



## PĀRSKATS

PAR PĒTĪJUMA 2018. GADA REZULTĀTIEM

PĒTĪJUMA NOSAUKUMS: “Siltumnīcefekta gāzu emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes novērtējums vecās mežaudzēs”

IZPILDĪTĀIS: Latvijas Valsts mežzinātnes institūts „Silava”

PASŪTĪTĀIS: AKCIJU SABIEDRĪBA “LATVIJAS valsts meži”

Līguma Nr. 5-5.5.\_000k\_101.16.15

PĒTĪJUMA ZINĀTNISKAIS

VADĪTĀIS: DR. Āris Jansons, LVMI Silava vadošais pētnieks

**Salaspils, 2018**

## Kopsavilkums

Oglekļa uzkrājuma novērtēšanai 27 bērza audzēs (bērzs audzes sastāva formula 4-9 vienības) vecumā no 122 līdz 146 gadiem ierīkoti 162 parauglaukumi. Pētījuma objektos audzes I stāva vidējais caurmērs, augstums un krāja ir attiecīgi  $37,2 \pm 1,3$  cm,  $28,8 \pm 0,7$  m un  $406 \pm 27$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Oglekļa uzkrājums gadā augošu koku biomasā lielākais ir 30-60 gadus vecās bērza audzēs (MSI dati), pāraugušās audzēs tas ievērojami un statistiski būtiski mazāks, damaksnī un vēri sasniedzot vidēji  $1,4 \pm 0,26$  un slapjajā damaksnī  $1,16 \pm 0,21$  t ha<sup>-1</sup> gadā. Noslēgta analīze par oglekļa uzkrājumu parastās priedes audzēs, konstatējot, ka kopējais uzkrātais oglekļa apjoms (dzīvā un nedzīvā koksne, augsne, zemsega) pāraugušās priežu audzēs (P 160 +) vidēji Dm un Nd ir  $266.5 \pm 19.4$  un  $290.0 \pm 57.9$  t ha<sup>-1</sup> un tas būtiski neatšķiras starp meža tipiēm ( $p = 0.32$ ). Vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums pāraugušās priežu audzēs Dm ir  $1.51 \pm 0.13$  t ha<sup>-1</sup>, bet Nd ir  $1.61 \pm 0.41$  t ha<sup>-1</sup>. Pāraugušās priežu audzēs Dm vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums samazinās vecākās audzēs.

Kompleksi novērtējot pieaugušo (MSI) un pāraugušo audžu (šī pētījuma) datu kopu, secināts, ka priežu audzēs atmirušās koksnes apjoms un tajā uzkrātais ogleklis nav atkarīgs no audzes šķērslaukuma un augstuma. Priežu audzēs damaksnī un niedrājā, apvienojot visus MSI priežu audžu datus ar pāraugušo priežu audžu datiem, pietiekami precīzi var modelēt atmirušās koksnes apjomu atkarībā no kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vecuma.

Oglekļa bilances izvērtēšana vecās mežaudzēs (un vecā mežā) ir nepieciešama, lai pilnveidotu SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes prognožu modeļus, raksturojot mežaudžu novecošanas ietekmi uz SEG emisijām un CO<sub>2</sub> piesaisti. Pētījumā iegūtos datus izmantosim arī SEG inventarizācijas uzlabošanai Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība (ZIZIMM), precizējot darbību datus (krājas pieauguma un atmiruma rādītājus) augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu raksturošanai.

Pieejamās zinātniskās informācijas un tās iespējamā pielietojuma analīze liecina, ka ir nozīmīgi sagatavot un realizēt šī pētījuma turpinājumu, iegūstot Eiropas mērogā jaunus, zinātniski pamatotus datus par oglekļa uzkrājuma dinamiku pāraugušās audzēs, īpaši uz kūdras augsnēm, un šādu audžu nomaiņas vecā mežā ietekmi uz oglekļa uzkrājuma dinamiku.

Pētījuma rezultāti prezentēti 3 konferencēs un 1 zinātniskajā rakstā.

## Summary

Sample plots (altogether 162) were established in randomly selected and surveyed 27 old-growth (age 122-146 years) birch stands in *Hylocomiosa*, *Oxalidosa* and *Myrtilloso-polytrichosa*. Data for assessment of carbon storage in living and dead tree biomass and soil were collected. Mean yield in the analysed stands reached  $406 \pm 27$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, diameter:  $37,2 \pm 1,3$  cm, height:  $28,8 \pm 0,7$  m. Mean carbon storage per year in living biomass was at the maximum in stands at the age of 30-60 years (NFI data), then decreasing rather rapidly and in old-growth stands to  $1.1-1.4$  t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>.

Analysis of the carbon pool in Scots pine stands revealed that the total accumulated amount of carbon (living trees, dead wood, soil, litter) in pine stands (P 160 +) is  $266.5 \pm 19.4$  and  $290.0 \pm 57.9$  t ha<sup>-1</sup> in *Hylocomiosa* and *Caricoso-phragmitosa*, respectively; it does not differ significantly between forest types ( $p = 0.32$ ). The average annual accumulated carbon in pine stands is  $1.51 \pm 0.13$  t ha<sup>-1</sup> and  $1.61 \pm 0.41$  t ha<sup>-1</sup> in *Hylocomiosa* and *Caricoso-phragmitosa*,

respectively. In *Hylocomiosa* old growth stands the average annual carbon stock is decreasing with increasing age.

In the complex evaluation of data from National forest inventory (NFI) and this study, it is concluded that the amount of deadwood in pine stands and the amount of carbon stored in it is independent of the basal area and height of the trees. The pine stands in *Hylocomiosa* and *Caricosa-phragmitosa*, when combining data from NFI and this project, accurate modelling of amount of deadwood, based on the age of the dominant layer pines can be done.

Assessment of carbon storage in old forests stands (and old forest) is important to improve GHG emission and CO<sub>2</sub> sequestration models and thus ensure better accuracy on the changes of carbon balance with stand age. Data obtained in the study will be used in the GHG inventory in Land use, land use change and forestry (LULUCF) sector, ensuring better estimates in yield increment and mortality in order to characterize carbon pool changes.

Analysis of scientific literature and potential use of the information revealed, that it is important to prepare and carry out the next stage of this research, obtaining novel (at European scale), scientifically sound data on carbon budget in old-growth stands, especially on peat soils, and impact of natural stand-replacement on carbon budget of unmanaged forests.

Results were presented in 3 conferences and summarised in publication in journal Forests.

## Saturs

1. Oglekļa uzkrājuma bērzu kokaudzēs raksturošana .....	4
2. Oglekļa uzkrājuma augsnē un nobirās bērza un priedes audzēs raksturošana ....	14
3. Dati augšanas gaitas modeļu precizēšanai.....	24
4. Atmirušās koksnes apjoma raksturošana pāraugušās priežu audzēs .....	25
5. Iegūto rezultātu publicēšana .....	31
Literatūra .....	32

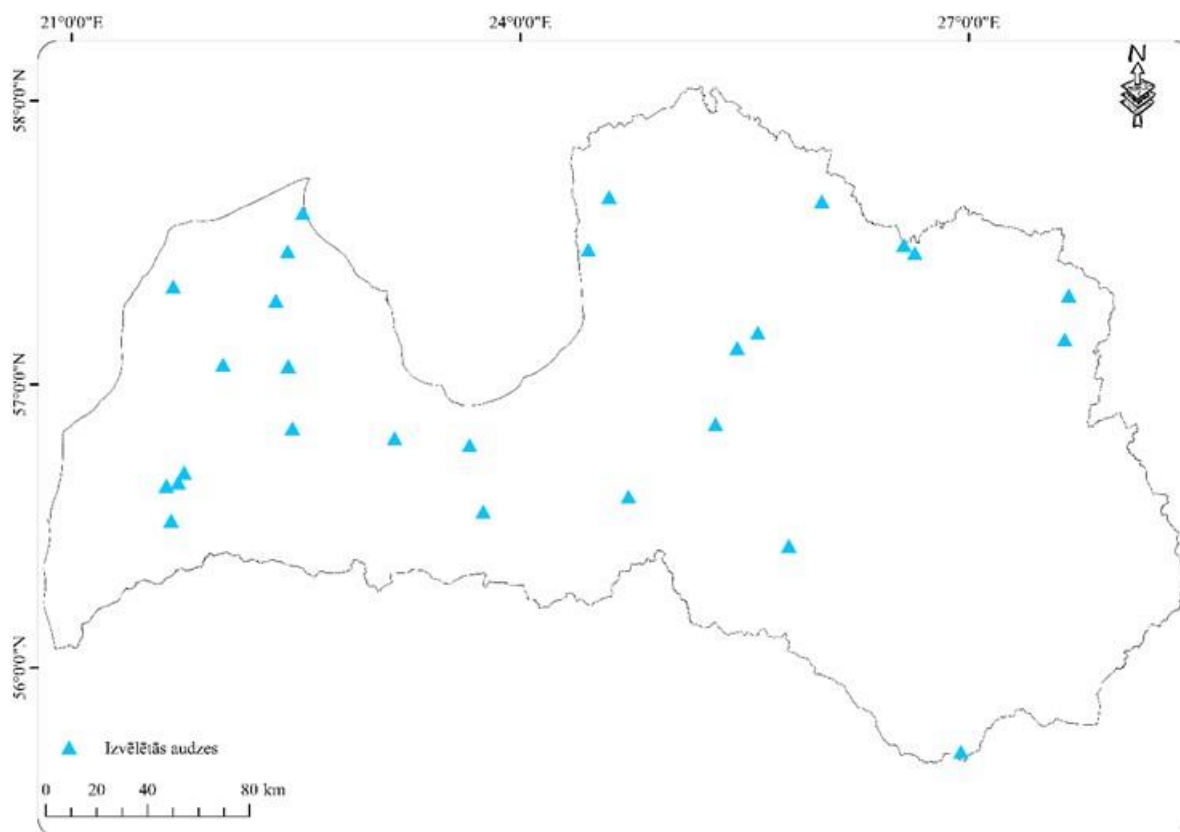
## 1. Oglekļa uzkrājuma bērzu kokaudzēs raksturošana

**Parauglaukumu vietu izloze, apsekošana, parauglaukumu izvēle (27 bērza audzes, Dm/Vr, Dms/Vrs), uzmērīšana, pieauguma urbumu ievākšana un apstrāde (gadskārtu platumu uzmērīšana)**

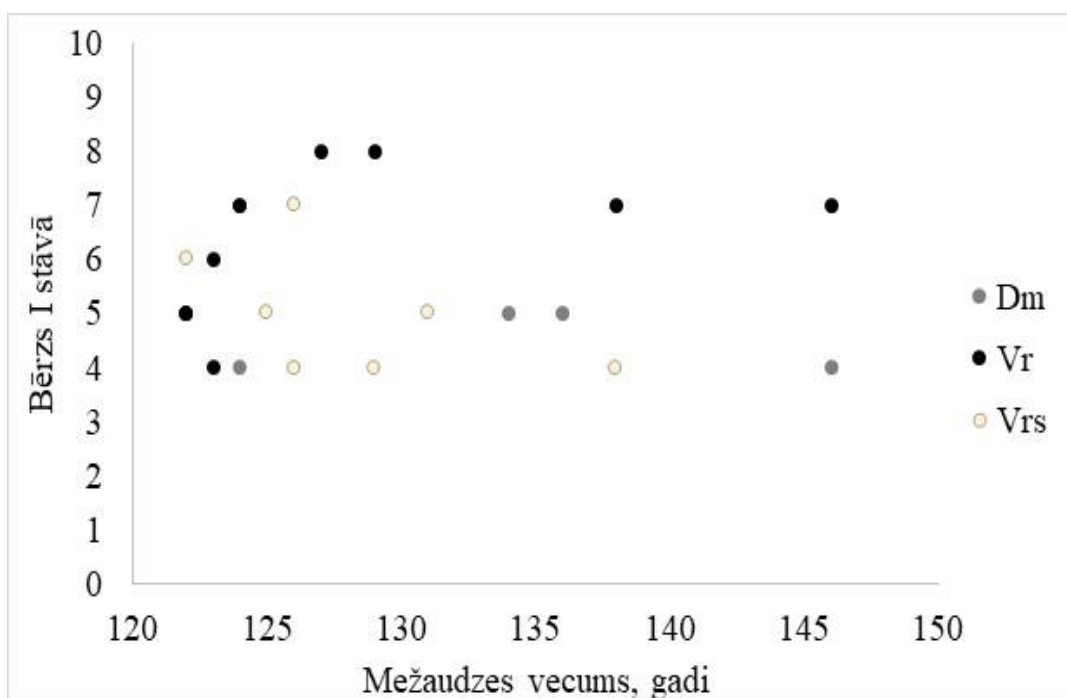
Veikta potenciālo audžu atlase ( $B \geq 5$  vienības  $\geq 120$  gadi) un visu potenciālo audžu apsekošana. Vairākumā gadījumu vecie bērzi ir “sabrukuši” un nogabalā palikuši tikai daži, lielākoties ir jaunāki bērzi. Saskaņā ar projekta metodiku (parakstīta 2017. gada pārskatā), izvēlētas tādas audzes, kur iespējami daudz veco bērzu, saprotot, ka tāpat parauglaukumā tie var būt 3-5 gab. un atkārtoti uzsverot, ka projektā tiek raksturotas vecas audzes, nevis vecs mežs, t.i., netiek vākta informācija par to, cik no bērzu audzēm tiešām sasniedz šādu vecumu. Veikta parauglaukumu ierīkošana plānotajos 27 audzēs, katrā vidēji 6 parauglaukumi, visā Latvijas teritorijā (1.1. att.; 1.1. tab.). Datu apstrādē konstatēts, ka atsevišķas audzēs tomēr bērzs pēc krājas nav valdoša koku suga, tādēļ šīs audzes turpmākā analizē nav izmantotas.

### Veco bērza audžu raksturojums

Audzū vecums ir no 122 līdz 146 gadiem, un bērzu audzes sastāvā formulā 4-9 vienības; atšķirībā no eglēm un priedēm, šāda vecuma bērzu tīraudzes netika konstatētas (1.2.attēls).



1.1.attēls. Pētījuma objektu izvietojums.



1.2.attēls. Bērza īpatsvars analizētajās mežaudzēs pa vecumiem damaksnī (Dm), vērī (Vr) un slapjajā vērī (Vrs).

Ierīkotās Dm un Vr audzes atbilst 1. un 2. bonitātei, kamēr Vrs variēja no 2 līdz 4 bonitātei, tomēr lielākajā daļā gadījumu Vrs atbilda 2. bonitātei. Bērza īpatsvars vai mežaudžu vidējais vecums pētījumā analizētajās mežaudzēs starp meža tipiēm būtiski vai nozīmīgi neatšķirās (1.1. tab.). Vidējais vecums Dm  $129 \pm 5$  gadi, Vr  $125 \pm 2$  gadi un Vrs mežaudzes vidējais vecums  $127 \pm 3$  gadi.

1.1.tabula

### Vērtēto mežaudžu raksturojums

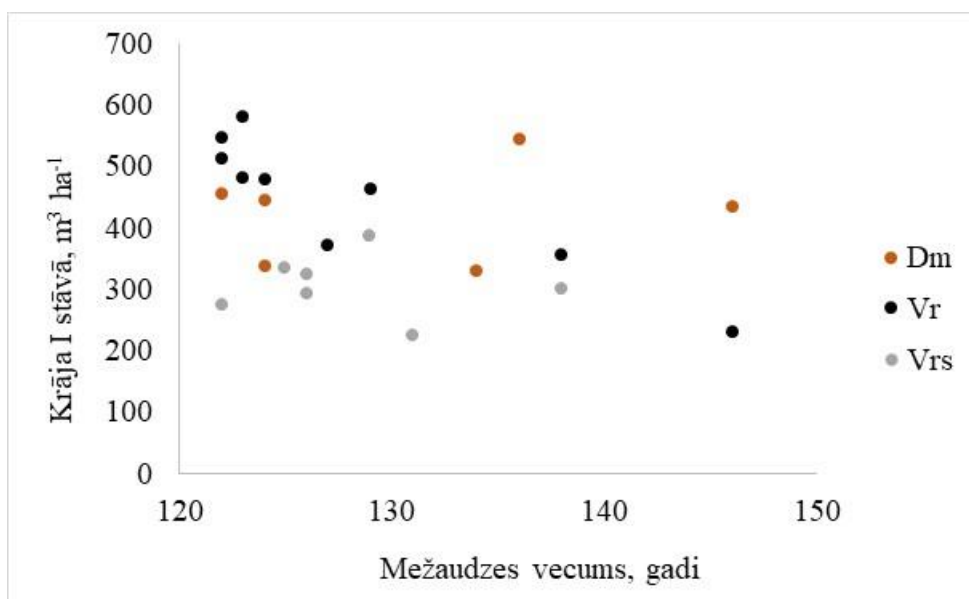
Obj	PL	1. stāvs						2.stāvs					
		Sastāvs	Dg	Hg	G m2ha	M m3ha	N ha	Sastāvs	Dg	Hg	G m2ha	M m3ha	N ha
103-165-19	1	9B1E+L	44.0	29.7	28.3	390	220	6E4L	16.6	17.0	12.3	111	560
	2	5B3E2P	30.4	26.7	26.0	336	340	7L3E+B	17.1	17.8	13.1	114	580
	3	8B1E1L	42.7	29.7	24.9	342	200	5E5L+K	19.7	18.2	12.7	114	480
	4	8B1E1L	49.3	31.6	28.4	398	180	6E1G1Oz1L1K	16.4	16.8	9.8	84	400
	5	9B1E+L	42.2	29.6	25.3	347	200	8E2L+Oz	18.4	17.5	15.8	145	620
	6	7B2E1L	46.6	31.1	30.6	417	260	5L5E	20.1	18.7	13.4	121	420
	Kopā	8B2E+P,L	42.0	29.5	27.2	372	233	6E4L	18.0	17.4	2.5	115	510
105-403-7	1	5B5E	28.2	26.6	30.4	362	480	10E	14.7	13.8	6.8	52	400
	2	8B2E	24.8	26.0	15.5	183	300	10E	13.8	13.2	7.1	54	480
	3	6B4E	28.7	26.7	13.3	159	180	9E1Bl	13.2	12.8	8.6	64	620
	4	9B1E	44.4	28.3	17.3	218	120	8E1A1Bl	13.7	12.9	10.2	76	760
	Kopā	7B3E	29.9	26.6	19.1	230	270	9E1Bl+A	13.8	13.1	1.9	61	565
106-51-11	1	8B1E1P	28.4	24.2	21.3	241	340	10E	14.2	14.1	5.1	41	320
	2	5B3P2E	33.3	25.5	36.7	440	400	10E	15.3	14.9	7.0	58	380
	3	7B2E1P	30.1	24.7	22.8	262	340	10E	14.8	14.7	7.3	60	420
	4	6B4E	27.7	24.3	19.5	223	300	10E	15.4	14.9	7.8	66	420
	Kopā	7B2E1P	30.0	24.7	25.1	292	345	10E	15.0	14.7	1.4	56	385
202-79-11	1	4A3P3E+B	36.1	31.0	35.5	502	460	10E+B	19.4	18.5	15.9	161	540
	2	7B2P1A+E	54.5	33.7	61.9	968	500	10E+Os	17.9	18.1	10.3	100	420
	3	8A1E1B	45.4	33.7	36.9	585	260	10E	21.7	20.3	5.9	61	160
	4	7B3A+E	46.9	34.3	44.2	674	360	10E	20.6	19.6	9.4	96	280
	5	5B4A1P	36.1	29.9	32.9	468	340	10E+B,M	23.4	20.9	11.1	117	280

