
Gaismas režīms vienlaidus un grupu pakāpeniskajās cirtēs

Leonīds Zdors^{1*}, Jānis Donis¹

Zdors, L., Donis, J. (2011). Light regime in uniform and group shelterwood cuttings. *Mežzinātne* 24(57): 41–57.

Kopsavilkums. Eiropā pēdējā laikā palielinās interese par meža apsaimniekošanu, kas ietver sevī dabisko traucējumu režīmu atdarināšanu, kas zināmā mērā ietver arī pakāpenisko ciršu pielietošanu.

Gaismas režīms zem koku vainagu klāja ir galvenais faktors, kas nosaka dabiskās atjaunošanās un zemsedzes augu parādīšanos, nostiprināšanos, izdzīvošanu un augšanu un ievērojami variē laikā un telpā.

Pētījuma mērķis ir noskaidrot saistību starp audzes šķērslaukumu un gaismas režīmu vienlaidus pakāpeniskās cirtes gadījumā, kā arī starp audzes atvēruma lielumu un gaismas režīma apstākļiem grupu pakāpeniskās cirtes gadījumā.

Pētījums izdarīts priežu, egļu un bērzu audzēs, kur veikta vienlaidus pakāpeniskā cirte, kā arī vienā priežu (8P2E) audzē, kur izcirsti dažāda izmēra taisnstūrveida logi (10 × 10 m līdz 40 × 40 m), izcirsta tikai priede vai tikai egle, vai arī veikta izlases cirte. Gaismas režīms noteikts, izmantojot fotoaparātu ar platleņķa (*fisheye*) fotoobjektīvu. Lai noteiktu kokaudzes gaismas režīma parametrus, lietota WinSCANOPY 2006a Pro datorprogramma.

Priežu audzēs ir lielāks kopējais (tiešās + izklidētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvums Mol m^{-2} zem vainagiem vidēji dienā veģetācijas perioda laikā (FAR_{kopzv}), salīdzinot ar egļu audzēm, pie līdzīga audzes šķērslaukuma. Saliktās audzēs, lai raksturotu FAR_{kopzv} nevar izmantot ne I stāva, ne kopējo audzes šķērslaukumu, jo sakarības ir vājas, sevišķi priežu audzēs. Vidēji cieša, būtiska, negatīva lineāra sakarība FAR_{kopzv} ar I stāva šķērslaukumu ir konstatēta vienkāršās priežu tiraudzēs ($|r| = 0,658$; $P = 0,004$) un vienkāršās egļu audzēs ($|r| = 0,770$; $P = 0,001$). Salīdzinot vainagu klāja atvērumu un FAR_{kopzv} vidējās vērtības 40 × 40 m izcirsto logu Z un D malu vidū, novērota tendence, ka vainagu klāja atvērums abos gadījumos ir līdzīgs (apmēram 28,5 %), bet FAR_{kopzv} D malā ir vairāk nekā trīs reizes mazāks nekā Z malā, attiecīgi $9,7 \pm 0,2$ un $30,7 \pm 0,6 \text{ Mol m}^{-2}$.

Nozīmīgākie vārdi: gaismas režīms, vienlaidus pakāpeniskā cirte, grupu pakāpeniskā cirte.

•••

¹ LVMI Silava, Rīgas iela 111, Salaspils, LV-2169, Latvija; *e-pasts: leonids.zdors@silava.lv

Zdors, L.², Donis, J.² **Light regime in uniform and group shelterwood cuttings.**

Abstract. Simulation of natural disturbances, which to some extent go with shelterwood cuttings, has of late become a popular practice in forest management in Europe. Shelterwood cuttings may be treated as one of the ways to find a compromise between economic, ecological and social interests in forestry. In Latvia, they are used predominately in forest areas where according to forest management regulations no clear-felling is allowed, or in forest tracts with a high proportion of mature stands. Light regime under forest canopy is one of the major factors responsible for emergence, survival and growth of ground cover vegetation and advanced growth, highly variable in time and space.

The objective of the given study is to clarify interdependence between the stand's basal area and the light environment in uniform shelterwood cuttings, and the size of the opening in forest canopy and the light environment in group shelterwood cuttings.

Field data was collected in pine, spruce and birch dominated stands where uniform shelterwood cuttings was done 4 or 5 years ago and as well in one pine dominated (80 % pine; 20 % spruce) stand where square-like openings of different size (10 × 10 m to 40 × 40 m) were made in forest canopy or cutted only spruce or only pine or selection cutting were done. A camera with fisheye lens was used to determine light regime. WinSCANOPY 2006a Pro software was used for analysing solar light regime in the stands.

