 years; however, year of afforestation cannot be determined in considerable part of the NAF, because the trees did not reach threshold dimensions for measurement within the scope of the NSFI. This means that large areas of the NAF can persist in the transitional stage from farmland to forest, for instance, due to irregular cutting of grass and small trees to receive farmland's area payments. The NSFI provides reliable information about the NAF area and regional distribution; but status of the NAF areas according to regulations on afforestation and plantation forests and forest stand management can be identified only in stands, where dominant trees reached $d_{1.3} > 2$ cm.
2. Distance from roads is not a factor limiting management and solid biofuel production in the NAF areas, because average distance of the NSFI sample plots in the NAF areas, excluding the LVM roads, is 226 ± 6 m.
3. Total growing stock in the NAF areas in 2008 was 0.5 % of the stock in forest lands; however, proper management measures could increase the share of the NAF areas up to 10 %, securing considerably increase of deliveries of forest goods in future. The annual gross increment in the NAF areas in different age classes is 53...163 % smaller than in historical forest lands. This means, that intensive forest management activities should be implemented in the NAF areas to reach at least the same increment figures as in the historical forest lands.
4. Decision support model is elaborated within the scope of the study to provide land owner with information about current conditions in the particular forest stand and to evaluate different management options in short term prospective, assuming forest growth as the future scope in the area. The model can be applied in areas with height of trees of at least 2 m. In younger stands decision about further forest management activities should be based on threshold values on number of trees

depending from dominant species in each forest block according to Regulations on afforestation and plantation forests.

5. Removal of existing vegetation with or without solid biofuel production with following regeneration of forest stand is the most feasible solution in 81 % of the NAF areas. In 8 % of the NAF areas supplementing of existing stand is the most feasible solution. Management of existing stands is the most feasible solution only in 11 % of the NAF areas. Corrections of area of stands suitable for reconstruction in 1...10 years age decade can be introduced by accounting of trees, which did not reach threshold diameter values for measurement; however, breeding effect will express to the most extend in reconstructed stands, because artificially regenerated stands will reach economically feasible dimensions sooner than natural stands.
6. Current potential of solid biofuel deliveries from the NAF areas is equal to 7.7 mill. MWh; but total costs to transform the NAF areas into forest stands of high value using the most feasible technical solutions is 166 mill. LVL or 0.6 kilo LVL ha⁻¹ in average. Selling of solid biofuel would return about 42 mill. LVL. These results are obtained, assuming that the most efficient solutions are utilized and thinning is done to the minimal allowed basal area. In case of optimistic scenario additional investments into management of the NAF areas are 124 mill. LVL; in case of pessimistic scenario, assuming that all NAF areas should be reconstructed, total investments would grow to 172 mill. LVL; respectively, the band of the investments is 0.4...0.6 kilo LVL ha⁻¹.
7. Long term gains from investments into the NAF management is determined by the forest management targets, share of utilization of bred planting material, rotation length, price of round-wood assortments and solid biofuel and other factors. Assuming, that average growing stock in the final felling age (61...70 years in average) is 250 m³ ha⁻¹, but potential of deliveries of solid biofuel from harvesting slash is 200 loose m³ ha⁻¹, comparable cost benefit rate in case of optimistic scenario can be reached, if the money is stored in a bank with interest rate of 3.95 %, which is considerably higher than banks in Latvia are providing now.
8. Forest management measures should be implemented in the NAF areas to account them under the activities listed in the Article 3.3 of the Kyoto protocol. Financial instruments of the climate change mitigation introduced by the Kyoto protocol do not secure in practice direct incomes from trading of the CO₂ removal units; however, these removals will reduce risk of costs due to deforestation, change of forest age structure or increase of commercial harvesting. In future the NAF areas can compensate 10 % of current CO₂ removals in lands, where forest grew before 1990.