204-263-8	6	8A1B1P	41.7	32.8	53.7	828	420	9E1M	22.2	20.4	15.4	161	400
	Kopā	5A3B1P1E	41.1	32.2	41.2	623	385	9E1M	20.1	19.2	1.8	122	388
	1	8B2E	36.2	28.1	33	416	320	10E	18.2	16.9	8	67	300
	2	10B	27.8	26.3	17	203	280	9E1B+Ba	17.7	16.7	15	131	700
	3	9B1E	27.3	26.2	23	279	400	6E4B	20.0	17.6	5	46	240
	4	5B3P1E1A	42.7	29.1	40	532	280	9E1Oz	20.5	17.8	6	50	180
	5	9B1E	28.3	26.5	21	256	340	9E1B	18.9	17.2	4	33	160
	6	7B3E	38.8	28.5	26	332	220	10E+B	15.7	15.7	10	85	520
Kopā	7B2E1P+A	33.3	27.6	27	336	307	9E1B+Ba,Oz	17.8	16.7	8	69	350	
205-178-21	1	9A1B	43.6	32.2	27.8	419	220	10E	19.3	16.4	4.7	39	160
	2	6B2A2Oz	46.6	32.6	30.0	433	220	10E+B	20.7	16.7	11.1	93	340
	3	5B5A	44.5	29.4	34.0	512	160	9E1A	21.3	17.1	10.0	83	400
	4	7B3A	43.1	32.5	34.9	520	220	5Oz5E	25.6	19.5	4.1	37	140
	5	7A3B	46.1	32.9	27.1	396	200	7Oz3E	26.6	19.5	6.8	64	160
	6	10B+Oz	65.3	34.2	28.2	450	100	8E2Oz	18.1	16.2	4.5	39	160
	Kopā	6A3B+Oz	47.1	32.7	31.2	471	200	8E1Oz1B	18.6	16.0	2.4	71	310
205-187-10	1	8B2E	39.1	30.8	31	433	260	10E	16.4	15.2	1	10	60
	2	10B	35.8	30.0	34	465	340	9E1B	15.7	14.7	10	78	520
	3	8B2E	37.5	30.4	26	358	240	7E3B+Oz	21.4	17.8	8	64	260
	4	5B4A1E	41.8	31.3	38	533	280	8E1A1Oz	17.4	15.7	7	58	280
	5	5B3A2E	38.0	30.5	43	584	380	7E2P1A	18.2	16.2	10	81	320
	6	7B3E	40.6	31.1	41	571	320	9E1Oz	17.2	15.6	6	49	280
	7	8B2E	36.4	30.1	37	500	360	10E	19.0	16.6	5	38	160
	8	6B4E	35.3	29.9	29	386	300	9E1Oz	18.6	16.4	4	36	160
	Kopā	7B2E1A	38.0	30.5	35	479	310	8E1B1Oz+A,PI	17.6	15.9	6	52	255
210-93-36	1	9B1E	30.0	28.3	26	326	360	9E1B	15.3	14.9	7	56	380
	2	8B2E	39.8	30.5	25	340	200	9E1B+Oz	16.7	15.9	8	70	380
	3	9B1E	38.5	30.2	44	608	380	9E1B	20.0	17.7	10	90	320
	4	9B1E	47.6	31.6	36	504	200	9E1Oz	17.7	16.5	2	18	100
	5	5B3E2A	41.4	30.7	35	493	260	8E2Oz	19.7	17.6	8	71	240
	6	8B2E+P	44.0	31.1	36	512	240	9E1B	23.1	19.2	10	88	240
	Kopā	8B2E+P,A	39.6	30.4	34	464	273	9E1B+Oz	18.5	17.0	8	65	277
301-91-13	1	4E3B3A	29.5	23.3	40	444	580	9E1P	14.6	13.7	5	38	300
	2	4B3E2Oz1L	32.0	25.6	39	426	480	7E3L	14.0	13.3	4	26	240
	3	6E3B1Oz+L	33.3	24.3	31	347	360	6L3E1K	13.0	13.8	5	36	320
	4	7E3B	26.4	22.4	31	328	560	9E1L	16.4	14.9	4	32	220
	5	4E3B2A1Oz	28.6	23.1	37	414	580	9E1L+B	16.6	15.0	7	51	360
	6	6E2B2Oz	34.7	24.7	36	399	380	6E3L1A+B	18.2	15.9	3	22	260
	Kopā	5E3B1A1Oz+L	30.4	23.6	36	393	490	8E2L+P,B,A,K	15.7	14.4	5	34	283
313-99-14	1	5B5E	33.9	33.3	41.9	653	360	10E	17.5	17.0	16.4	156	680
	2	7B3E	35.0	33.5	28.4	437	280	6E4L	15.5	15.5	4.3	37	260
	3	6B4E	35.0	33.4	36.9	571	340	9E1L	20.0	18.5	10.4	102	380
	4	6E4B	41.5	33.8	28.8	444	280	10E+B	20.8	19.1	4.3	43	140
	5	7E3B+M	36.6	31.5	41.3	628	420	10E	19.1	18.4	2.3	23	80
	6	7E3B	36.4	31.6	34.9	536	340	9E1M	17.6	17.0	6.0	56	240
	Kopā	5E5B+M	39.3	32.5	35.4	545	337	9E1L+B,M	18.3	17.4	1.3	69	297
405-294-13	1	6B2A1Ba1E	47.1	30.8	28.8	409	240	4M3Oz2B1E	25.4	21.2	6.4	58	260
	2	5A4B1Os	37.4	34.1	34.2	507	340	9E1B	14.1	13.8	3.7	29	240
	3	4B3P2Oz1E	48.3	31.2	44.3	626	260	6E3M1Oz+Bl	16.4	15.0	10.8	90	580
	Kopā	5B2A1P1E1Oz	40.6	30.1	35.8	514	280	5E3M2Oz+B	15.1	14.3	0.5	59	360
405-77-7	1	6B2M2E	40.8	26.1	25.0	294	260	10E	16.6	14.5	8.2	62	380
	2	6M3B1E	33.4	25.3	37.7	451	440	10E+M	15.0	13.9	4.4	33	260
	3	6B4M	34.8	24.9	25.9	307	300	6E4M	14.7	13.9	8.0	54	1160
	4	6M3B1E	38.7	26.4	32.6	397	320	7E2M1B	14.1	13.5	8.4	61	540
	5	7B3P	28.1	23.6	25.5	281	340	8E2M	17.9	15.1	5.0	37	200
	6	8B1E1M	32.9	25.1	24.2	277	300	10E	14.5	13.9	7.3	55	440
	Kopā	5B4M1E+P	33.4	24.9	28.5	335	327	E1M+B	15.3	14.1	1.7	51	497
411-192-7	1	6E4B	40.9	30.5	27.9	395	240	10E+Os,L,G	20.6	18.8	10.7	105	360
	2	5B3E2A	38.3	31.2	34.0	500	280	10E	20.3	18.4	8.5	84	260
	3	5E4B1A	44.8	30.9	54.7	806	380	10E	21.3	18.9	9.9	100	280
	4	4B3E2A1M	38.1	31.5	34.7	512	240	10E	21.5	19.3	10.2	103	280
	5	7E3B	42.0	31.4	47.7	688	360	10E	20.9	18.3	4.1	41	120
	Kopā	5E4B1A+M	41.8	30.8	39.8	580	300	10E+Os,L,G	20.9	18.8	0.9	87	260
411-257-19	1	7B3E	43.2	31.2	37.2	499	300	9E1K	20.3	18.9	5.1	49	160
	2	9B1E	42.5	30.9	26.3	362	220	9E1K+L	15.4	16.4	13.7	127	720
	3	7B3E	36.7	30.3	18.8	247	180	5K4E1L+G	24.8	20.5	9.8	95	280
	4	5B4E1L	42.9	31.0	31.5	403	320	4E3L2Ba1K	16.9	17.4	13.4	117	560
	5	7B3E	45.0	31.3	20.2	268	160	4E3L2K1Ba	12.9	15.5	7.8	67	420

502-67-14	Kopā	7B3E+L	42.1	31.0	26.8	356	236	6E2K1L1Ba	16.3	16.9	2.5	91	428
	1	5E5B+M	28.4	23.3	27	294	420	10E	18.1	16.2	4	29	140
	2	5B3M2E	31.4	25.4	25	283	320	10E	18.4	16.2	4	34	160
	3	4E4B2M	31.6	24.3	28	320	360	10E	19.7	16.6	6	49	200
504-267-12	Kopā	4B4E2M	30.4	25.3	27	299	367	10E	18.9	16.3	5	38	167
	1	7B3M+E,Ba	36.9	31.9	43	606	400	5E4M1Oz	23.9	19.9	9	80	260
	2	9B1E	39.7	32.6	32	471	260	8E1Oz1Pl	15.7	16.4	3	26	160
	3	4B3P2Ba1E	36.3	31.8	25	328	240	4P1M3B	21.7	15.4	2	13	60
	4	5A3B2E	48.5	35.3	53	828	320	9E1Pl	21.1	18.9	7	61	240
	5	4B3A3E	44.4	33.6	30	467	160	10E	22.4	19.4	3	30	80
	6	5B4A1E	46.8	34.1	27	405	180	10E	17.8	17.5	4	41	180
	7	9B1E	50.3	34.6	22	332	120	10E+M	19.9	18.4	11	102	360
602-313-17	8	7B2L1E	42.0	33.1	30	417	260	5L5E	16.3	17.5	4	34	200
	Kopā	6B2A1E1M	41.1	32.9	33	482	243	8E1M1L+B	19.6	18.3	5	48	193
	1	7B3P+E	32.8	28.9	42	555	400	10E	19.9	19.0	21	202	680
	2	5B3E2P	42.3	30.6	42	569	300	10E	21.0	19.4	19	186	560
	3	8B2E	35.5	29.5	23	309	220	10E	23.0	20.0	14	136	340
	4	5B5E	46.0	31.1	46	625	320	10E	20.3	19.2	8	80	260
	5	7E3B	44.6	30.7	39	538	260	10E	21.0	19.4	8	79	240
	6	8B2E	42.5	30.7	37	496	280	10E	23.9	20.2	8	77	180
603-416-4	7	6B3P1E	35.7	29.5	47	639	400	10E	18.6	18.6	8	73	280
	8	5P4B1E	49.9	31.6	47	642	300	10E	20.7	19.3	11	103	320
	Kopā	5B3E2P	38.8	30.1	40	547	310	10E	20.9	19.4	12	117	358
	1	4B4A2E	36.0	27.2	18	230	160	5Ba4E1A+B	15.2	14.7	14	106	800
	2	5A4B1P+E	57.4	28.6	44	565	340	9E1A+Ba	16.3	14.9	4	31	320
	3	5B3E2P	33.9	26.8	41	492	440	4Ba4E2Oz	19.0	15.9	4	31	160
	4	7B2E1P	40.2	27.8	31	377	280	10E	17.1	15.3	6	51	280
	5	6B4E	33.3	26.6	25	294	300	10E	17.9	15.7	10	76	380
609-59-9	6	4B3A2E1P	34.5	26.9	59	736	540	8E2A	19.0	16.3	7	52	440
	7	6B2E2A	35.7	27.1	36	435	360	9E1BA+Os	16.2	14.8	4	34	240
	8	4B3E3A	34.2	26.8	43	522	460	9E1B	18.0	15.8	6	49	240
	Kopā	5B2E2A1P	35.4	27.0	37	457	360	8E2Ba+B	17.3	15.4	7	54	358
	1	6B2M2E	33.5	22.1	18	179	240	8E2M+B	14.6	13.0	7	45	500
	2	4E4B2M	28.5	20.4	27	269	400	8E2M	15.5	13.3	4	26	260
	3	6B2A2E+M	30.5	21.8	23	230	340	8E2M	15.9	13.4	5	35	340
	4	5B3M2P+E	30.0	21.7	30	295	440	10E+M	14.9	13.1	9	62	540
611-89-3	5	6B2P1M1E	26.9	21.3	18	178	340	9E1B+M	14.7	13.0	9	58	600
	6	7B3P	25.4	21.1	21	199	400	8E2B	13.2	12.4	9	59	760
	Kopā	5B2E2M1P+A	28.8	21.6	23	225	360	8E1M1B	14.6	12.9	7	47	500
	1	7B3M	39.7	26.9	21	242	260	10M	12.7	15.0	5	39	400
	2	5M3B2E+P	32.3	25.4	37	449	420	4M3E3B	11.6	14.2	3	19	160
703-137-3	3	3B3A3E1Oz	34.5	26.0	21	247	220	8M2Ba	14.8	16.1	5	43	300
	4	3B3P3M1Oz	32.4	25.5	30	352	300	8M1E1B	12.6	14.9	7	50	460
	Kopā	4B4M2P+E,Oz	36.0	26.3	27	323	300	8M1E1B+Ba	13.1	15.2	5	38	330
	1	4B3P3E	43.0	28.2	38	447	380	10E	15.4	13.9	4	31	220
	2	6P2E2B	37.6	26.0	50	579	480	8E2Ba	14.9	13.5	2	16	120
	3	5E3B2P	35.1	24.4	36	411	360	10E	15.5	14.0	2	11	80
	4	5E4B1M	43.7	26.7	30	346	260	10E	16.1	14.3	2	18	120
703-311-11	5	4E3B3P+Ba	28.7	22.1	46	499	660	10E+Ba	15.4	13.9	5	38	280
	6	5B2P2E1M	36.0	26.5	33	387	360	5E3Ba2B+P	12.2	11.5	4	28	320
	Kopā	4B3E3P+M,Ba	35.1	26.2	39	445	417	9E1Ba+P,B	15.0	13.6	3	24	190
	1	3A2E2P2B	58.3	33.2	38	516	320	9E1B	17.0	16.2	4	37	200
	2	4P3B2E1A	32.8	27.6	37	485	340	10E	18.5	16.9	2	18	80
	3	4B3P2A1E	30.4	27.1	28	367	320	9E1B	17.1	16.3	5	46	240
	4	7B3E	28.9	26.8	15	169	240	8E2M+A	14.6	15.1	10	79	560
704-170-9	5	4B3A3E	29.5	26.9	32	416	340	8E2B	15.6	15.6	5	39	240
	6	6B2P2E	29.4	26.9	29	365	360	10E	16.7	16.1	10	85	460
	Kopā	4B2E2P2A	30.0	27.0	30	386	320	9E1M+B,A	16.2	15.9	6	51	297
	1	5B3M2E	34.8	23.0	30	302	360	10E	16.0	13.2	2	16	120
	2	7M2B1E	26.8	20.7	37	368	640	10E+B	15.7	13.1	10	64	500
	3	5M5B	26.9	20.7	28	278	460	10E+M	16.9	13.6	12	81	540
	4	5B3E2M	25.4	21.7	27	259	520	8E2M	15.7	13.1	8	53	500
	5	7B3E	31.1	22.6	27	273	380	10E+M	14.1	12.4	5	34	340
	6	7B3M+E	28.8	22.3	29	289	520	10E	14.2	12.4	3	21	200
	7	8B2M	28.3	22.2	24	237	420	10E	16.4	13.4	3	23	160
	8	6B4M	27.0	22.0	18	182	360	6M4E+B	9.4	13.5	3	23	380
	Kopā	6B3M1E	29.0	22.3	27	273	458	9E1M+B	15.7	13.1	6	39	343
	1	4B3E2A1P	47.2	28.3	37	453	380	10E+B,A	14.2	14.9	11	92	760

706-388-14	2	6B3E1A	30.2	25.9	32	370	540	10E	13.4	14.3	7	57	500
	3	6B4A+P	32.8	26.4	27	309	340	9E1B+Oz	14.4	15.0	14	111	980
	4	7B2E1M	42.8	27.8	24	286	240	5E4M1B	14.1	14.8	17	137	1200
	5	4E3B1P1M1A	24.5	22.6	22	255	320	6E2B2M	12.8	13.9	21	164	1640
	6	6B2E2M	35.5	26.8	26	305	340	8E1M1B	12.8	13.9	13	106	1060
	Kopā	5B2E1A1M+P	36.0	26.9	28	329	360	8E1M1B	13.6	14.4	14	111	1023
714-187-19	1	8B2E+A	35.3	32.8	30	420	320	10E	16.3	16.0	4	36	200
	2	6A3B1E+P	63.9	35.0	37	565	260	10E	19.2	17.6	6	52	200
	3	6B2E2A	31.8	31.7	33	461	400	10E	18.9	17.5	4	40	160
	4	6B2E2A	29.6	31.0	33	454	380	10E	18.2	17.1	7	64	280
	5	4A4B2E	43.0	34.8	40	594	400	10E	18.1	17.0	9	77	340
	6	4E3A3B	31.4	26.5	42	581	480	10E	16.6	16.1	3	30	160
	Kopā	5B3A2E+P	32.2	31.9	36	513	373	10E	18.0	17.0	6	50	223
804-212-19	1	7B3E	35.9	29.2	26.6	358	300	10E	18.4	19.0	13.2	138	500
	2	5B4E1A	31.9	28.1	32.8	461	360	10E	16.6	18.3	3.9	40	180
	3	6E4B	29.9	28.6	30.9	430	360	10E	17.2	18.5	9.3	96	400
	4	5A3B2E	50.3	34.0	33.5	490	320	10E	17.1	18.6	14.8	152	640
	Kopā	4B4E2A	34.1	28.5	31.0	435	335	10E	17.5	18.7	1.2	106	430
806-135-24	1	6B3P1E	33.6	32.6	39.6	594	420	10E+B	20.7	21.7	5.8	65	200
	2	5E3B2	38.7	31.8	47.4	743	340	10E	19.4	20.8	5.9	68	200
	3	8B2E	45.8	36.4	31.5	505	220	10E	20.8	21.9	8.2	95	240
	4	4B4P2E	32.9	32.6	26.7	395	280	10E	20.6	21.6	11.3	132	340
	5	7B3E	41.1	35.4	25.7	403	220	10E	22.3	23.2	6.2	74	160
	6	5B3E2A	34.4	33.2	40.1	622	360	10E	16.6	18.9	4.3	45	200
	Kopā	5B3E1P1A	37.9	34.0	35.1	544	307	10E+B	20.1	21.3	1.0	80	223

Koku skaits starp objektiem variē, kas svārstās robežās no 670 līdz 2708 koki ha<sup>-1</sup>. Koku skaits I stāvā vidēji ir 308 ± 17 koki ha<sup>-1</sup> (variē no 100 līdz 540 koki ha<sup>-1</sup>). Pētījuma objektos kokaudzes struktūra nav daudzveidīga, un koku skaits nav būtiski atšķirīgs starp meža tipi.