Total (direct + diffuse) photosynthetically active flux density under canopy Mol m^{-2} per day average for the growing season (FAR_{kopzv}) is higher in pine stands compared to spruce stands with similar basal area. To describe FAR_{kopzv} in multi-storeyed stands, we cannot use the total basal area or that for overstorey, as the correlation between them is weak, especially in pine stands. Significant moderate negative linear correlation FAR_{kopzv} with the overstorey's basal area is found for single-storey pure stands of pine ($|r| = 0.658$; $P = 0.004$) and those of spruce ($|r| = 0.770$; $P = 0.001$). When comparing canopy openings with the average FAR_{kopzv} values at the midpoint of N and S forest edges of 40 × 40 m openings, we observed a tendency that in both cases the opening is similar (ca 28.5 %), while at the S side FAR_{kopzv} is three times less than at the N one, 9.7 ± 0.2 and $30.7 \pm 0.6 \text{ Mol m}^{-2}$, respectively. In stands where pine is removed FAR_{kopzv} is higher than in those plots, where spruce is cut down, $16.6 \pm 1.5 \text{ Mol m}^{-2}$ and $12.6 \pm 1.1 \text{ Mol m}^{-2}$, respectively. On sample plots, where spruce is taken out, FAR_{kopzv} is higher than in small (10 × 10 m and 20 × 20 m) openings made in the stand.

Key words: light regime; uniform shelterwood cuttings; group shelterwood cuttings.

² Latvian State Forest Research Institute "Silava", 111 Riga str., Salaspils, LV-2169, Latvia,

*e-mail: leonids.zdors@silava.lv

...

Здорс, Л.^{3*}, Донис, Я.³. **Световой режим в равномерно-постепенных и группово-постепенных рубках.**

Резюме. В последнее время в Европе актуален вопрос о лесохозяйственных мероприятиях, содержащих имитацию природных режимов естественных нарушений, что в какой-то мере включает и использование постепенных рубок.

Световой режим под пологом крон деревьев является главным фактором, определяющим естественное возобновление и появление растений в напочвенном покрове, а также стимулирующим их укрепление, выживание и возрастание, но значимо варьирующим во времени и в пространстве.

Цель исследования – выяснить взаимосвязь между площадью поперечного сечения древостоя и световым режимом при равномерно-постепенных рубках, а также между размером «окон» в древостое и световым режимом при группово-постепенных рубках.

Исследования проводились в сосновых, еловых и березовых насаждениях после равномерно-постепенной рубки, а также и в одном сосновом древостое (80 % сосна; 20 % ель), в котором были вырублены прямоугольные «окна» разных размеров (10 × 10 м до 40 × 40 м) и удалена только сосна или только ель, или проведена выборочная рубка. Световой режим определен, используя фотоаппарат с широкоугольным объективом (*fisheye*). Для установления параметров светового режима использована компьютерная программа WinSCANOPY 2006a Pro.

В сосновых древостоях констатирована более высокая общая (прямая + рассеянная) плотность фотосинтетически активного радиационного потока Mol m^{-2} под кронами деревьев в среднем за один день во время вегетационного периода ($FAR_{\text{корзв}}$) – по сравнению с еловыми древостоями при схожей площади поперечного сечения древостоя. В сложных древостоях для характеризования $FAR_{\text{корзв}}$ не может быть использована площадь поперечного сечения древостоя ни 1-ого яруса, ни общая, потому что взаимосвязи выражены слабо, особенно в сосновых древостоях. Средне тесная, существенная, негативная линейная взаимосвязь между $FAR_{\text{корзв}}$ и площадью поперечного сечения 1-ого яруса установлена в простых сосновых древостоях ($|r| = 0,658$; $P = 0,004$) и в простых еловых древостоях ($|r| = 0,770$; $P = 0,001$). Сравнивая средние величины просвета в пологе крон деревьев и $FAR_{\text{корзв}}$ в середине С и Ю сторон вырубленных «окон» (40 × 40 м), в обоих случаях наблюдается тенденция схожести просвета в пологе крон (примерно 28,5 %), но $FAR_{\text{корзв}}$ на Ю стороне является более чем в три раза меньше по сравнению со С стороной, соответственно $9,7 \pm 0,2$ и $30,7 \pm 0,6 \text{ Mol m}^{-2}$.

Ключевые слова: световой режим, равномерно-постепенные рубки, группово-постепенные рубки.