1.3.attēls. I stāva krāja analizētajos bērzu objektos damaksnī/vērī (Dm/Vr) un slapjajā vērī (Vrs).

Audzes II stāvs konstatēts visos objektos un visos parauglaukumos. Biezums II stāvā vidēji ir 1568 ± 596 koki ha<sup>-1</sup> (680 līdz 2780 koki ha<sup>-1</sup>). Otrā stāva vidējā krāja pētījuma objektos ir 69,2 ± 6,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (t.i., 17 % no kopējās audzes krājas).

Pētījumā analizētās pāraugušās bērzu audzes salīdzinātas ar pieaugušām (71-90 gadus vecām) bērzu audzēm, datus iegūstot no Meža statistiskās inventarizācijas (MSI). Oglekļa



uzkrājums pieaugušajās audzēs koku biomasā aprēķināts, izmantojot Liepiņš et al. (2017) vienādojumus, kritalās un sausoņos – Lazdiņš (2013) koeficientus.

Nedzīvā jeb atmirusī koksne ietver kritalas, sausoņus un stubeņus. Pētījuma objektos vidējais atmirušās koksnes apjoms ir  $53,8 \pm 38,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , tās apjoms audzēs un parauglaukumos to ietvaros nozīmīgi atšķirīgs: no 1,0 līdz  $222,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (1.2.tab.). Nedzīvās koksnes apjoms Dm/Vr vidēji ir  $56,1 \pm 38,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  un  $50,3 \pm 35,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Pētījuma objektos vidēji kritalu un sausoņu apjoms ir  $35,4$  un  $13,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , bet stubeņu vidējais apjoms ir  $8,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Vērtējot proporcionāli kritalas veido 63 %, stubeņi 14 % un sausoņi 23% no kopējās atmirušās koksnes apjoma. Analizējot atmirušo koksni pa sadalīšanās pakāpēm, secināts, ka vidēji pētāmajos objektos lielākoties ir vidēji sadalījušies koki. Kritālām ir novērota visas sadalīšanās pakāpes, kamēr sausoņiem un kritālām tikai 2 sadalīšanās pakāpe (1.3.attēls).

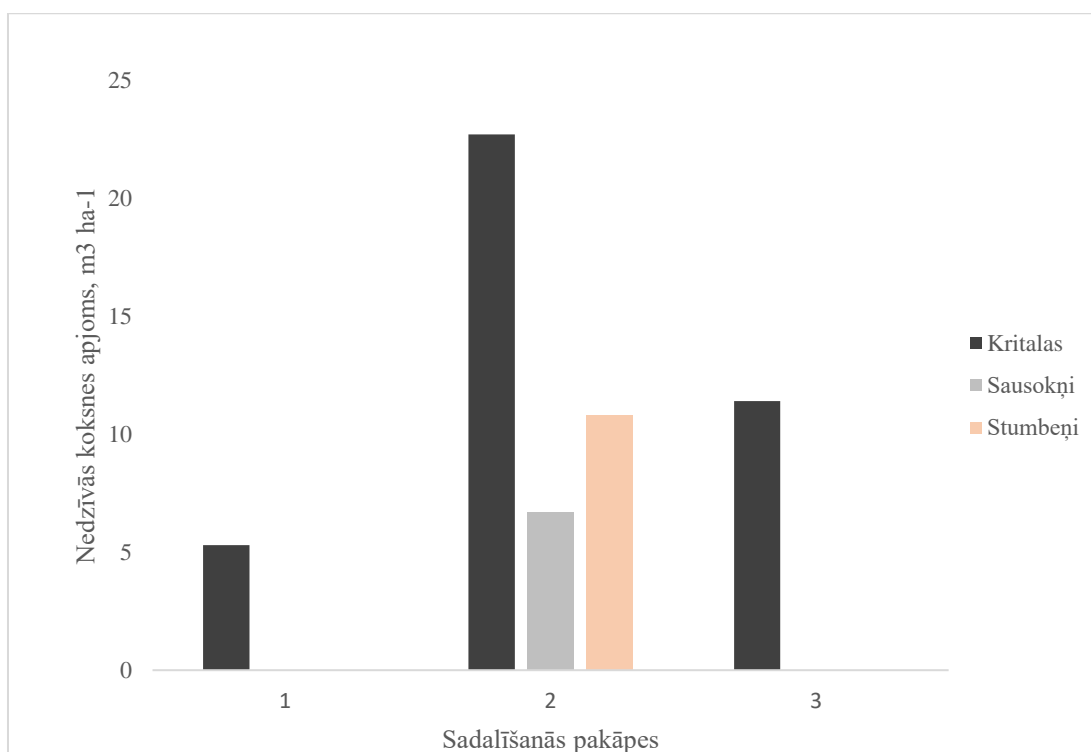
Pāraugušās bērzu audzēs konstatētais nedzīvās koksnes apjoms ir būtiski lielāks nekā pieaugušās bērzu audzes ( $3,3 \pm 0,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , MSI dati). Pāraugušās bērzu audzēs stubeņos novērots būtiski mazāks nedzīvās koksnes apjoms nekā pārējās atmirušās koksnes grupās. Savukārt pieaugušās bērzu audzēs netika konstatētas būtiskas apjoma atšķirības starp nedzīvās koksnes veidiem.

1.2. tabula

Nedzīvās koksnes apjoms pāraugušās bērza audzēs,  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$

Objekts	Kritalas	Stubeņi	Sausoņi	Kopā	Objekts	Kritalas	Stubeņi	Sausoņi	Kopā
103-165-19	22.2	1.2	2.7	26.1	609-59-9	51.8	13.3		65.0
	75.6	3.2	7.3	86.0		37.5		14.8	52.3
	96.8	2.5	0.0	99.3		20.9	4.2	14.5	39.6
	70.3	0.0	10.1	80.4		11.5	12.3	22.0	45.8
	49.7	38.3	2.8	90.9		22.4	0.7	21.3	44.4
	26.3	0.0	20.5	46.8		15.2		0.9	16.1
	56.8	7.5	7.2	71.6		26.5	5.1	12.2	43.9
105-403-7	24.4	1.3	2.7	28.4	611-89-3	18.9	9.6	0.4	28.9
	40.3	2.3	7.6	50.2		28.9	5.9	8.8	43.5
	67.4	0.5	8.1	76.1		3.9	22.7	6.3	32.9
	51.9	0.0	0.7	52.7		74.7	3.9	18.4	97.0
	46.0	1.0	4.8	51.8		31.6	10.5	8.5	50.6
106-51-11	16.1	6.3	7.8	30.2	703-137-3	27.0	12.4		39.3
	9.1	0.0	5.5	14.6		12.9	14.3	11.3	38.5
	27.5	7.2	2.2	36.9		6.4	14.5	15.1	36.1
	64.5	7.5	3.5	75.5		22.1	13.6		35.7
	29.3	5.2	4.7	39.3		18.2	10.2	12.1	40.5
204-263-8	8.0	3.2	10.5	21.7				1.0	1.0
	1.4	1.2	2.6	5.3	14.4	10.8	6.6	31.9	
		0.2	3.0	3.2	20.2	3.4	0.2	23.7	
	32.2	9.7	3.3	45.2	16.9	2.9	27.7	47.5	
	14.4	11.9	1.1	27.5	77.6	5.1	15.6	98.3	
	14.3		2.0	16.2	89.4	12.9	25.6	127.9	
205-187-10	11.7	4.4	3.8	19.9	703-311-11	38.3	1.7	15.2	55.2
	37.3	9.1	4.0	50.5		30.7	6.4	2.9	40.1
	48.3	1.2	3.8	53.2		45.5	5.4	14.5	65.4
	61.8	9.5	2.6	73.8		27.3	2.7	30.1	60.1
	24.9	0.2	11.3	36.5		6.4	6.7	2.1	15.2
	41.0	1.8	22.7	65.4		15.5	10.5	6.9	33.0
	40.6	0.6	3.9	45.1		6.4	2.0	3.3	11.7
	35.9	14.2	32.4	82.5		31.0	9.4	1.9	42.3
	20.4		9.3	29.7		5.3	10.8	3.2	19.3
38.8	4.6	11.2	54.6	9.3	2.5	11.7	23.5		
210-93-36	16.0	2.6	2.9	21.5	706-388-14	22.6	0.5	7.0	30.1
	53.3	10.3	1.4	65.0		15.5	5.7	8.3	29.4
	47.3	34.7	22.9	105.0		11.8	2.6	11.1	25.6
	29.3	12.3	19.3	60.9		20.0	4.3	5.4	29.7
	58.0	5.0	3.3	66.3		32.9	2.2	0.7	35.9
	43.7	13.9	1.5	59.0		34.5	5.8	1.3	41.5
41.3	13.1	8.6	63.0	16.0	2.3	4.8	23.1		

405-294-13	7.5	2.8	6.7	17.0	714-187-19	36.5	0.4	4.0	40.9
	68.3	2.6	9.5	80.4		25.3	2.9	4.6	32.8
	33.4	21.6	17.2	72.1		167.4	4.2	4.9	176.6
	36.4	9.0	11.1	56.5		76.5	10.2	34.7	121.3
405-77-7	50.1	7.6	31.3	89.0	804-212-19	59.8	28.0	2.8	90.6
	47.8	3.9	21.6	73.3		61.2	24.6	61.5	147.3
	52.1	0.0	6.0	58.1		48.2	8.9	39.0	96.2
	30.6	2.6	18.4	51.7		59.6	7.5	38.0	105.1
	16.4	1.9	24.9	43.2		78.8	13.9	30.2	122.8
	41.7	2.7	4.6	48.9		17.4	4.0	0.3	21.7
	39.8	3.1	17.8	60.7		67.2	4.6	1.0	72.8
411-192-7	59.9	6.7	0.0	66.6	806-135-24	52.4	0.0	43.3	95.7
	81.2	0.1	0.7	82.1		74.9	32.8	1.8	109.5
	61.7	6.9	1.5	70.1		53.0	10.4	11.6	74.9
	44.0	0.2	0.0	44.1		18.1	0.0	0.3	18.5
	75.6	0.0	7.9	83.5		56.4	13.3	0.3	70.1
411-257-19	64.5	2.8	2.0	69.3	92.0	3.7	0.0	95.6	
	72.4	4.7	16.3	93.4	53.6	1.5	38.8	94.0	
	34.1	0.0	8.8	42.9	109.0	39.7	2.8	151.4	
	21.5	1.1	5.1	27.7	64.0	24.3	0.0	88.2	
	36.7	2.3	57.0	96.0	65.5	13.7	7.0	86.3	
	65.3	2.7	1.3	69.3					
502-67-14	46.0	2.2	17.7	65.9					
	35.4	12.9	1.8	50.1					
	13.2	2.3	29.8	45.3					
	6.2	4.8	3.8	14.8					
504-267-12	18.3	6.7	11.8	36.7					
	46.5	7.3	3.6	57.4					
	26.5		37.1	63.6					
	10.7	6.0	1.5	18.2					
	8.0	2.2	1.3	11.6					
	13.2	0.2	1.5	14.9					
	39.4	7.0	3.5	49.9					
	31.4	55.4		86.8					
602-313-17	24.9	11.9	0.2	37.0					
	25.1	11.3	6.1	42.4					
	19.9	1.6	0.9	22.5					
	35.0	2.5	14.5	51.9					
	10.2		1.6	11.9					
	28.8	9.9	53.5	92.1					
	40.6		1.9	42.5					
	65.1	13.5	11.3	89.9					
603-416-4	10.9	0.9	16.0	27.7					
	7.8	24.1	60.6	92.4					
	27.3	6.6	20.0	53.9					
	91.6	6.6	0.8	99.1					
	25.2	1.8	34.1	61.1					
	152.9	5.9	1.5	160.3					
	134.6	2.4	25.6	162.6					
	121.4	6.1	95.3	222.8					
	33.5	5.8	30.2	69.5					
	61.8	9.4	11.2	82.4					
	38.4			38.4					
	82.4	4.8	24.8	112.0					



1.4.attēls. Vidējais atmirušās koksnes apjoms pa sadalīšanās pakāpēm vērtētajās mežaudzēs visā analizētajā audžu kopā.

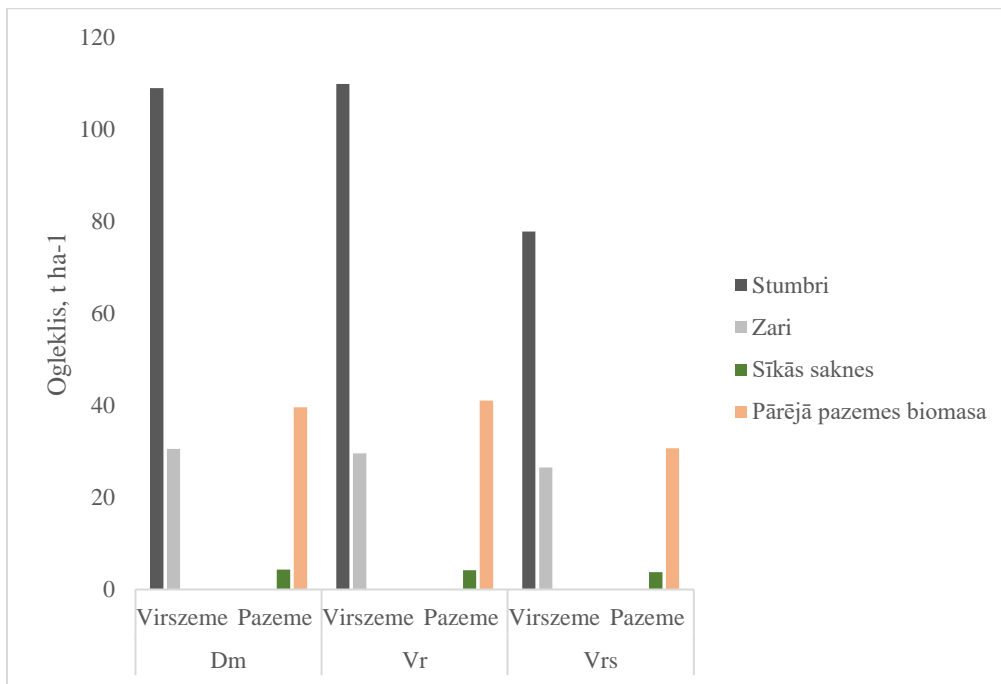
Pāraugušās bērzu audzēs konstatētais nedzīvās koksnes apjoms ir būtiski lielāks nekā pieaugušās bērzu audzes ( $3,3 \pm 0,7$  m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, MSI dati), būtiska ir veco mežaudžu atmirušās koksnes datu analīze, tostarp novērtējot uzkrāto oglekli.

Jāatzīmē, ka saskaņā ar Latvijas nacionālo SEG emisiju ziņojumu un tajā izmantoto metodiku, atmirusī koksne tiek uzskaitīta meža zemju kategorijā kā oglekļa krātuve (līdzīgi kā koksnes produkti). Tā, saskaņā ar jaunāko 2019.gada Latvijas nacionālo SEG emisiju ziņojumu (uz 03.2019. projekts) kopējā Latvijas meža zemju neto piesaiste 2017.gadā sastāda 5004.90 kt CO<sub>2</sub> ekv., kur dzīva biomasa veido neto piesaisti 4564.87 kt CO<sub>2</sub> ekv, bet nedzīvā koksne 2108.84 kt CO<sub>2</sub> ekv, kas sastāda gandrīz pusi no dzīvās biomasas radīto piesaisti.

### Oglekļa krātuves novērtējums

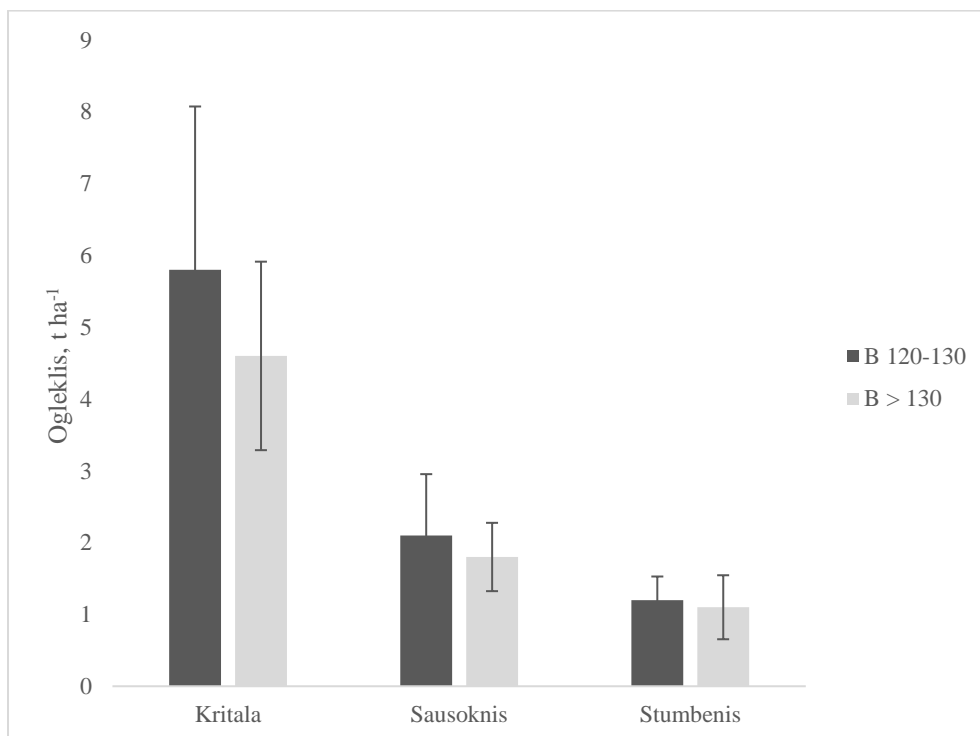
Konstatēts, ka pāraugušās bērzu audzēs Dm/Vr vidēji oglekļa uzkrājums koku virszemes biomasā ir  $138 \pm 9,8$  t ha<sup>-1</sup> (variē no 91,3 līdz 202,2 t ha<sup>-1</sup>), bet pazemes biomasā  $41,2 \pm 2,5$  t ha<sup>-1</sup> (variē no 31,3 līdz 60,0 t ha<sup>-1</sup>). Savukārt pāraugušās bērzu audzēs Vrs oglekļa uzkrājums koku virszemes biomasā ir  $102,7 \pm 19,7$  t ha<sup>-1</sup> un variē no 66,6 līdz 145,9 t ha<sup>-1</sup>, bet pazemes biomasā  $30,3 \pm 6$  t ha<sup>-1</sup> (variē no 19,3 līdz 44,5 t ha<sup>-1</sup>).

Novērtēts arī uzkrātais oglekļa apjoms pa koka biomasa frakcijām (1.5.att.). Lielākā oglekļa krātuve ir stumbrs (Dm/Vr 59%; Vrs 57% no kopējā oglekļa uzkrājuma) mazāka – zari (Dm/Vr 17%; Vrs 19%). Savukārt oglekļa uzkrājums pazemes biomasā, kurā ietilpst balstsaknes, uzsūcošās saknes un celms, Dm/Vr un Vrs veido 23%, bet sīkajās saknēs attiecīgi 2,4% un 2,9% no kopējā dzīvajā biomasā uzkrātā oglekļa apjoma (1.5.att.).



1.5.attēls. Oglekļa uzkrājums dzīvās koksnes biomasas frakcijās

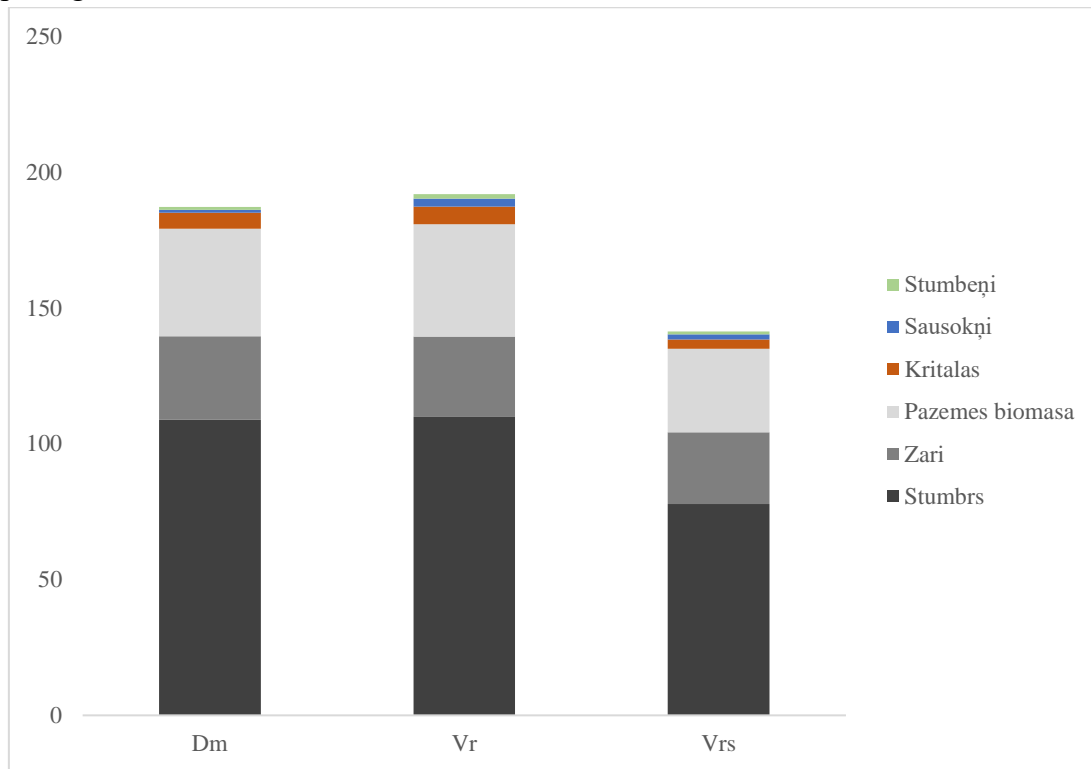
Kopumā uzkrātais ogleklis nedzīvajā koksnē pāraugušās bērzu audzēs vidēji ir 24,4 t ha<sup>-1</sup>: Dm/Vr 34,5 t ha<sup>-1</sup>, bet Vrs 6,0 t ha<sup>-1</sup>. Iespējams, ka atšķirības saistītas ar straujāku atmirušās koksnes sadalīšanos mitrākos apstākļos. Oglekļa apjoms sausokņos un kritālās sausoņos un slapjainos ir attiecīgi 9,8 un 2,5 t ha<sup>-1</sup>. Stumbeņos uzkrātais oglekļa apjoms ir būtiski lielāks, nekā pārējās nedzīvās koksnes grupās un sasniedz vidēji 14,0 t ha<sup>-1</sup> (1.6.att.).



1.6.attēls. Oglekļa uzkrājums pa nedzīvās koksnes grupām pāraugušās bērzu audzēs

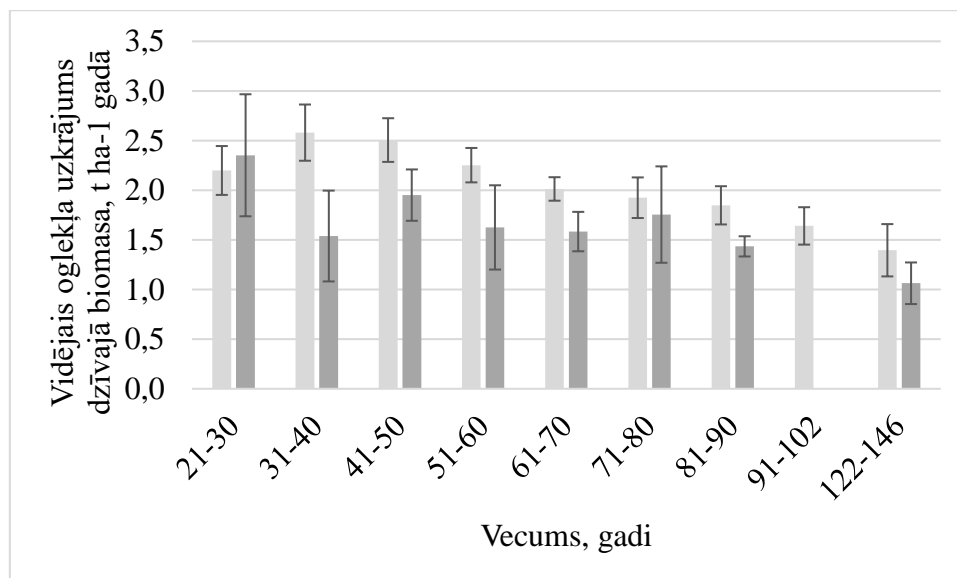
Pieaugušās bērzu audzēs, salīdzinot ar pāraugušām, oglekļa uzkrājums nedzīvajā koksnē ir mazāks visās grupās (kritālas, sausokņi, stumbeņi). Kopējais biomasā un atmirušajā koksnē

uzkrātais oglekļa apjoms pāraugušās bērzu audzēs koksnē (gan dzīvajā, gan nedzīvajā) vidēji Dm/Vr ir  $220,7 \pm 34,3$  un un Vrs ir  $140,0 \pm 26,6$  t ha<sup>-1</sup> (1.7.att.). Šie rādītāji ir būtiski lielāki nekā pieaugušās audzēs konstatētie.



1.7. attēls. Kopējais oglekļa uzkrājums dzīvajā un nedzīvajā koksnē pāraugušās bērzu audzēs

Oglekļa uzkrājums gadā augošu koku biomasā lielākais ir 30-60 gadus vecās bērzu audzēs, pāraugušās audzēs tas ievērojami un statistiski būtiski mazāks, damaksnī un vērī sasniedzot vidēji  $1,4 \pm 0,26$  un slapjajā damaksnī  $1,16 \pm 0,21$  t ha<sup>-1</sup> gadā (1.8.att.).



1.8.attēls. Vidējais oglekļa uzkrājums gadā bērzu audzēs dzīvajā biomasā damaksnī/vērī un slapjā vērī dažādās vecuma grupās (MSI un pētījuma dati).

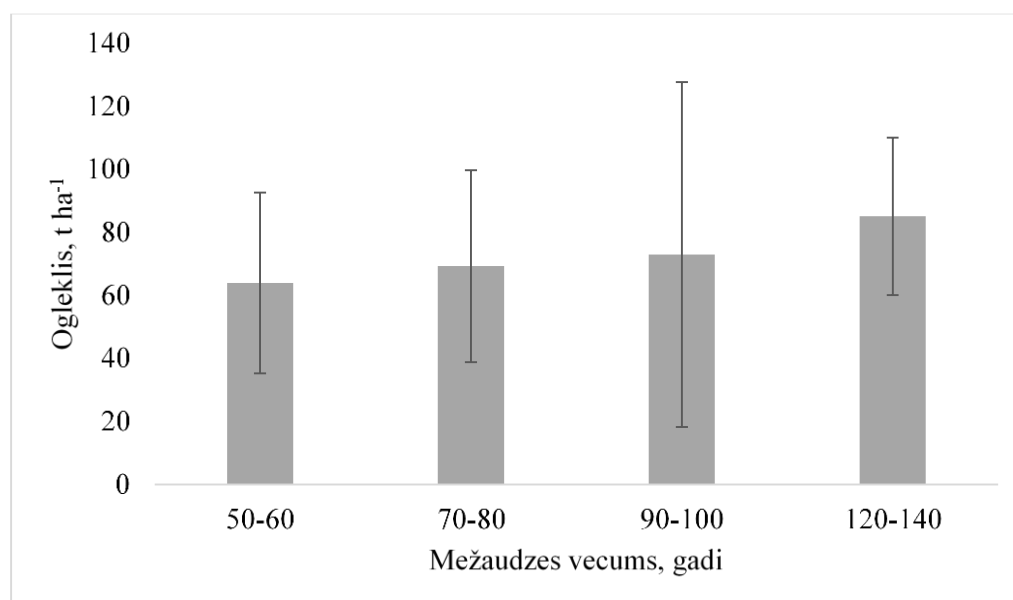
## 2.Oglekļa uzkrājuma augsnē un nobirās bērza un priedes audzēs raksturošana

**Augsnes, nobiru un zemsegas paraugu ievākšana (27 bērza un 14 priedes audzes) un apstrāde (27 bērza un 14 priedes audzes) oglekļa uzkrājuma raksturošanai un raksturojuma sagatavošana.**

Veikta paraugu ievākšana un to laboratoriska apstrāde saskaņā ar plānu un pētījuma iepriekšējos pārskatos (2016. un 2017. gada pārskats) aprakstīto metodiku.

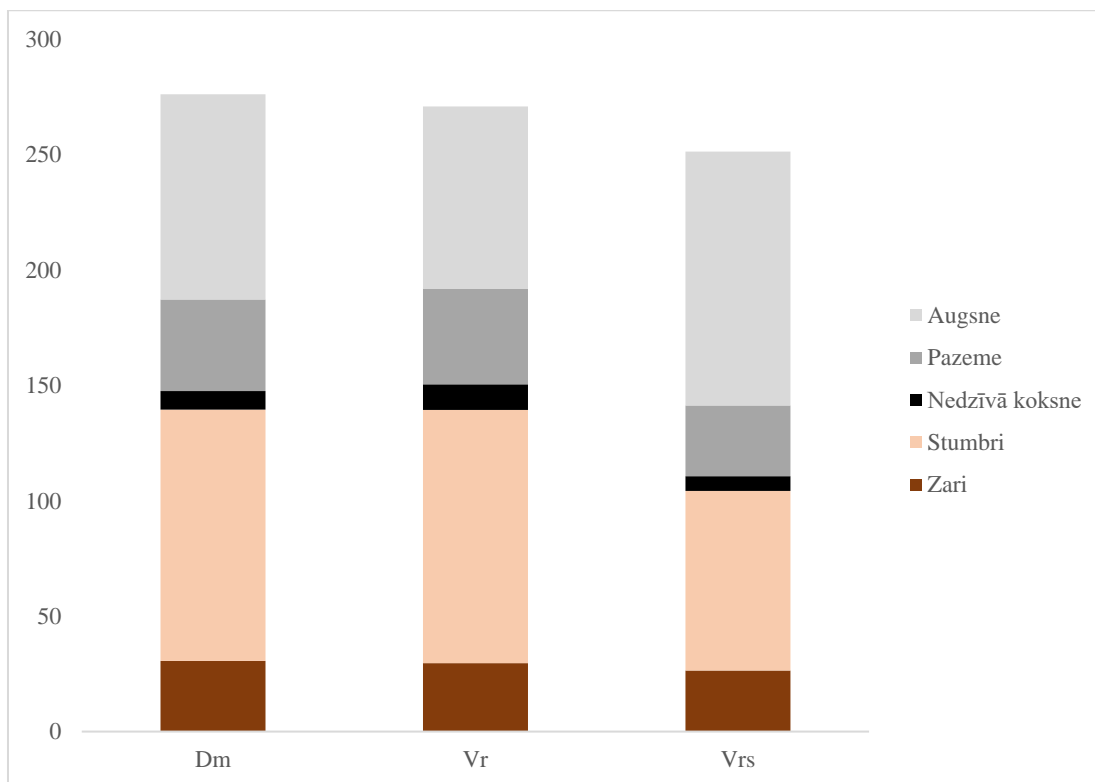
### Bērzu audzes

Pāraugušu bērzu mežaudžu augsnēs oglekļa daudzumu damaksnī/vērī (Dm/Vr) un slapjajā vērī (Vrs) ir vidēji 85 un 110 t ha<sup>-1</sup>. Tas ir salīdzinoši vairāk, nekā pieaugušās audzēs (2.1. att.) tomēr atšķirības nav statistiski būtiskas. Iegūto rezultātu precizitāti ietekmē paraugu apjoms augsnēs pieaugušās audzēs: izmantota BioSoil informācijas un tur vērtētajos meža tipos ir tikai 6 audzes vecumā no 47 līdz 98 gadiem. Lai nodrošinātu precīzāku salīdzinājumu, līdzīgi kā skujkokiem, būtiski ievākt un analizēt papildu augsnes paraugus no pieaugušām bērzu audzēm.



2.1.attēls. Oglekļa uzkrājums pāraugušu (pētījuma dati) un jaunāku (BioSoil projekta dati) bērzu audžu augsnē sausoņu mežu tipos (Dm un Vr).

Kopējais uzkrātais oglekļa apjoms (dzīvā un nedzīvā koksne un augsne) pāraugušās bērzu audzēs statistiski būtiski neatšķiras starp meža tipiēm (2.2. attēls).



2.2.attēls. Kopējais oglekļa uzkrājums pāraugušās bērzu audzēs

## Priedes audzes

Oglekļa uzkrājuma raksturošanai augsnē (0-80 cm) un zemsegā (O horizonts) veikta visu nepieciešamo un plānoto paraugu ievākšana un apstrāde LVMI Silava Meža vides laboratorijā. Izmantojot iegūtos parametrus ( $C_{org}$ , g/kg, augsnes blīvums  $kg\ m^{-3}$ , augsnes frakcija  $> 2\ mm$ , %, augsnes slāņa masa, g, u.c.) veikta oglekļa uzkrājuma aprēķināšana.