³ ЛГИЛ «Силава», ул. Ригас 111, Саласпилс, LV-2169, Латвия; *эл. почта: leonids.zdors@silava.lv

Ievads

Eiropā pēdējā laikā palielinājusies interese par meža apsaimniekošanu, kas ietver sevī dabisko traucējumu režīmu atdarināšanu – izlases ciršu un zināmā mērā arī pakāpenisko ciršu pielietošanu (Mason *et al.*, 1999; Mason, Kerr, 2004; Pomerring, Murphy, 2004; Pukkala *et al.*, 2009; Erefur, 2010; Lahde *et al.*, 2010), kas dažviet (piem., Velsā) nomaina iepriekš dominējošo kailciršu saimniekošanas formu ar nepārtrauktā meža klājiena mežsaimniecību (*continuous cover forestry*). Pakāpenisko ciršu pielietošana savā ziņā ir ekonomisko, ekoloģisko un sociālo meža apsaimniekošanas pretrunu kompromiss risinājums.

Mežsaimniecisko darbību efekta prognozēšanai būtu jābalstās uz meža reakciju laikā un telpā, ko rada dažāda veida, lieluma, intensitātes un biežuma dabiskie (vējš, ugunsgrēki u.c.) traucējumi (Coates, Burton, 1997). Dažādojot ciršanas intensitāti, var nodrošināt pietiekošā mērā dabiskās atjaunošanas parādīšanos un augšanu (Erefur, 2010). Noskaidrojot saistību starp mežaudzes parametriem, piemēram, audzes šķērslaukumu un gaismas režīmu, un, zinot katrai koku sugai minimālos gaismas režīma apstākļus, iespējams veiksmīgāk izvēlēties nepieciešamo mežaudzes apsaimniekošanas režīmu, lai sasniegtu apsaimniekošanas mērķus.

Latvijā pakāpeniskās cirtes pēdējā laikā pārsvarā izmantotas platībās, kur atbilstoši normatīvajiem aktiem bijusi aizliegta kailcirte vai arī mežaudžu masīvos ar lielu pieaugušo audžu īpatsvaru.

Gaismas režīms zem koku vainagu klāja, kas ievērojami variē laikā un telpā (Rich *et al.*, 1993), ir galvenais dabisko atjaunošanos un zemsedzes augu parādīšanos, nostiprināšanos, izdzīvošanu un augšanu stimulējošais faktors (Gray, Spies, 1996; Lieffers *et al.*, 1999). Koku vainagu klāja gaismas caurlaides spēju nosaka atsevišķu koku vainagu izmērs, izvietojums un blīvums (Jennings *et al.*, 1999). Manipulējot ar audzes parametriem, ir iespējams regulēt gaismas režīmu, lai sasniegtu audzes apsaimniekošanas mērķus, kas īstenojami, kontrolējot aizzēlumu un atjaunojušos kociņu augšanu.

Audzes atvērumi rada daudzveidīgus gaismas režīma apstākļus gan pašos atvērumos, gan to malās atkarībā no saules leņķa un apkārtējo koku augstuma (Canham *et al.*, 1990). Atvērumam palielinoties, gaismas daudzums tā centrā palielinās, kā funkcija no audzes atvēruma diametra un apkārtējās audzes koku augstuma (Lieffers *et al.*, 1999).

Gaismas režīma noskaidrošanai izmantojamas tiešās uzmērīšanas metodes (fotometriskā uzmērīšana, radiometriskā uzmērīšana, kvantu uzmērīšana) un netiešās uzmērīšanas metodes (vainagu klājuma un vainagu slēguma uzmērīšana) (Jennings *et al.*, 1999). Viens no vainaga klājuma un slēguma uzmērīšanas veidiem ir hemisfēriskās (zivs-acs) fotogrāfijas. Tā ir tehnoloģija augu vainagu klāja raksturošanai, to fotografējot no zemes ar platleņķa objektīvu (180°) (Rich, 1990; Gendron *et al.*, 1998). Salīdzinājumā ar citām uzmērīšanas metodēm hemisfēriskās fotogrāfijas ļauj raksturot konkrētās vietas gaismas režīmu gan

dienas, gan visa gada garumā, turklāt izdarot tikai vienu uzņēmumu (Liefers *et al.*, 1999).

Pētījuma mērķis – noskaidrot saistību starp audzes šķērslaukumu un gaismas režīmu vienlaidus pakāpeniskajā cirtē, kā arī starp audzes atvēruma lielumu un gaismas režīma apstākļiem grupu pakāpeniskajā cirtē.