Konstatēts, ka kopējais oglekļa uzkrājums augsnē (0-80 cm) pāraugušās priežu audzēs damaksnī (Dm) variē ļoti plašās robežās - no 11 līdz 302  $t\ ha^{-1}$ . Vidēji pāraugušās Dm audzēs oglekļa uzkrājums augsnē ir  $68.4 \pm 21.4\ t\ ha^{-1}$ . Savukārt pāraugušās priežu audzēs niedrājā (Nd) vidējais oglekļa uzkrājums augsnē ir  $166.3 \pm 78.6\ t\ ha^{-1}$ . Uzkrātais oglekļa apjoms augsnē būtiski atšķiras starp meža tipiem ( $p = 0.03$ ); Nd ir par 59% vairāk ogleklis uzkrāts augsnē, salīdzinot ar Dm audzēm.

Oglekļa uzkrājums zemsegā (O horizonts) būtiski neatšķiras pāraugušās priežu audzēs starp Dm un Nd ( $p > 0.05$ ). Konstatēts, ka vidējais oglekļa uzkrājums zemsegā pāraugušās priežu audzēs Dm ir  $11.5 \pm 3.5\ t\ ha^{-1}$ , bet Nd  $2.9 \pm 6.2\ t\ ha^{-1}$ .

Lai aprēķinātu kopējo oglekļa uzkrājumu pāraugušās priežu Dm un Nd audzēs, objektos, kuriem netika ievākti augsnes un zemsegas paraugi, tika izmantotas iegūtās vidējās vērtības (2.1. tabula).

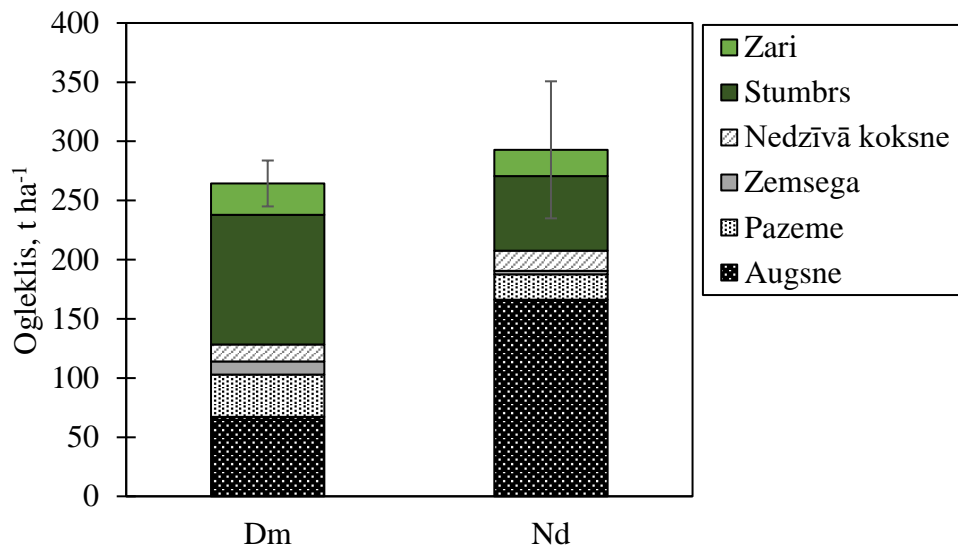
2.1. tabula.

Oglekļa apjoms pāraugušās priežu audzēs Dm un Nd, t ha<sup>-1</sup>

<b>Objekts</b>	<b>Dzīvā koksne</b>	<b>Atmirusī koksne</b>	<b>Augsne</b>	<b>Zemsega</b>	<b>Kopā</b>
103-489-19	115.5	28.6	50.3	4.4	<b>198.8</b>
104-162-9	202.0	8.9	28.5	10.9	<b>250.4</b>
105-245-15	134.2	24.4	23.8	6.5	<b>188.9</b>
107-211-3	187.5	14.0	49.3	19.3	<b>270.1</b>
109-265-3	173.1	11.2	171.4	4.0	<b>359.7</b>
110-388-2	143.0	14.8	29.9	8.8	<b>196.5</b>
110-388-3	134.7	8.1	68.4	5.1	<b>216.3</b>
203-407-5	176.3	10.3	53.0	29.5	<b>269.1</b>
205-242-1	186.0	16.5	68.4	11.5	<b>282.4</b>
205-243-3	179.5	23.2	68.4	11.5	<b>282.6</b>
205-255-18	195.1	20.9	68.4	11.5	<b>295.9</b>
301-218-32	57.8	4.8	166.3	2.9	<b>231.8</b>
303-360-12	181.5	23.3	65.3	6.6	<b>276.7</b>
303-360-13	180.8	23.8	37.1	4.4	<b>246.1</b>
303-360-15	184.9	31.2	55.8	7.5	<b>279.4</b>
304-165-12	116.9	40.0	166.3	2.9	<b>326.1</b>
305-174-12	125.4	25.3	183.9	2.9	<b>337.4</b>
408-363-19	189.6	19.3	102.9	7.9	<b>319.6</b>
409-292-15	172.9	11.9	46.8	5.3	<b>236.9</b>
502-213-20	165.7	3.1	68.4	11.5	<b>248.7</b>
504-56-9	187.0	11.6	68.4	11.5	<b>278.4</b>
504-58-7	185.9	11.6	68.4	11.5	<b>277.4</b>
603-378-2	197.0	28.4	68.4	11.5	<b>305.3</b>
603-393-5-6	148.7	29.1	68.4	11.5	<b>257.7</b>
706-175-22	151.9	8.5	68.4	11.5	<b>240.3</b>
706-361-29	145.5	12.6	199.7	34.8	<b>392.6</b>
707-185-6	92.0	7.1	148.7	2.9	<b>250.7</b>
713-66-40	193.4	11.2	16.6	5.1	<b>226.3</b>
802-432-11	177.0	10.2	68.4	11.5	<b>267.1</b>
805-43-27	110.6	24.4	166.3	2.9	<b>304.2</b>

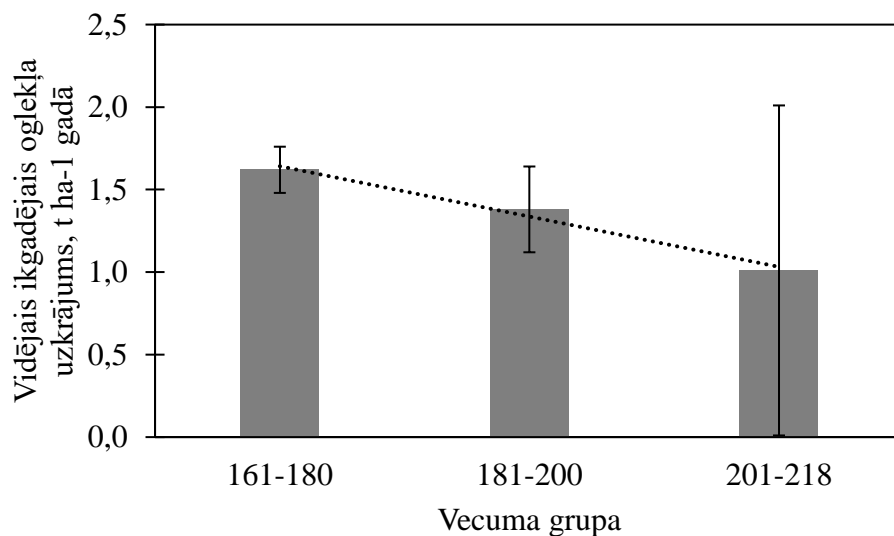


Kopējais uzkrātais oglekļa apjoms (dzīvā un nedzīvā koksne, augsne, zemsega) pāraugušās priežu audzēs (P 160+) vidēji Dm un Nd ir  $266.5 \pm 19.4$  un  $290.0 \pm 57.9$  t ha<sup>-1</sup> un tas būtiski neatšķiras starp meža tipiēm ( $p = 0.32$ ) (2.3. att.).



2.3. attēls. Oglekļa krātuves pāraugušās priežu audzēs.

Vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums pāraugušās priežu audzēs Dm ir  $1.51 \pm 0.13$  t ha<sup>-1</sup>, bet Nd ir  $1.61 \pm 0.41$  t ha<sup>-1</sup>. Pāraugušās priežu audzēs Dm vidējais ikgadējais oglekļa uzkrājums samazinās vecākās audzēs (3.3. att.).



3.3. attēls. Vidējais oglekļa uzkrājums gadā (dzīvā un nedzīvā koksne, augsne, zemsega) damakšņa priedes audzēs.

Trūkst datu, lai veiktu objektīvu šī apjoma salīdzinājumu ar pieaugušās audzēs konstatējamo; šī problēma identificēta jau pagājušajā gadā, analizējot egļu audzes, un plānots to risināt nākamā gada pētījumu paplašinājuma ietvaros, atsevišķi vienojoties ar LVM.

## Oglekļa uzkrājuma dinamikas raksturošana

Oglekļa uzkrājums un piesaiste bērzu audzēs hemiboreālajos un boreālajos mežos līdz šim kompleksi analizēti tikai atsevišķos zinātniskajos pētījumos, ietverot gan kārpainā, gan pūkainā bērza audzes līdz 60-78 gadu vecumam. Šie pētījumi balstīti uz ļoti ierobežotu datu kopu (katrā konkrētā vecumā tikai 1 audze), bet detalizētāku analīzi, nekā mūsu pētījumā notiekošā, vērtējot nevis oglekļa uzkrājumu (*carbon pools*), bet tā izmaiņu dinamiku (*carbon budget*). To rezultāti apkopoti zinātākajos rakstos:

- 1) Uri V., Kukumāgi M., Aosaar J., Varik M., Becker H., Morozov G., Karoles K. (2017) Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. *Forest Ecology and Management*, 399, pp. 82-93;
- 2) Varik M., Kukumāgi M., Aosaar J., Becker H., Ostonen I., Lõhmus K., Uri V. (2015) Carbon budgets in fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) chronosequence stands. *Ecological Engineering*, 77, pp. 284-296;
- 3) Varik M., Aosaar J., Ostonen I., Lõhmus K., Uri V. (2013) Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. *Forest Ecology and Management*, 302, pp. 62-70;
- 4) Uri V., Varik M., Aosaar J., Kanal A., Kukumāgi M., Lõhmus K. (2012) Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 267, pp. 117-126.

Pārskatā ietvers šo pētījumu metodikas un secinājumu apkopojums, kas var kalpot kā bāzes turpmākai pētījumu attīstībai Latvijā.

**Igaunijā veiktajos pētījumos** katrā noteikta vecuma tīraudzē ierīko tikai vienu parauglaukumu, kur nosaka tādas kokaudzi raksturojošos lielumus, kā vecumu, vidējo augstumu un caurmēru (DBH), audzes biezību, šķērslaukumu un krāju. Virszemes biomasu novērtē augusta beigās, kad tās veidošanās kārtējā veģetācijas sezonā ir noslēgusies.

### Virszemes biomasu

Virszemes biomasu nosaka pēc (Bormann un Gordon, 1984; Uri et al., 2007a,b; Uri et al., 2012)

$$y = aD^{b}_{1,3}, \quad (1)$$

kur

y ir virszemes biomasu modeļa kokam,  $D_{1,3}$  – DBH (cm), a un b ir regresijas vienādojuma parametri, kas iegūti pēc paraugkoku nociršanas un virszemes daļu svēršanas, atsevišķi izdalot stumbru, vecākos zarus (>1 gads), konkrētā veģetācijas perioda dzinumus un lapas.

Kokus sadala piecās DBH klasēs, no kurām paraugkokus izvēlās pēc nejaušības principa (izslēdzot malas kokus) - 12 no jaunākajām un piecus no vecākajām audzēm. Tos nocērt, stumbrus sadala 5 vai 10 daļās (attieciģi jaunākajās un vecākajās audzēs). Jaunajās audzēs - pirmā daļa 0-1,3 m, otrā 1,3 m-zaļā vainaga zemākais zars. Vainagu sadala 3 vienādās daļās. Savukārt vecākajās audzēs - pirmā daļa 0-1,3 m, katra nākamā pa 2 m līdz zaļā vainaga zemākajam zaram, un vainagu sadala 10 vienādās daļās. Gan jaunākajām, gan vecākajām audzēm, lielākās vainaga daļas sver mežā, bet perifērās, novēršot to žūšanu, transportē uz laboratoriju un sver ar augstākas precizitātes svāriem. Tāpat pa vienam paraugzaram no katras vainaga daļas ved uz laboratoriju, kur to sadala lapu, konkrētā veģetācijas perioda dzinumu, vecāku zaru un atmirušu zaru frakcijās. No katras frakcijas izdala paraugus sausnes noteikšanai un ķīmiskajām analīzēm. Paraugus žāvē 70 °C līdz nemainīgam svāram un sver ar 0,01 g precizitāti. Zariem nosaka mizas un koksnes proporciju. Atsevišķo frakciju kopējo sausnes

apjomu nosaka katram modeļa kokam pēc tā biomasas un sausnes attiecības (Uri et al., 2007a,b).

Atsevišķo vainaga frakciju (vecākos zarus (>1 gads), konkrētā veģetācijas perioda dzinumus un lapas) visas audzes biomasas nosaka, kā to procentuālo sadalījumu modeļa kokos (Uri et al., 2007a,b, 2009).

Konkrētā veģetācijas perioda stumbra koksnes pieaugumu (CAI) nosaka pēc gadskārtu platuma līdz 0,001 mm precizitātei, ko iegūst no katras stumbra daļas vidus izzāģētas, izzāvētas un noslīpētas ripas. Koksnes pieaugumu paraugkokiem aprēķina pēc Whittaker un Woodwell, (1968), kā

$$W_i = W_0 (r^2 - (r - i)^2) / r^2, \quad (2)$$

kur  $W_i$  ir koksnes sausnes ikgadējais pieaugums (g),  $W_0$  - koksnes sausnes masa (g),  $r$  ir gadskārtu parauga (ripas) rādiuss (mm),  $i$  - gadskārtas platums (mm). Koksnes un mizas relatīvais pieaugums tiek pieņemts kā proporcionāli vienāds. Stumbra daļu pieaugumu summē stumbra kopējā pieauguma noteikšanai, nosakot alometrisku sakarību starp DBH un visa stumbra koksnes masas pieaugumu un iegūstot regresijas vienādojum parametrus  $a$  un  $b$ .

Biomasas datu pārvēršanai no masas vērtībām krājas vērtībās, izmanto koksnes blīvuma vērtības pēc Kasesalu (1965), kas 52 līdz 104 gadus veciem kokiem ir  $650 \text{ kg m}^{-3}$ .

Otrā stāva koku (egļu) krāju aprēķina, kā

$$V = GHF, \quad (3)$$

kur  $V$  ir stumbru tilpums ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ),  $G$  - šķērslaukums ( $\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ),  $H$  - vidējais augstums,  $F$  - veidskaitlis (formas faktors). Krājas vērtības pārvērš masas vērtībās, izmantojot 40 gadus vecu koku koksnes blīvumu  $427 \text{ kg m}^{-3}$  (Löhmus, 1987; Ostonen et al., 2005). Zaru biomasu aprēķina pēc zaru/stumbra biomasu procentuālās attiecības 40 gadus vecā audzē - 9,7 % (Löhmus, 1987). Savukārt zaru primārās produkcijas (PP) aprēķināšanai izmanto zaru/stumbra biomasu attiecību biomasu (Ostonen et al., 2005). Tāpat pēc Ostonen et al. (2005) var pieņemt, ka uzsūcošo sakņu PP īpatsvars ir atbilstošs 40 gadus vecai audzei uz auglīgas augsnes - 13,1 %.

### Sakņu biomasa

Lielo sakņu frakcijai tās izrok jauniem (~6 gadi) un vidēja vecuma (~32 gadi) kokiem. Celmu un lielo sakņu frakciju biomasas raksturošanai veic to izrakšanu nejauši pa DBH klasēm izvēlētiem 12 paraugkokiem (modeļa kokiem) jaunās audzēs, pa 1 paraugkokam vidēja vecuma audzēs. Vidēja vecuma kokiem izrok tikai viena, vidējā modeļa koka saknes. Izrokot saglabā pēc iespējas vairāk uzsūcošo sakņu. Izraktās un no augsnes substrāta atdalītās saknes sadala  $D < 2 \text{ mm}$ ,  $2 \text{ mm} \leq D < 5 \text{ mm}$ ,  $5 \text{ mm} \leq D < 10 \text{ mm}$ ,  $D \geq 10 \text{ mm}$  un celma frakcijās. Sausnes noteikšanai no katras frakcijas iegūtos paraugus žāvē  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  līdz nemainīgam svaram un sver ar 0,1 g precizitāti. No katras frakcijas iegūst paraugus arī ķīmiskajām analizēm.

Jauno koku lielo sakņu frakcijas biomasu ( $y$ ) tālāk aprēķina ar alometrisku sakarību (2) no koka DBH ( $D$ ), kur regresijas vienādojuma parametri iegūti pēc izrakto sakņu lielo frakciju svēršanas.

Vidēja vecuma kokiem virszemes biomasu nosaka, kā paraugkoka izraktās lielo sakņu frakcijas un virszemes biomasas bez lapām attiecību (*root-shoot ratio*, B/A). Tajā neiekļauj uzsūcošo sakņu frakciju, ko pilnībā precīzi izrakt nav iespējams (Löhmus et al., 1991, Uri et al., 2002). Līdzīgi aprēķina arī cita vecuma (~14 gadi un ~60 gadi) koku virszemes daļu biomasu. Jaunaudzēs sakņu sistēmas īpatsvars no kopējās koka biomasas būtiski samazinās, palielinoties vecumam, un nostabilizējas otrajā vecumklasē, tālāk ar vecumu mainoties maz. Tāpēc sakņu biomasas aprēķināšanai izmanto 21 % B/A. Pēc Varik et al. (2013) lielo sakņu frakcijas biomasas vidējā proporcija vidēja vecuma audzēs ir 18%. Jaunākās audzēs - 19,3% (Uri et al., 2007b).

Lielo sakņu frakcijas PP aprēķina, koka virszemes daļas PP/biomasas attiecību ekstrapolējot sakņu biomasai, izņemot uzsūcošajām saknēm (Aosaar et al., 2013). Tām savukārt PP iegūst empīriski trīs reizes veģetācijas periodā (jūnijā, augustā un oktobrī) no izeaugšanas kamerām (*ingrowth cores*,  $d=40$  mm, sieta izmērs 6 mm), kuras audzē izvietojuma nejauši izvēlētos transektos, 30 cm dziļumā un aizpilda ar nesablīvētu tās pašas vietas augsnes substrātu (Ostonen et al., 2005). Sakņu nomaiņas (*turnover*) ātrumu nosaka pēc dzīvo/nedzīvo sakņu īpatsvara, datot uzsūcošo sakņu PP ( $\text{g m}^{-2} \text{ gads}^{-1}$ ) ar uzsūcošo sakņu vidējo biomasu ( $\text{g m}^{-2}$ ) (McClaugherty et al., 1982), kuru nosaka pēc dzīvo sakņu vidējās biomasas izeaugšanas kamerās.

#### Koku uzsūcošo sakņu biomasas

Koku uzsūcošo sakņu biomasas (USB) un nekromasas (sausnes) noteikšanai izmanto augsnes zondēšanu (Vogt et al., 1981, Uri et al., 2007) ar 38 mm diametra cilindrisku zondi, izklaidus pa visu audzi ievācot 20 paraugu 0-10, 10-20, 20-30 un 30-40 cm dziļumā katrā paraugošanas punktā. Zondes augšējās daļas iekšējais diametrs ir par 1,6 mm lielāks nekā augsnes griezējšķautne, lai novērstu parauga sablīvēšanos ievākšanas laikā. Iegūtos paraugus līdz analizēšanai uzglabā aizvalcējamās polietilēna maisiņos  $-18$  °C temperatūrā. Laboratorijā no paraugiem sietos izskalo augsnes substrātu un iegūtās sakņu daļas ar binokulārā mikroskopa palīdzību nodala koku saknes no lakstaugu saknēm, sadala pa diametru klasēm un sašķiro pa “dzīvas”/“nedzīvas” grupām pēc krāsas un izturības (Persson, 1983, Vogt and Persson, 1991). Sakņu paraugus žāvē  $70$  °C līdz nemainīgam svaram un sver ar  $0,001$  g precizitāti. Iegūtā USB ( $\text{g m}^{-2}$ ) katram paraugam tiek izmantota vertikālā sakņu biomasas sadalījuma raksturošanai uz katru audzes hektāru, kā vidējās vērtības pa attiecīgajiem paraugu ņemšanas dziļumiem. Katra koka USB iegūst, attiecinot USB uz audzes biezumu (Finér et al., 2007).

Savukārt uzsūcošo sakņu apjoma aprēķināšanai vidēja vecuma audzē izmanto  $d < 2$  mm biomasu un  $2 \text{ mm} \leq d < 5 \text{ mm}$  pret  $d < 2$  mm biomasas attiecību ( $B2-5/B<2$ ). Pēc Varik et al. (2013), šī attiecība ir būtiski atkarīga no audzes vecuma:

$$(B2-5/B<2) - 0,0086x + 1,2939 \quad (4)$$

#### Ektomikorizas masa

Ektomikorizas masas (EM) noteikšanai ievāc 10 gab. 10 līdz 20 cm garus sakņu paraugus, ietverot gan pārkoksnējušās, gan sakņu galu frakcijas no 10 pēc nejaušības principa izvēlētajām paraugošanas vietām ar lāpstu no A horizonta līdz 20 cm dziļumam. Lai ievāktajiem paraugiem saglabātos uzsūcošo sakņu gali, augsnes substrātu no tiem laboratorijā atdala zem mikroskopa. Sakņu galu skaitu nosaka ar WinRHIZO™ Pro 2003b programmatūru. EM sakņu galu masu iegūst no pēc nejaušības atlasītiem 3 sakņu paraugiem, kurus izžāvē, un no katra parauga iegūto sauso masu dala ar tā paša parauga sakņu galu skaitu (Ostonen et al., 2007). Vidējā EM un sakņu galu skaits no viena kvadrātmetra tiek izmantots EM sakņu galu biomasas kvantificēšanai uz kvadrātmetru attiecīgajā augsnes profilā paraugošanas vietā. USB un EM atkarība no audzes šķērslaukuma ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) ir virszemes un sakņu biomasu attiecību indikators (Ostonen et al., 2011, Leppälammī-Kujansuu et al., 2013).

#### Zemsedzes veģetācijas biomasas

Lakstaugu virszemes un sakņu daļas ievāc 1 kvadrātmetra platībā. Sakņu biomasas noteikšanai ar 108,6 mm diametra augsnes zondi ievāc 10 paraugus līdz 30 cm dziļumam. Iegūtajiem paraugiem no katra 10 cm dziļuma slāņa atsevišķi sietos izskalo augsnes substrātu. Lakstaugu saknes ar binokulārā mikroskopa palīdzību atdala no koku saknēm. Tās žāvē  $70$  °C līdz nemainīgam svaram un sver ar  $0,01$  g precizitāti. Paraugiem nosaka arī oglekļa koncentrāciju.

### Nobiru masa

Audzēs izvieto pa 10 nobiru ķērājiem, kuru platība 0,25, 0,33 un 0,53 m<sup>2</sup>. Veic nobiru šķirošanu pa frakcijām, daļai no katras frakcijas – sausas masas iegūšanu un oglekļa koncentrācijas noteikšanu.

### Augsnes analīzes

Veic augsnes klasifikāciju pēc profilbedres. Augsnes oglekļa saturu nosaka 0-10, 10-20, 20-30 un 40-50 cm dziļumā, paraugojot ar 35 mm diametra augsnes zondi katrā audzē desmit nejauši izvēlētos punktos. Desmit cm dziļumā oglekļa saturu analizē 5 atkārtojumos.

Augsnes profilbedrē katram horizontam nosaka blīvumu līdz 50 cm dziļumam ar tērauda cilindru (d = 40 mm, 100 cm<sup>3</sup>), nesablīvējot paraugu ievākšanas brīdī. Paraugus žāvē 105 °C līdz nemainīgam svaram. Nosaka to sausas svaru. A horizontam nosaka fizikālās īpašības – frakciju sadalījumu pa 63 μm ≤ Ø < 2000 μm ar sijāšanu, 2 μm ≤ Ø < 63 μm un < 2 μm ar titrēšanu. Īpatnējo virsmas laukumu nosaka ar ūdens tvaiku adsorbciju uz 10 g sausa substrāta (Puri un Murari, 1964).

Gan heterotrofās (Rh), gan autotrofās (Ra) augsnes gāzu apmaiņas (Rs) raksturošanai ierīko parauglaukumu ar sānu izolāciju (trenching) līdz 50 cm dziļumam, izmantojot PVC caurules ar 20 cm iekšējo diametru. Paraugošanas vietas ierīko ar 5 m intervālu, tās attīra no nobirām un zemesdzēsveģētācijas saknēm. 50 cm attālumā no izolētajiem gāzu apmaiņas parauglaukiem ierīko pamatnes (*collar*) līdz 1-2 cm dziļumam (20 cm iekšējais diametrs) neizolētiem augsnes gāzu apmaiņas mērījumiem. Mērījumus veic reizi mēnesī ar aizvērtās kameras metodi - PP Systems SRC-1 kamera (1170 cm<sup>3</sup>) ar CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O gāzu analizatoru CIRAS-2. Vienlaikus mēra arī augsnes temperatūru, mitruma saturu 5 cm dziļumā. Datus ielasa reizi 8 sekundēs. Kontrolei ierīko 5 pamatnes ar iekšējo diametru 10 cm un augstumu 5 cm. Augsnes temperatūru un mitruma saturu mēra ar stundas intervālu visas augšanas sezonas gaitā.

Augsnes gāzu apmaiņas raksturošanai, vides parametru kontekstā izmanto regresijas (*multiple stepwise*) analīzi:

$$FLUX = R_{10} Q_{10}^{((T_s-10)/10)} a e^{bSWC}, \quad (5)$$

kur FLUX ir augsnes gāzu apmaiņa, R<sub>10</sub> - augsnes gāzu apmaiņa pie 10 °C, Q<sub>10</sub> - gāzu apmaiņas ātruma pieaugums pie temperatūras paaugstināšanās par 10 °, a un b ir koeficienti, SWC—augsnē mitruma saturs un T<sub>s</sub> - augsnes temperatūra. Sānu izolācija izmaina SWC paraugšanas vietā, tāpēc aprēķinos ir iekļauts dabiskais SWC no neizolētas augsnes.

Bezsniega sezonā Rs un Rh plūsmas visām audzēm modelē, izmantojot mēneša vidējās T<sub>s</sub>:

$$FLUX = R_{10} Q_{10}^{((T_s-10)/10)} \quad (6)$$

Atdalīto sakņu sadalīšanās, kas izraisa paaugstinātu Rh, kompensēšana tiek aprēķināta tikai d < 2 mm un 2 mm ≤ d < 5 mm frakcijām, kā

$$M_t / M_0 = e^{-kt}, \quad (7)$$

kur M<sub>t</sub> ir atlikusī sakņu masa laikā (t) (gadā), M<sub>0</sub> - sākotnējā sakņu masa, bet k aprēķina pēc V. Uri un Löhms et al. (1995) nepublicētajiem datiem: ja d < 2 mm, tad k=0,18 un ja 2 ≤ d < 5 mm tad k= 0,24.

Uzsūcošo sakņu atmirumu aprēķina reizinot USB ar sakņu apmaiņas ātrumu. Pēc tam ir nepieciešams koriģēts Rh aprēķins masas zudumu kompensēšanai:

$$R_{h\text{ cor}} = R_h - SWC_{\text{cor}} - \text{sakņu atmiršana}_{\text{cor}} + \text{sakņu apmaiņa}_{\text{cor}} + \text{zemesdzēsveģētācijas nobiras}_{\text{cor}}$$

Ra iegūst atņemot Rh no Rs.

Kopējo slāpekļa saturu nosaka ar Kjeldāla metodi. Augiem pieejamā fosfora saturu (amonija laktāta izvilkumā) nosaka *Flow injection* analizē ar Tecator ASTN 9/84. Augsnes reakciju 1 mol

KCL izvilkumā nosaka attiecībā 10 g uz 25 ml. Oglekļa saturu nosaka izžāvētiem paraugiem ar sausās izdedzināšanas metodi (VarioMAX CNS elemental analyser, ELEMENTAR, Germany).

### Koksnes ķīmiskās analīzes

Slāpekļa koncentrāciju saknēs nosaka, kā kopējo slāpekli ar Kjeldāla metodi, (Tecator AN 300). Oglekļa saturu nosaka izžāvētiem paraugiem ar sausās izdedzināšanas metodi (VarioMAX CNS elemental analyser, ELEMENTAR, Germany).

### Audzēs oglekļa bilance

PP aprēķina, summējot ikgadējos pieaugumus visām virszemes (pirmais, otrais un zemsedzes stāvs) frakcijām ar visām sakņu frakcijām (arī zemsedzes augu). Ekosistēmas neto produktivitāti (*Net ecosystem production*, NEP) iegūst, atņemot  $R_h$  no PP. NEP aprēķina pēc (Lambers et al., 2008), kā

$$NEP = PP - R_h \quad (8)$$

$NEP > 0$ —oglekļa piesaiste, bet  $NEP < 0$ —emisija.

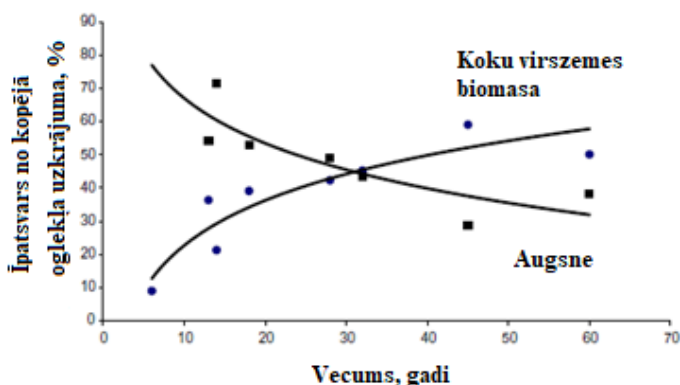
### Mikrobioloģija

Audzē ievāc trīs augsnes paraugus ar  $\varnothing$  2 cm augsnes urbi līdz 10 cm dziļumā, no kuriem atlasa 10 apakšparaugus un izsijā ( $d < 2$  mm). Tālāk nosaka mikrobioloģiskās biomasas oglekļa saturu un dehidrogēno aktivitāti. 50 g augsnes parauga ar dabisko mitruma saturu bagātina ar 0,25 g glikozes un inkubē noslēgtā traukā pie 22 °C tumsā 24 h. Uz katru gramu sausas augsnes nosaka skābekļa patēriņu pēc Platen un Wirtz (1999). Metabolisko aktivitāti nosaka ar paraugu gāzu apmaiņas mērījumiem ar Oxitop manometrisko sistēmu (Oxitop1, WTW). Mikrobioloģiskās biomasas oglekļa saturu izsaka Beck et al. (1996), kā

$$1 \text{ mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1} = 28 \text{ mg biomasas C g}^{-1} \quad (9)$$

Dehidrogēno aktivitāti mēra, lietojot [2-(p-iodophenyl)-3-(p-nitrophenyl)-5-phenyl tetrazoliumchloride] šķīdumu (INT). Paraugus inkubē tumsā 2 h pie 40 °C. Reducēto iodonitrotetrazolium formazan (INTF) ekstraktē ar dimethylformamīdu un etanolu, mēra ar fotometriku pie 464 nm pēc von Mersi (1996).

Pētījumos Igaunijā iegūtie rezultāti liecina, ka oglekļa uzkrājums bērzu audzēs pirmā stāva kokaudzes biomasā palielinās, pieaugot vecumam, kamēr augsnē tas ir nemainīgs: neatšķiras starp jaunām un vecām audzēm. Līdz ar to, pieaugot audzes vecumam, samazinās augsnē uzkrātā oglekļa īpatsvars no kopējā oglekļa uzkrājuma (3.4. att.)



3.4. attēls. Oglekļa uzkrājuma sadalījums bērza audzēs (Uri et al., 2012)

Sakņu biomasā uzkrātā oglekļa īpatsvars no kopējā koku biomasā uzkrātā oglekļa palielinās, pieaugot audzes vecumam no 3% jaunās audzēs, līdz 28% briestaudzēs. Uzsūcošajās saknēs kopumā ir 11 līdz 25% no kopējā sakņu biomasas oglekļa apjoma; īpatsvars palielinās,

pieaugot audzes vecumam, savukārt dzīvo/atmirušo uzsūcošo sakņu attiecība hiperboliski samazinās, palielinoties audzes vecumam.

Kopumā, palielinoties audzes vecumam, bērzu audzes mainās no neto oglekļa piesaistītāja (*sink*) uz neizteiktu neto oglekļa emisiju avotu (*source*) (Uri et al., 2017).

Šo metodiku būtu iespējams izmantot arī turpinot iesākot pētījumu pēc projekta beigu termiņa: posmā no 2021. līdz 2030. gada, jo LVM apsaimniekošanās esošo pāraugušo audžu platības trupina palielināties, vienlaikus ar nepieciešamību kāpināt SEG piesaisti, lai nodrošinātu Latvijas starptautisko saistību izpildi. Lēmumu pieņemšanai šādos apstākļos ir būtiska iespējami precīza informācijas par oglekļa uzkrājuma izmaiņu dinamiku (*carbon budget*) vecās audzēs. Tādēļ ir būtiski izstrādāt šī pētījuma turpinājuma ceļa karti, ietverto to kā papildinājumu 2019. gada pētījuma uzdevumā.

Apvienoto Nāciju Organizācijas Vispārējā konvencija par klimata pārmaiņām (UNFCCC), Kioto protokols un Parīzes līgums paredzēti, lai palēninātu globālo sasilšanu, saglabājot to zem 2°C (salīdzinājumā ar atskaites līmeni) un sasniegtu oglekļa neitrālu ekonomiku pēc 2050. gada (Grassi et al. 2017; van der Gaast et al. 2018). Mežiem ir būtiska nozīme šī mērķa sasniegšanā, tāpēc oglekļa bilances izvērtēšana vecās mežaudzēs (un vecā mežā) ir nepieciešama, lai pilnveidotu SEG emisiju un CO<sub>2</sub> piesaistes prognožu modeļus, raksturojot mežaudžu novecošanas ietekmi uz SEG emisijām un CO<sub>2</sub> piesaisti. Pētījumā iegūtos datus izmantosim arī SEG inventarizācijas uzlabošanai Zemes izmantošanas, zemes izmantošanas maiņa un mežsaimniecība (ZIZIMM), precizējot darbību datus (krājas pieauguma un atmiruma rādītājus) augsnes oglekļa uzkrājuma izmaiņu raksturošanai. Tām jābūt caurskatāmām, precīzām (ieskaitot informāciju par variāciju), konsekventām un pilnīgām; tas ietver arī datu caurskatāmības un ticamības neatkarīgu pārbaudi iespēju, tādējādi – zinātniski pamatotu metodoloģiju (IPCC, 2006; Krug 2018).

Pētījuma turpinājums nodrošinās tautsaimniecības konkurētspējas uzlabošanu, vienlaikus nodrošinot pārbaudāmu informāciju par visiem pieņēmumiem, kas izmantoti siltumnīcefekta gāzu (SEG) aprēķinos, ja tas nepieciešams. Neto oglekļa dioksīda piesaistīšanas kompensēšana citos ne-Emisiju tirdzniecības sistēmas (ne-ETS) sektoros, izmantojot emisiju samazinājumu – ir ievērojami augstākas par klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumu (piemēram, apmežošanas) izmaksām mežsaimniecības sektorā – vidēji attiecīgi 56 un 20 EUR uz Mg CO<sub>2</sub> (Lazdins et al., 2018). Turklāt pēc 2030. gada daļu no piesaistes mežsaimniecības sektorā (Latvijas gadījumā – 3,1 milj. Mg CO<sub>2</sub> ekv.), gadījumā, ja ZIZIMM sektors neradīs neto emisijas, varēs izmantot, lai kompensētu ne-ETS sektorā esošās emisijas saskaņā ar regulā 2018/841/ES definēto kārtību. Tas nozīmē ekonomisko guvumu desmitu milj. EUR apmērā.