Materiāls un metodika

Lauka darbu metodika

Pētījums veikts 20 vienlaidus pakāpenisko ciršu objektos priežu (krūšaugstuma vecums 100–140 gadi), egļu un bērzu (krūšaugstuma vecums 75–100 gadi) audzēs SIA „Rīgas meži” Garkalnes, Daugavas un Olaines mežniecības teritorijā, kur pirmais ciršanas paņēmieni izdarīts 2002. vai 2003. gadā (1. tabula), un Mežu pētīšanas stacijas (turpmāk – MPS) Kalsnavas mežu novada 15. kvartāla priežu (8P2E) audzē, kur 2006.–2007. gada ziemā izcirsti dažāda izmēra taisnstūrveida logi – 10×10 m; 20×20 m; 20×40 m, 40×40 m (izvietojot Z–D vai A–R virzienos) vai arī 40×40 m laukumos izcirstas visas priedes (atstājot egles) vai visas egles (atstājot priedes), vai veikta izlases cirte (katrs veids 2–4 atkārtojumos).

Audzi raksturojošie rādītāji vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs iegūti 2006. gadā, uzmērot 500 m^2 (rādiuss – 12,62 m) aplveida parauglaukumus. Katrā audzē uzmērīti 2–4 parauglaukumi. Savukārt parauglaukumos uzmērīti visi koki, kam krūšaugstuma caurmērs lielāks par 6,0 cm. Kociņi ar krūšaugstuma caurmēru no 2,1 līdz 6,0 uzmērīti 5,64 m rādiusā (100 m^2). MPS Kalsnavas mežu novada objektā sā-

kotnēji izveidots 40×40 m kvadrātu tīkls (kopā 31 kvadrāts), kur uzmērīti visi koki, kam krūšaugstuma caurmērs lielāks par 6,0 cm. Vēlāk uz šo kvadrātu tīkla bāzes veikta izciršana.

Gaismas režīms noteikts, izmantojot fotoaparātu (Nikon Coolpix 8400) ar platleņķa (*fisheye*) fotoobjektīvu (FC-E9) un komplektējošu aprikojumu (Winscanopy O-Mount).

Fotoattēli iegūti 2007. gadā vienlaidus pakāpenisko ciršu objektos SIA „Rīgas meži” Garkalnes, Daugavas un Olaines mežniecības teritorijā, kā arī MPS Kalsnavas mežu novadā laika periodā no jūnija sākuma līdz septembra sākumam mākoņainos un daļēji mākoņainos apstākļos dienas vidū. Uzņemšanas laikā fotoaparāts novietots 1,3 m augstumā un orientēts ziemeļu virzienā. Tiešo saules staru ietekmes novēršanai pielietots fotoaparāta objektīvu bloķējošs aizsargs. Katrā stāvpunktā iegūti 3 attēli ar dažādu ekspozīcijas laiku. Vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs tie iegūti 500 m^2 aplveida parauglaukumu centros, bet MPS Kalsnavas mežu novadā – dažāda lieluma izcirsto audzes logu malu vidū un neizcirsto (kontroles) kvadrātu vidū. 2007. gadā kopumā iegūti 106 attēli no 21 audzes; 2008. gadā, pielietojot tādu pašu metodiku, 64 attēli iegūti MPS Kalsnavas mežu novada 15. kvartālā ierīkotajā pētījumā objektā, dažāda lieluma izcirstajos audzes logos jūlija beigās un augusta sākumā. 2008. gadā fotografēts uz 20×20 m, 20×40 m un 40×40 m logu Z–D viduslīnijas, uzņemot attēlus logu malās, un ik pēc 10 m R–A virzienā; 10×10 m logos attēli iegūti to vidū.