Informāciju par oglekļa uzkrājuma dinamiku pāraugušās audzēs nav iespējams iegūt no citu valstu pētījumiem, jo šādu pētījumu hemiboreālajos mežos Eiropā nav. Arī citās mežu zonās iegūto datu apjoms ir ārkārtīgi ierobežots. Iepriekšēji egļu pētījumi ietver vecas audzes (116 – 145 gadu) Čehijas kalnos (Seedre et al. 2015), vienu pāraugušu audzi Somijā (Finer et al. 2003), hronosekvences analīzi (16 – 142 gadi) egļu mežos Centrāleiropā (Mund et al. 2003; Jacob et al. 2013). Veca parastā priedes audze (viena, > 150 gadi) pārstāvēta Igaunijā un Somijā veiktā analīzē (Vucetich et al. 2000), tāpat Vidusjūras kalnu mežos (120 gadi) Spānijā (Moreno et al. 2015) un (līdz 177 gadiem) Turcijā (Lee et al. 2016). Nav pētījumu par oglekļa uzkrājuma dinamiku bērzu audzēs Ziemeļeiropā; analizētas tika līdz 60 – 78 gadu vecas audzes (Uri et al., 2015, 2017). Nav pētījumu par oglekļa uzkrājuma dinamiku pāraugušās audzēs uz organiskām

augsnēm, šo aspektu nevērtē arī esošais pētījums Latvijā (izņemot atsevišķas priedes audzes niedrājā).

Pētījuma mērķis ir raksturot oglekļa uzkrājumu vecās, saimnieciskās darbības neietekmētās mežaudzēs. Šobrīd SEG aprēķinus saimnieciskās darbības neskārtām mežaudzēm neveic, taču tas nenozīmē, ka šādas audzes nav būtisks komponents faktiskajā SEG bilancē Latvijā. Pašreiz tiek pieņemts, ka vecās audzēs oglekļa uzkrājums un piesaiste ir līdzsvarā (Odum, 1969; Seedre et al., 2015), tomēr dažos pētījumos norādīts, ka vecas audzes varētu būt nozīmīgs (Carey et al., 2001; Zhou et al., 2006; Luysaert et al., 2008) vai vājš (Pukkala, 2017) oglekļa neto piesaistītājs vai pat vājš oglekļa emisiju avots (Uri et al., 2017). Viena vai otra pieņēmuma izmantošana noved pie pilnīgi atšķirīgiem lēmumiem par meža apsaimniekošanu. Var nonākt pie secinājuma, ka neskārtās (nepsaimniekotās) mežu platības labvēlīgi ietekmē kopējo oglekļa uzkrājumu (Schwenk et al. 2012; Stupak et al. 2007; Felton et al. 2016) un tādēļ saimnieciskā darbība jāsamazina. Izmantojot modeļos citus pieņēmumus, iespējams secināt, ka ilgtermiņā oglekļa bilance (ietverot arī koksnes produktus – gan aizstāšanas ietekmi, gan izmešus mežizstrādes, transportēšanas un ražošanas procesos) ir labāka apsaimniekotos mežos nekā neapsaimniekotos (Pukkala, 2017). Lielā mērā šādas pretrunas, kurām var būt nozīmīga saimnieciska ietekme, ir tādēļ, ka katrs modelis ir tikai tik labs, cik labi ir tā izveidei un/vai pārbaudēm izmantotie dati. Turklāt secinājumus ietekmēs klimats (atrašanās vieta) un augsne, kā arī dabisko traucējumu režīms, kas mainīs klimata izmaiņu ietekmē (Reyer et al., 2017, Seidl et al., 2014, 2015, Taylor et al., 2014. gads) un šīs izmaiņas jāņem vērā modeļos (Alrahahleh et al., 2017; Reyner et al., 2017). Tādēļ pētījumu turpinājumā būtiski vērtēt arī to, kāda ir dabisko traucējumu loma audžu saglabāšanās determinēšanā un kas notiek ar oglekļa dinamiku, vecai kokaudzei nomainoties ar jaunu vecā (saimnieciskās darbības neskārtā) mežā.

Kopumā var secināt, ka ir būtiski sagatavot un realizēt šī pētījuma turpinājumu, iegūstot gan Latvijai nozīmīgus un Eiropas mērogā jaunus, zinātniski pamatotus datus par oglekļa uzkrājuma dinamiku pāraugušās audzēs, īpaši uz kūdras augsnēm, un šādu audžu nomaiņas vecā mežā ietekmi uz oglekļa uzkrājuma dinamiku.

### **3. Dati augšanas gaitas modeļu precizēšanai**

**Pāraugušu priežu audžu pieauguma un oglekļa uzkrājuma dinamikas raksturošanai precizēti SILAVAS izstrādātie augstuma, caurmēra un šķērslaukuma augšanas gaitas modeļi, tos papildinot ar pāraugušu priežu audžu pieauguma datiem.**

Pieauguma urbumu ievākšana veikta saskaņā ar pētījuma metodiku. Ievāktajā kopā bija kopumā 1118 bērzi, kuru caurmērs lielāks par 20 cm. Savukārt gadskārtu platumu izmērīšana, saskaņā ar darba uzdevumu, noslēgta priežu pieaugumu urbumiem un informācijas nodota pētījumam “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” realizācijai, integrējot tos kopējā augšanas gaitas modeļu izstrādei izmantotā datu kopā. Jauniegtie pieaugumu dati uzlabo caurmēra augšanas gaitas modeļu precizitāti, apliecinot, ka caurmēra pieauguma samazināšanos veciem kokiem, kas līdz šim, veidojot modeļus tikai uz MSI datiem, mazā veco audžu skaita dēļ netika precīzi atspoguļota. Iegūtie rezultāti, uzlabojot pieauguma modeļus, salīdzinājumā ar 2017. gadu, atspoguļoti pētījuma “Augšanas gaitas modeļu pilnveidošana” pārskatā.



#### 4. Atmirušās koksnes apjoma raksturošana pāraugušās priežu audzēs

##### Atmirušās koksnes apjomu ietekmējošo audzes parametru noskaidrošana pāraugušās priežu audzēs, un salīdzināšana ar meža statistiskās inventarizācijas datiem par pieaugušām priežu audzēm

Analīzē izmantoti dati par 174 parauglaukumiem no 32 pāraugušām priežu audzēm (vecums uzmērīšanas brīdī 163–218 gadi) damaksnī un niedrājā, kas iegūti šī pētījuma ietvaros. Analīzē izmantoti tikai tie parauglaukumi, kuros:

- ✓ I stāva valdošā koku suga parauglaukumā ir priede;
- ✓ meža tips konkrētajā parauglaukumā ir damaksnis (142 parauglaukumi) vai niedrājs (32 parauglaukumi).

Tāpat analīzē izmantoti dati par 151 MSI trešajā ciklā (2014.–2016. gads) uzmērītajiem parauglaukumiem, kuros

- ✓ I stāva valdošā koku suga parauglaukumā ir priede;
- ✓ I stāva valdošās koku sugas vecums ir 81 līdz 160 gadi;
- ✓ meža tips parauglaukumā ir damaksnis (114 parauglaukumi) vai niedrājs (37 parauglaukumi);
- ✓ izdalītā sektora platība ir vismaz 400 m<sup>2</sup>.

Atmirušās koksnes apjoms un tā uzkrātais ogleklis analizēts atkarībā no kokaudzes kopējā šķērslaukuma, izvirzot pieņēmumu, ka retākās audzēs (pie mazāka šķērslaukuma) ir lielāks atmirušās koksnes apjoms. Iespējams, ka audzes biežības raksturošanai, piemērotāks rādītājs būtu mežaudzes krāja, tomēr tiek izmantots šķērslaukums, jo tas ir vieglāk un precīzāk nosakāms taksācijas rādītājs.

Tāpat atmirušās koksnes apjoms analizēts atkarībā no I stāva valdošās koku sugas augstuma (audzes ražības rādītājs), izvirzot pieņēmumu, ka augstākas ražības audzēs (pie lielāka vidējā augstuma) atmirušās koksnes apjoms ir lielāks.

Apvienojot MSI un veco audžu datus, atmirušās koksnes apjoms analizēts atkarībā no mežaudzes vecuma.

Datu pirmapstrāde un analīze veikta programmā MS Excel, tāpat atmirušās koksnes apjoma analīze atkarībā no audzes šķērslaukuma, augstuma un vecuma veikta programmā SPSS for Windows, izmantojot rīku linear mixed models. Audzes augstums raksturots ar I stāva valdošās koku sugas vidējā kvadrātiskā caurmēra kokam atbilstošo augstumu, bet audzes vecums ir I stāva valdošās koku sugas vecums. Analīzē audzes šķērslaukums grupēts 5 m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> grupās, bet augstums 3 m grupās.

Konstatēts, ka parauglaukumos, kas ierīkoti vecajās, pāraugušajās priežu audzēs, marginālais vidējais atmirušās koksnes apjoms damaksnī ir 87,3±14,1 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, bet niedrājā 113,2±18,7 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Savukārt šajos parauglaukumos marginālais vidējais piesaistītais ogleklis atmirušajā koksnē damaksnī ir 12,5±2,0 t ha<sup>-1</sup>, bet niedrājā 13,8±2,3 t ha<sup>-1</sup>. Meža statistiskajā inventarizācijā šajos pašos meža tipos pieaugušās priežu audzēs konstatēts būtiski mazāks atmirušās koksnes apjoms un līdz ar to arī piesaistītais ogleklis. MSI datus atmirušās koksnes apjoms damaksnī ir 26,4±5,8 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, bet niedrājā 23,8±8,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, savukārt piesaistītais ogleklis damaksnī ir 4,6±1,0 t ha<sup>-1</sup>, bet niedrājā 4,2±1,4 t ha<sup>-1</sup>.

Vispārīgākajā lineārajā jaukto modeļu analīzē konstatēts, ka pieaugušajās priežu audzēs damaksnī un niedrājā ne atmirušās koksnes apjoms, ne arī tajā uzkrātais ogleklis nav būtiski

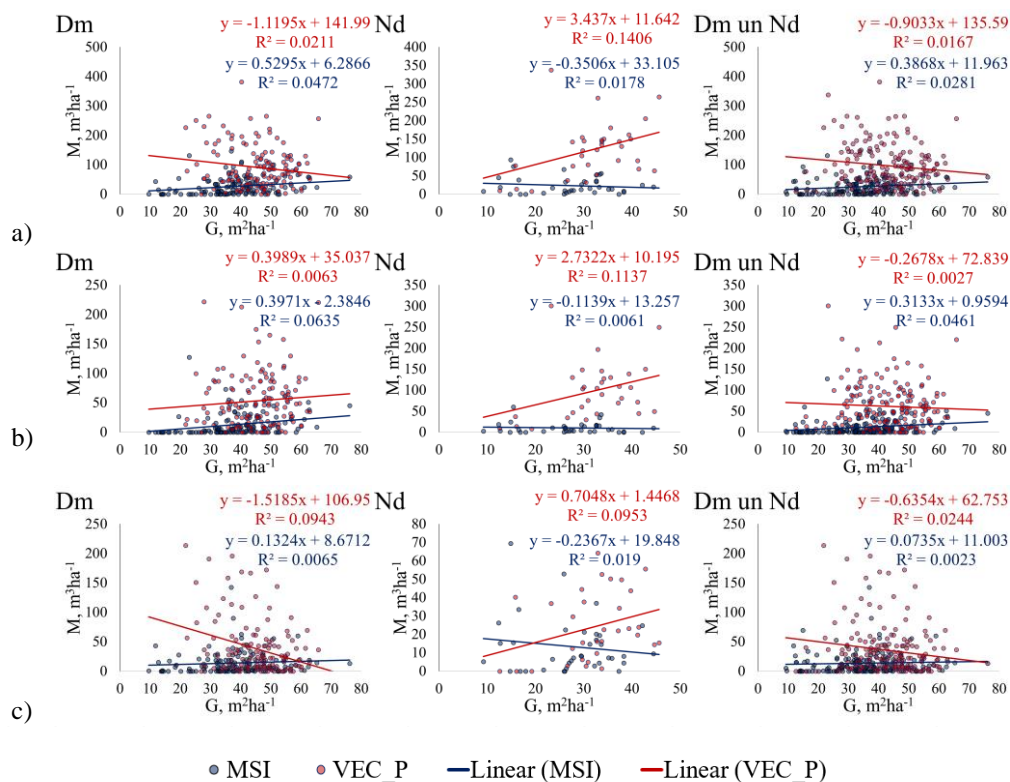
( $\alpha=0,05$ ) atkarīgs no kokaudzes šķērslaukuma un augstuma. Savukārt pāraugušajās priežu audzēs konstatēts, ka damaksnī audzes šķērslaukums būtiski ietekmē stāvošās atmirušās koksnes (sausokņi un stubeņi) apjomu un tajā uzkrāto oglekli, bet niedrājā atmirušās koksnes un stāvošās atmirušās koksnes apjomu statistiski būtiski ietekmē audzes augstums (4.1. tab.). Tomēr jāatzīmē, ka pāraugušajās priežu audzēs damaksnī un niedrājā audzes šķērslaukumam un augstumam ar atmirušās koksnes apjomu un uzkrāto oglekli (kā kopējo, tā arī dalījumā pa tās veidiem) visos gadījumos ir konstatētas vājas lineārās sakarības, un datu izvietojums vairāk atgādina haotisku punktu kopu nevis korelatīvu sakārtojumu (4.1.–4. attēli). Līdz ar to šīs atsevišķās statistiski būtiskās sakarības ir vienkārši nejauša sakritība, nevis likumsakarība.

4.1. tabula

**Vispārinātajā lineārajā jaukto modeļu analizē aprēķinātais audzes šķērslaukuma un augstuma būtiskums**

Dati	Meža tips	Rādītājs	Atmirušās koksnes apjoms			Uzkrātais ogleklis atmirušajā koksnē		
			atmirusī koksne kopā	sausokņi un stubeņi	kritālas	atmirusī koksne kopā	sausokņi un stubeņi	kritālas
MSI	Dm	Augstums	0.799	0.891	0.766	0.768	0.915	0.708
		Šķērslaukums	0.588	0.059	0.982	0.495	0.073	0.937
	Nd	Augstums	0.257	0.094	0.554	0.259	0.140	0.492
		Šķērslaukums	0.220	0.577	0.104	0.379	0.604	0.258
VEC_P	Dm	Augstums	0.287	0.193	0.304	0.194	0.211	0.224
		Šķērslaukums	0.411	0.048	0.906	0.334	0.037	0.876
	Nd	Augstums	0.003	0.005	0.379	0.002	0.001	0.474
		Šķērslaukums	0.254	0.157	1.000	0.185	0.054	1.000

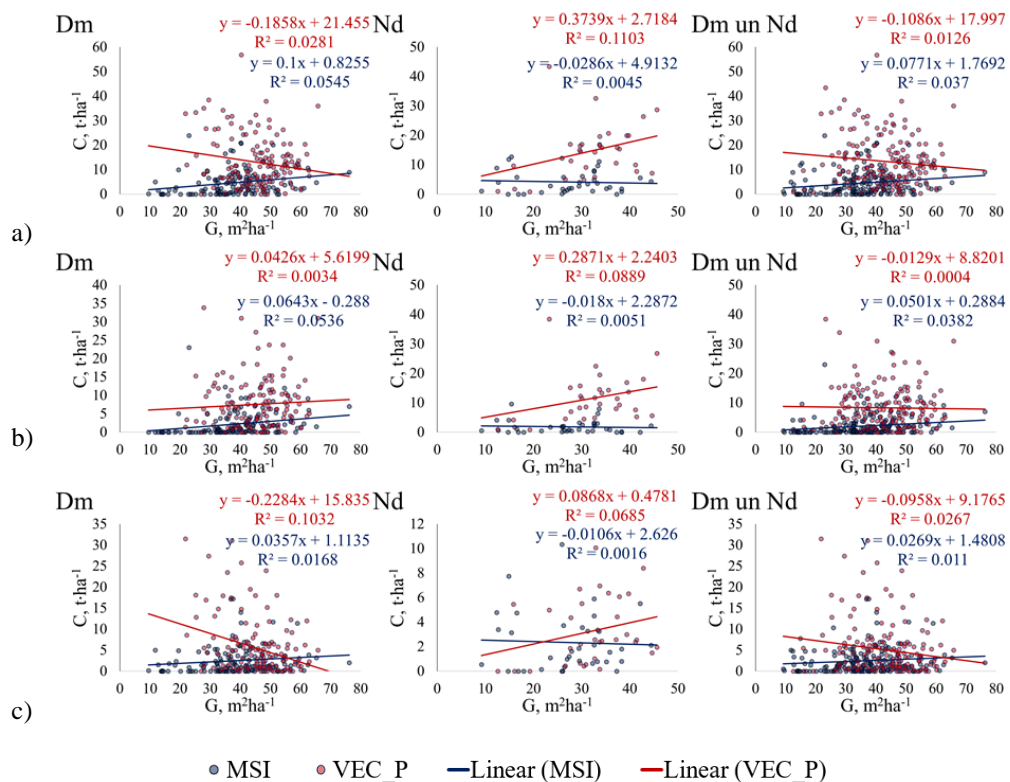
MSI - meža statistiskās inventarizācijas dati; VEC\_P - pāraugušo priežu dati



**4.1. attēls. Atmirušās koksnes apjoms (M) dalījumā pa tās veidiem atkarībā no mežaudzes šķērslaukuma (G) priežu audzēs:**