Pētījuma objekti
Objects of study

Objekts Object	Analizētas hemisfē- riskās fotogrā- fijas Analyzed hemispher- ical photo- graphs	Cirtes veids Cutting type	Meža tips Forest type	Sastāvs Species compo- sition	Šķērslaukums, m ² ha ⁻¹ Basal area, m ³ ha ⁻¹			Krāja, m ³ ha ⁻¹ Stock volu- me, m ³ ha ⁻¹
					I stāvs I storey	II stāvs II storey	Kopā Total	
Garkalne112-8	4	v.pak	Mr	10P	17,2	0,0	17,2	193
Garkalne113-10	4	v.pak	Mr	10P	20,1	0,0	20,1	247
Garkalne128-1-3	2	v.pak	Mr	10P	23,4	0,0	23,4	275
Garkalne128-1-5	2	v.pak	Mr	10P	16,6	0,0	16,6	203
Garkalne128-5	3	v.pak	Ks	10P	22,8	4,6	27,4	362
Garkalne170-3	4	v.pak	Mr	10P	10,7	4,0	14,7	142
Garkalne170-5	4	v.pak	Mr	10P	4,7	7,0	11,7	87
Garkalne239-1-1	4	v.pak	Ln	10P	12,3	1,6	13,9	156
Garkalne239-1-2	4	v.pak	Ln	10P	14,6	0,5	15,0	183
Garkalne240	4	v.pak	Ln	10P	14,6	2,3	16,9	190
Olaine82-12	4	v.pak	Ks,As	5E1P3B1M	20,1	1,6	21,8	277
Olaine86-10	4	v.pak	Ks,As	9E1P	25,3	0,3	25,5	341
Olaine86-1-1	4	v.pak	Ks,As	6E3P1B	24,6	1,4	26,0	367
Olaine86-1-2	4	v.pak	Ks,As	7E1P2B	19,7	0,3	20,0	280
Olaine86-3-1	4	v.pak	Ks,As	9E1P	20,6	0,0	20,6	312
Olaine86-3-2	4	v.pak	Ks,As	7P3E	13,9	0,1	14,0	195
Olaine86-6	4	v.pak	Ks,As	6P3E1B	23,2	0,0	23,2	339
Olaine86-8	4	v.pak	Ks,As	7E2P1B	16,6	0,0	16,6	227
Olaine96-10-1	4	v.pak	Ks	6B4E	22,8	2,5	25,2	310
Olaine96-10-2	4	v.pak	Ks	9B1E	15,7	0,2	15,9	198
MPS_Kalsnavai5	95	grupu/ v.pak	Ln, Dm	8P2E	29,2	7	36,2	421

Apzīmējumi / legend: v.pak – vienlaidus pakāpeniskā cirte / uniform shelterwood cutting;
grupu – grupu pakāpeniskā cirte / group shelterwood cutting.

Kamerālo darbu metodika

Lai noteiktu kokaudzes gaismas režīma parametrus, audzes vainagu klāja un saules radiācijas aprēķināšanai lietota WinSCANOPY 2006a Pro datorprogramma (www.regentinstruments.com). Izmantoti attēli ar vidēju ekspozīcijas laiku. Vainaga klāja un atklātas debess izdalīšanai izmantota uz attēla krāsām balstīta klasifikācija, izveidojot atbilstošāko krāsu iedalījuma katalogu. Nepieciešamības gadījumā attēli manuāli modificēti (izveidojot maskas saules aizsegam, veicot interaktīvu attēla daļu krāsu klasifikāciju). Gaismas režīma aprēķinam ievadītie dati un pieņēmumi:

- veģetācijas periods SIA „Rīgas meži” Garkalnes, Daugavas un Olaines mežniecības teritorijā pieņemts no 15. aprīļa līdz 22. oktobrim, savukārt MPS Kalsnavas mežu novadā – no 20. aprīļa līdz 15. oktobrim (Latvijas daba, 1996);
- audžu ģeogrāfiskās koordinātas iegūtas, izmantojot GPS uztvērēju (Thales MobileMapper CE);
- audžu augstums virs jūras līmeņa iegūts, izmantojot Google Earth (www.earth.google.com) interneta vietni;
- magnētiskā deklinācija atkarībā no audžu atrašanās vietas un fotografēšanas laika (www.ngdc.noaa.gov/seg/geomag/jsp/IGRFWMM.jsp);
- virsmas slīpums nav ņemts vērā;
- difūzās radiācijas izplatīšanās modelis SOC (*standart overcast sky*) (www.regentinstruments.com), kura pieņēmums – saules radiācijas izplatība zenītā ir 3 reizes lielāka nekā pie horizonta.

Difūzās radiācijas frakcija virs koku vainagiem ir 48 % no tiešās radiācijas virs koku vainagiem.

Hemisfēru attēlu analizē iegūti dati par audzes vainagu klāja atvērumu (*openness*), audzes vainagu klāja izrobsumu (*gap fraction*), kopējās fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvumu Mol m^{-2} virs vainagiem – vidēji dienā veģetācijas perioda laikā (turpmāk tekstā FAR_{kop} Mol m^{-2}), tiešās fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvumu Mol m^{-2} zem koku vainagiem – vidēji dienā veģetācijas perioda laikā (turpmāk tekstā – FAR_{zv} Mol m^{-2}) un kopējās (tiešās + izkliedētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvumu Mol m^{-2} zem vainagiem – vidēji dienā veģetācijas perioda laikā (turpmāk tekstā FAR_{kopzv} Mol m^{-2}) (1. att.).