MSI – meža statistiskās inventarizācijas pieaugušās audzes, VEC\_P – pāraugušās audzes;

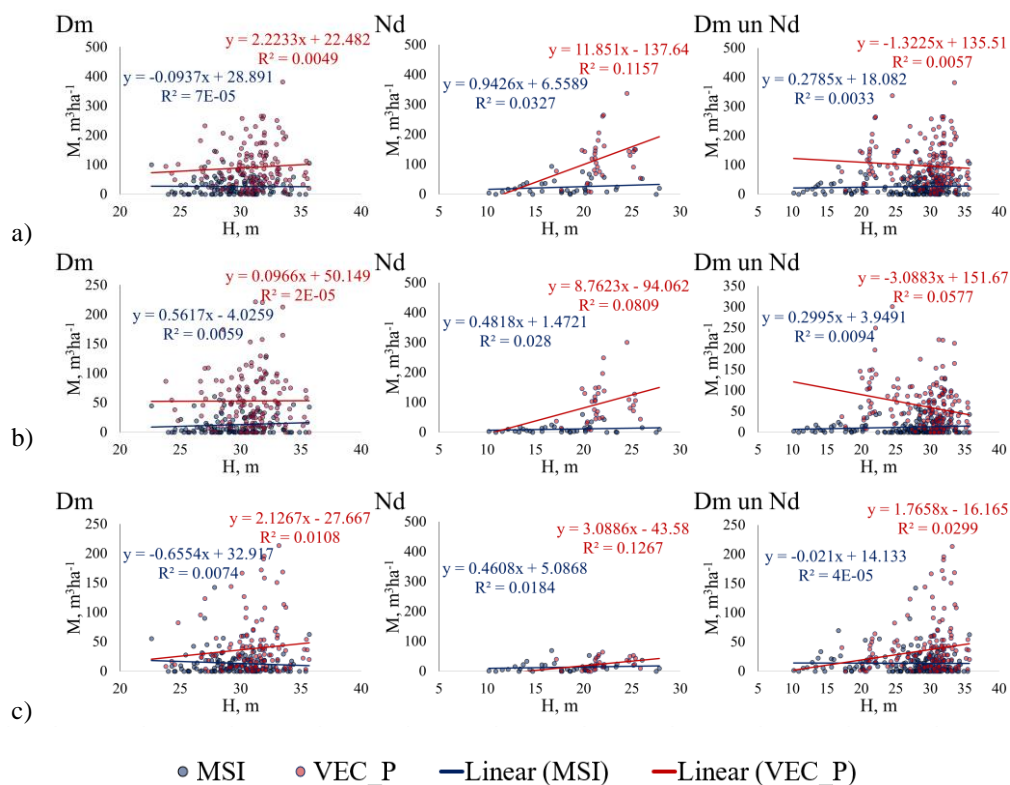
a) visa atmirusī koksne; b) sausokņi un stumbeņi; c) kritālas.



#### 4.2. attēls. Uzkrātais ogleklis (C) atmirusajā koksne dalījumā pa tās veidiem atkarībā no mežaudzes šķērslaukuma (G) priežu audzēs:

MSI – meža statistiskās inventarizācijas pieaugušās audzes, VEC\_P – pāraugušās audzes;

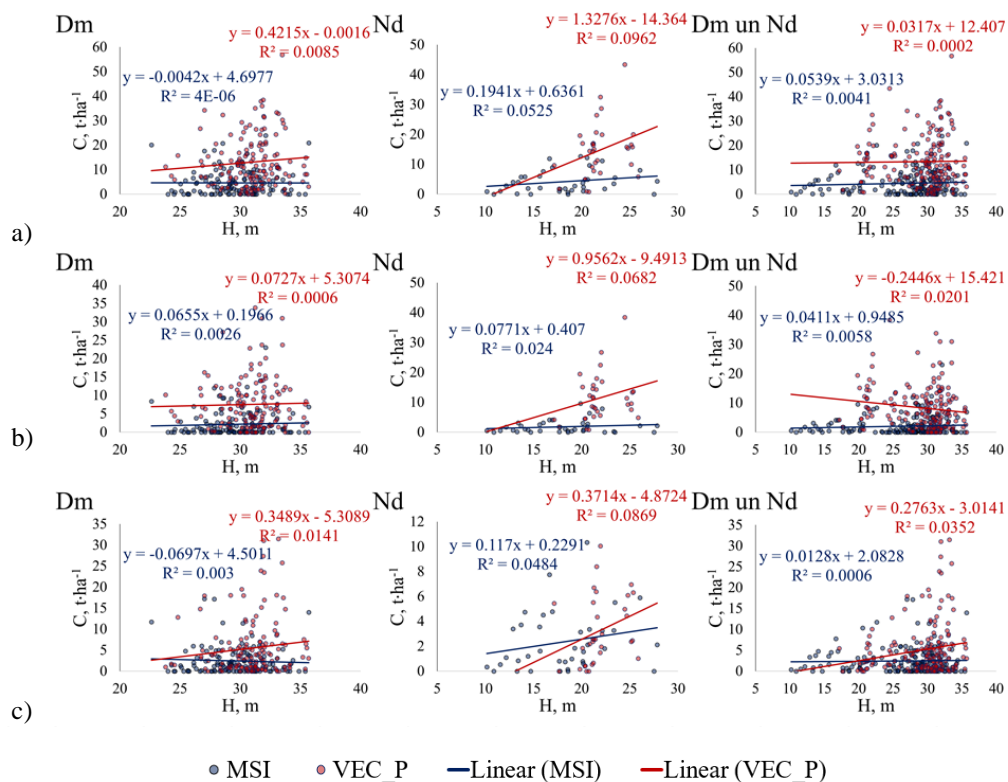
a) visa atmirusī koksne; b) sausokņi un stumbeņi; c) kritālas.



**4.3. attēls. Atmirušās koksnes apjoms (M) dalījumā pa tās veidiem atkarībā no mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā augstuma (H) priežu audzēs:**

MSI – meža statistiskās inventarizācijas pieaugušās audzes, VEC\_P – pāraugušās audzes;

a) visa atmirusī koksne; b) sausokņi un stumbeņi; c) kritālas.



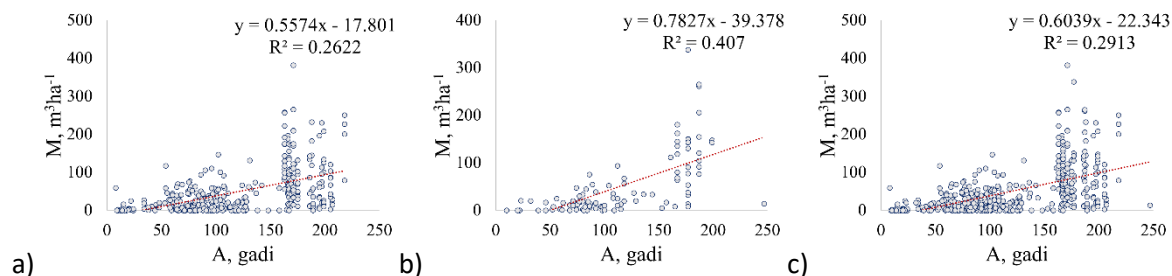
#### 4.4. attēls. Uzkrātais ogleklis (C) atmirušajā koksne dalījumā pa tās veidiem atkarībā no mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā augstuma (H) priežu audzēs:

MSI – meža statistiskās inventarizācijas pieaugušās audzes, VEC\_P – pāraugušās audzes;

a) visa atmirusī koksne; b) sausokņi un stubeņi; c) kritalas.

Lai noskaidrotu vecuma ietekmi uz atmirušās koksnes apjomu, veco pāraugušo priežu audžu dati apvienoti ar MSI uzmērītajiem audžu datiem, pie tam ne tikai ar pāraugušajām audzēm, bet ar visām priežu audzēm.

Starp audzes vecumu un atmirušās koksnes apjomu gan atsevišķi damaksnī un niedrājā, gan abos meža tipos kopā konstatētas vidēji ciešas, pozitīvas, būtiskas ( $\alpha=0,05$ ) lineāras sakarības (4.5. att.).



#### 4.5. attēls. Atmirušās koksnes apjoms (M) atkarībā no mežaudzes I stāva valdošās koku sugas vidējā vecuma (A) priežu audzēs:

a) damaksnī; b) niedrājā; c) damaksnī un niedrājā kopā.

## Kopsavilkums

Kompleksi novērtējot pieaugušo (MSI) un veco pāraugušo audžu (šī pētījuma) datu kopu, secināts, ka **priežu audzēs** damaksnī un niedrājā pāraugušās audzēs atmirušās koksnes apjoms ir trīs līdz četras reizes lielāks nekā pieaugušās audzēs.

Ne pieaugušās, ne pāraugušās priežu audzēs atmirušās koksnes apjoms un tajā uzkrātais **ogleklis nav atkarīgs no audzes šķērslaukuma un augstuma**, lai gan pāraugušās audzēs atsevišķos gadījumos starp šiem rādītājiem tika konstatētas būtiskas sakarības, tomēr tās bija korelatīvi vājas un neloģiskas.

Priežu audzēs damaksnī un niedrājā, apvienojot visus MSI priežu audžu datus ar pāraugušo priežu audžu datiem, **pietiekami precīzi var modelēt atmirušās koksnes apjomu** atkarībā no kokaudzes I stāva valdošās koku sugas vecuma.

## **5. Iegūto rezultātu publicēšana**

**Iegūto rezultātu publicēšana – dalība vienā zinātniskā konferencē ārvalstīs, viena zinātniskā raksta publicēšana starptautiskā zinātniskā žurnālā (statuss: iesniegts)**

Pētījuma rezultāti publicēti: Ķēniņa L., Elferts D., Bāders E., Jansons Ā. (2018) Carbon pools in a hemiboreal over-mature Norway spruce stands. *Forests*, 9(7), 435; doi: 10.3390/f9070435 (žurnāla ietekmes faktors >50% no nozares vidējās vērtības).

Rezultāti prezentēti:

- 1) ārvalstīs – Laura Ķēniņa, Inga Straupe, Līga Liepa, Zane Bigača, Āris Jansons (2018) Carbon storage of live biomass in old Norway spruce and Scots pine dominant hemiboreal forest stands, Latvia. Forestry conference for Baltic PhD students, Sokka Puhkekeskus OÜ, Estonia 26-27th April 2018.
- 2) ārvalstīs – Solveiga Luguza, Guntars Šņepsts, Jānis Donis, Iveta Desaine, Endijs Bāders, Āris Jansons (2018) Stand inventory parameters affecting advance regeneration of Norway spruce in hemiboreal forests, Latvia. IUFRO XI International Workshop on Uneven-aged Silviculture: Challenges for increasing adaptability” Valdivia, Čīlē, 9.-21.11.2018.
- 3) Latvijā – Solveiga Luguza, Guntars Šņepsts, Āris Jansons (2018) Characteristics of old Norway spruce stands determining formation of advance regeneration. 24th ISC Research for Rural Development 2018, 16-18th of May, 2018, Jelgava, Latvia.

Ņemot vērā šajā pētījumā iegūtos datus, kā arī izpratni, t.sk. par informāciju, kas netiks iegūta šī pētījuma ietvaros, turpmākai pētījumu jomas attīstībai sagatavots pieteikums “Development of monitoring tool for climate change mitigation based on data from old-growth forests”, kas 03.09.2018. iesniegts Darbības programmas "Izaugsme un nodarbinātība" 1.1.1. specifiskā atbalsta mērķa "Palielināt Latvijas zinātnisko institūciju pētniecisko un inovatīvo kapacitāti un spēju piesaistīt ārējo finansējumu, ieguldot cilvēkresursos un infrastruktūrā" 1.1.1.1. pasākuma "Praktiskas ievirzes pētījumi" projektu konkursam ERAF finansējumam. Finansējums netika iegūts.

Kopā ar Igaunijas un Norvēģijas kolēģiem sagatavots pieteikums “Carbon budgets across a long Norway spruce (*Picea abies*) chronosequence in relation to management and wood decay”, kas 31.01.2019. iesniegts EEA Financial Mechanism 2014 – 2021 Baltic Research Programme uzsaukumam.

## Literatūra

- Alrahahleh L., Ikonen V.P., Kilpeläinen A., Torssonen P., Strandman H., Asikainen A., Kaurola J., Venäläinen A. & Peltola H. 2017. Effects of forest conservation and management on volume growth, harvested amount of timber, carbon stock, and amount of deadwood in Finish boreal forests under changing climate. *Canadian Journal of Forest Research* 47(2): 215–225.
- Carey E.V., Sala A., Keane R. & Callaway R.M. 2001. Are old forest underestimated as global carbon sinks? *Global Change Biology* 7: 339–344.
- Felton A., Gustafsson L., Roberge J.M., Ranius T., Hjältén J., Rudolphi J., Lindbladh M., Weslien J., Rist L., Brunet J. & Felton A.M. 2016. How climate change adaptation and mitigation strategies can threaten or enhance the biodiversity of production forests: Insights from Sweden. *Biological Conservation* 194: 11–20.
- Finér L., Mannerkoski H., Piirainen S. & Starr M. 2003. Carbon and nitrogen pools in an old-growth, Norway spruce mixed forest in eastern Finland and changes associated with clear-cutting. *Forest Ecology and Management* 174: 51–63.
- Gaast W. van der, Sikkema R. & Vohrer M. 2018. The contribution of forest carbon credit projects to addressing the climate change challenge. *Climate Policy* 18: 42–48.
- Grassi G., House J., Dentener F., Federici S., Elzen M.D. & Penman J. 2017. The key role of forests in meeting climate targets requires science for credible mitigation. *Nature Climate Change* 7: 220–226.
- Jacob M., Bade C., Calvete H., Dittrich S., Leuschner C. & Hauck M. 2013. Significance of over-mature and decaying trees for carbon stocks in a Central European natural spruce forest. *Ecosystems* 16: 336–346.
- Krug J.H.A. 2018. Accounting of GHG emissions and removals from forest management: A long road from Kyoto to Paris. *Carbon Balance and Management* 13: 1–11.
- Lazdins A. (2018) Siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas pasākumi meža apsaimniekošanā (Measures to reduce greenhouse gas emission in forest management). In: P. Rivža et al. (eds.) Siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas iespējas ar klimatam draudzīgu lauksaimniecību un mežsaimniecību Latvijā. (Potential to reduce greenhouse gas emissions with climate friendly agriculture and forestry in Latvia). LLU, Jelgava, Latvia, pp. 247-274. (in Latvian)
- Luyssaert S., Schulze E.D., Börner A., Knohl A., Hessenmöller D., Law B.E., Ciais P. & Grace J. 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455: 213–215.
- Moreno-Fernández D., Díaz-Pinés E., Barbeito I., Sánchez-González M., Montes F., Rubio A. & Cañellas I. Temporal carbon dynamics over the rotation period of two alternative management systems in Mediterranean mountain Scots pine forests. *Forest Ecology and Management* 348: 186–195.
- Mund M., Kummert E., Hein M., Bauer G. A. & Schulze E. D. 2002. Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe. *Forest Ecology and Management* 171(3): 275–296.
- Odum E. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262–270.
- Pukkala T. 2017. Does management improve the carbon balance of forestry? *Forestry* 90: 125–135.
- Reyer C.P.O., Bathgate S., Blennow K., Borges J.G., Bugmann H., Delzon S., Faias S.P., Garcia-Gonzalo J., Gardiner B. & Gonzalez-Olabarria J.R. 2017. Are forest disturbances



- amplifying or cancelling out climate change-induced productivity changes in European forests? *Environmental Research Letters* 12:034027.
- Schwenk W.S., Donovan T.M., Keeton W.S. & Nunery J.S. 2012. Carbon storage, timber production, and biodiversity: Comparing ecosystem services with multi-criteria decision analysis. *Ecological Applications* 22:1612–1627.
- Seedre M., Kopáček J., Janda P., Bače R. & Svoboda M. 2015. Carbon pools in a montane old-growth Norway spruce ecosystem in Bohemian Forest: Effects of stand age and elevation. *Forest Ecology and Management* 346: 106–113.
- Stupak I., Asikainen A., Jonsell M., Karlton E., Lunnan A., Mizaraitė A., ... & Tamminen P. 2007. Sustainable utilisation of forest biomass for energy—Possibilities and problems: Policy, legislation, certification, and recommendations and guidelines in the Nordic, Baltic, and other European countries. *Biomass and Bioenergy* 31(10):666–684.
- Uri V., Kukumägi M., Aosaar J., Varik M., Becker H., Morozov G., Karoles K. (2017) Ecosystems carbon budgets of differently aged downy birch stands growing on well-drained peatlands. *Forest Ecology and Management*, 399, pp. 82-93
- Uri V., Varik M., Aosaar J., Kanal A., Kukumägi M., Lõhmus K. (2012) Biomass production and carbon sequestration in a fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) forest chronosequence. *Forest Ecology and Management*, 267, pp. 117-126.
- Varik M., Kukumägi M., Aosaar J., Becker H., Ostonen I., Lõhmus K., Uri V. (2015) Carbon budgets in fertile silver birch (*Betula pendula* Roth) chronosequence stands. *Ecological Engineering*, 77, pp. 284-296.
- Varik M., Aosaar J., Ostonen I., Lõhmus K., Uri V. (2013) Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. *Forest Ecology and Management*, 302, pp. 62-70.
- Vucetich J.A., Reed D.D., Breymeyer A., Degórski M., Mroz G.D., Solon J., Roo–Zielinska E. & Noble R. 2000. Carbon pools and ecosystem properties along a latitudinal gradient in northern Scots pine (*Pinus sylvestris*) forests. *Forest Ecology and Management* 136: 135–145.
- Zhou G., Liu S., Li Z., Zhang D., Tang X., Zhou C., Yan J. & Mo J. 2006. Old-growth forests can accumulate carbon in soils. *Science* 314: 1417.