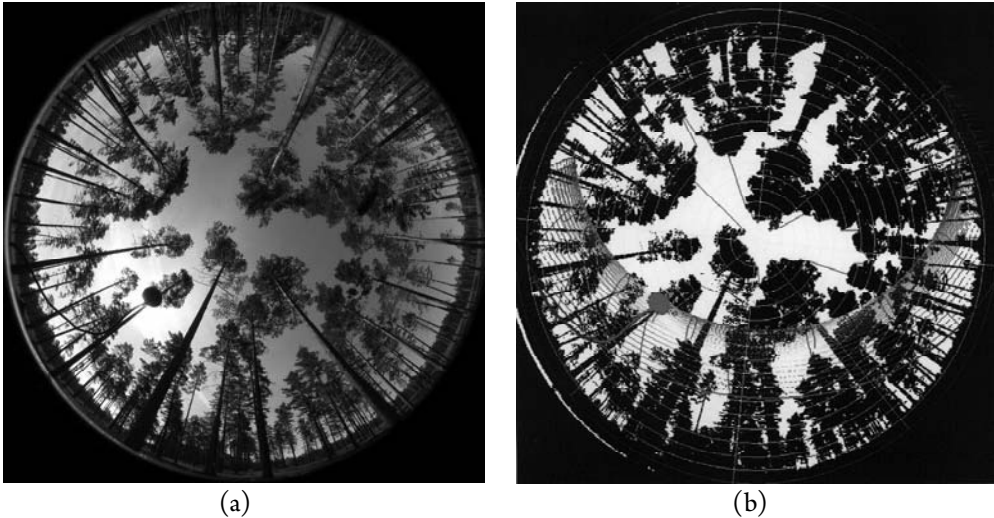
Lai novērtētu gaismas režīma atkarību no audžu šķērslaukuma, aprēķināta lineārā regresija starp transformētājām (logaritmētājām) šķērslaukumu vērtībām un atbilstošo gaismas režīmu raksturojošo parametru vērtībām, izmantojot Microsoft Excel rīku „Regression” (Arhipova, Bāliņa, 2006). Par audzi raksturojošu vienību uzskatīti atsevišķi parauglaukumi ar 12,62 m rādiusu.

Rezultāti un diskusija

Vienlaidus pakāpeniskās cirtes

Nosakot gaismas režīmu vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs, izmantoti 20 audžu dati. Analizēti 42 priežu, 24 egļu un 9 bērzu parauglaukumos iegūtie hemisfēru attēli.

Vienlaidus pakāpeniskajās cirtēs FAR_{kopzv} priežu audzēs svārstās no 10 līdz



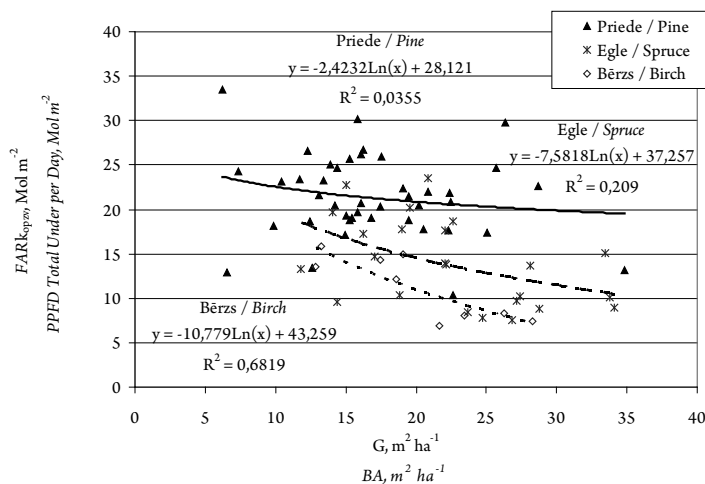
1. attēls. Hemisfēriskā fotogrāfija pirms (a) un pēc (b) analīzes WinSCANOPY programmā.
 Figure 1. Hemispherical picture before (a) and after (b) analysis by Winscanopy.

33 Mol m⁻² (vidēji 22 Mol m⁻²) pie kopējā audzes šķērslaukuma no 6 līdz 35 m² ha⁻¹ (vidēji 17 m² ha⁻¹); egļu audzēs – attiecīgi no 8 līdz 24 Mol m⁻² (vidēji 14 Mol m⁻²) pie kopējā audzes šķērslaukuma no 12 līdz 34 m² ha⁻¹ (vidēji 23 m² ha⁻¹) un bērzu audzēs – attiecīgi, no 7 līdz 16 Mol m⁻² (vidēji 11 Mol m⁻²) pie kopējā audzes šķērslaukuma no 13 līdz 28 m² ha⁻¹ (vidēji 20 m² ha⁻¹).

Pie lielākām audzes kopējā šķērslaukuma vērtībām, FAR_{kopzv} vērtība samazinās, turklāt bērzu audzēm novērojama cieša (Arhipova, Bāliņa, 2006) un būtiska lineārā sakarība ($|r| = 0,826$; $P = 0,006$), egļu audzēm tā ir vāja un būtiska ($|r| = 0,457$; $P = 0,025$), bet priežu audzēm – tikai nebūtiska tendence ($|r| = 0,188$; $P = 0,232$) (2. attēls). Pie līdzīga šķērslaukuma priežu audzēs FAR_{kopzv} ir vislielākais, egļu audzēs – mazāks, bet vismazākais –

bērzu audzēs. Arī citi pētījumi (Sonohat *et al.*, 2004) liecina, ka priežu audzēs gaismas režīma apstākļi ir labāki nekā egļu audzēs ar līdzīgu šķērslaukumu. Zem ēncietīgāku sugu kokiem (egle) gaismas režīms parasti ir sliktāks nekā zem gaismas prasīgu sugu kokiem (bērzs) ēncietīgo sugu garāko un blīvāko vainagu dēļ (Canham *et al.*, 1994). Atšķirīgos rezultātus varētu skaidrot tas, ka mūsu pētījumā iekļautajām bērzu audzēm ir otrais stāvs, ko pārsvarā veido egle.

Analizējot datus par pirmā stāva šķērslaukumu, neatkarīgi no otrā stāva esamības, priežu audzēs novērojama nebūtiska tendence ($|r| = 0,118$; $P = 0,457$) – FAR_{kopzv} gandrīz nemainās pie lielākām pirmā stāva šķērslaukuma vērtībām, savukārt egļu audzēs negatīvās sakarības ciešums nedaudz samazinās ($|r| = 0,391$; $P = 0,059$) salīdzinājumā ar vērtējumu pēc kopējā



2. attēls. Kopējās (tiešās + izkliedētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvums Mol m⁻² zem vainagiem - vidēji dienā veģetācijas perioda laikā (FAR_{kopzv}) priežu, egļu un bērzu audzēs atkarībā no kopējā audzes šķērslaukuma (G).

Figure 2. Total (direct + diffuse) photosynthetically active flux density under canopy per day average for growing season (PPFD) in pine, spruce and birch forests plotted against total stand basal area (BA).

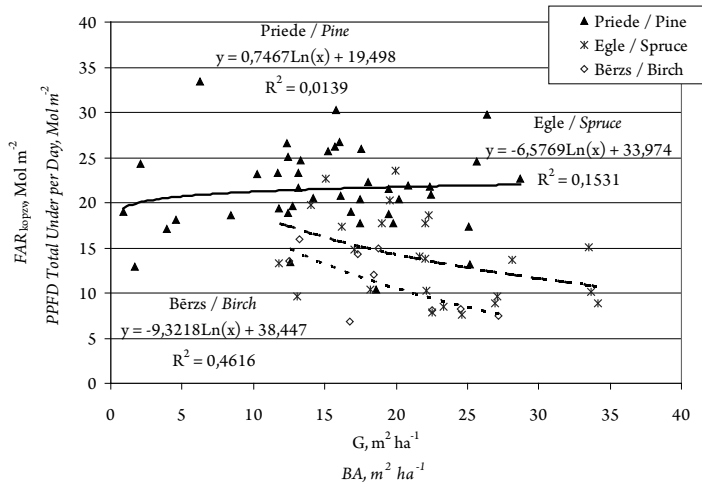
audzes šķērslaukuma. Arī bērzu audzēs sakarības ciešums samazinās, tomēr sakarība joprojām ir vidēji cieša un būtiska ($|r| = 0,679$; $P = 0,044$) (3. att.).

Analīzei izmantojot priežu tiraudzes (priedei 10 vienības sastāva formulā), kur ir tikai pirmais stāvs, novērojama vidēji cieša būtiska sakarība ($|r| = 0,658$; $P = 0,004$) – pie lielākām audzes šķērslaukuma vērtībām FAR_{kopzv} samazinās. Arī egļu audzēs, tikai ar pirmo stāvu, šī sakarība ir vidēji cieša un būtiska ($|r| = 0,770$; $P = 0,009$) (4. att.).

Priežu un egļu audzēs ar otro stāvu novērojama tikai nebūtiska tendence ($|r| = 0,125$; $P = 0,588$) un $|r| = 0,177$; $P = 0,563$) – pie lielākām pirmā stāva šķērs-

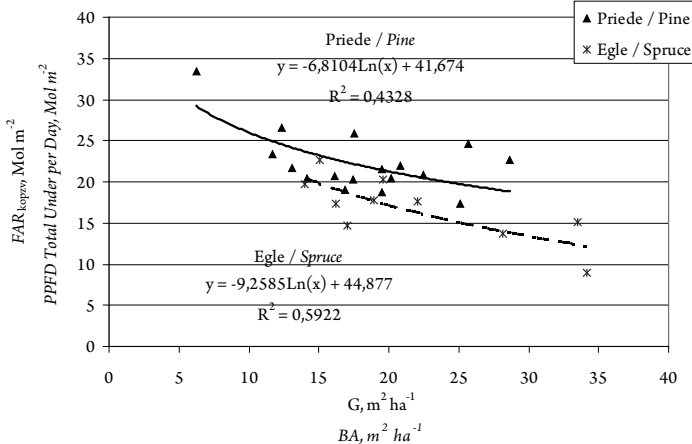
laukuma vērtībām FAR_{kopzv} samazinās.

Priežu un egļu audzēs, kurās ir otrais stāvs, FAR_{kopzv} samazinās pie lielākām kopējā audzes šķērslaukuma vērtībām, bet sakarība ir vāja un nebūtiska ($|r| = 0,235$; $P = 0,304$ un $|r| = 0,254$; $P = 0,402$). Arī citi autori (Hale, 2004; Hale *et al.*, 2009) norāda, ka dažāda vecuma audzēs, kas izveidojušās mērķtiecīgas rīcības rezultātā vai nejaušu faktoru ietekmē, zūd iespēja izmantot audzes šķērslaukumu kā iespējamo apgaismojumu raksturojošo rādītāju, tomēr, pirms audze sasniegusi dažādvecuma stadiju, šķērslaukums izmantojams kā rādītājs plānošanai, līdz kādam šķērslaukumam izretināma audze, lai veicinātu dabisko atjaunošanos.



3. attēls. Kopējās (tiešās + izkliedētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvums Mol m⁻² zem vaināgiem – vidēji dienā veģetācijas perioda laikā (FAR_{kopzv}) priežu, egļu un bērzu audzēs atkarībā no audzes I stāva šķērslaukuma (G).

Figure 3. Total (direct + diffuse) photosynthetically active flux density under canopy per day average for growing season (PPFD) in pine, spruce and birch forests plotted against stand I storey basal area (BA).



4. attēls. Kopējās (tiešās + izkliedētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvums Mol m⁻² zem vaināgiem – vidēji dienā veģetācijas perioda laikā (FAR_{kopzv}) priežu tiraudzēs un egļu audzēs bez otrā stāva atkarībā no audzes šķērslaukuma (G).

Figure 4. Total (direct + diffuse) photosynthetically active flux density under canopy per day average for growing season (PPFD) in pine (with exclusively pine) and spruce forests without II storey plotted against stand basal area (BA).

Kopumā varam secināt, ka saliktās audzēs FAR_{kopzv} raksturošanai nav izmantojams ne I stāva, ne kopējais audzes šķērslaukums, jo sakarības ir vājas, sevišķi priežu audzēs. Vidēji cieša, būtiska, negatīva lineāra sakarība FAR_{kopzv} ar I stāva šķērslaukumu konstatēta priežu ($|r| = 0,658$; $P = 0,004$) tiraudzēs (šķērslaukums $6\text{--}29\text{ m}^2$) un egļu ($|r| = 0,770$; $P = 0,009$) audzēs (šķērslaukums $14\text{--}34\text{ m}^2$) bez II stāva. Būtiska, vidēji cieša un cieša sakarība FAR_{kopzv} ar I stāva un kopējo šķērslaukumu konstatēta bērzu audzēs (visām bērzu audzēm ir II stāvs), tomēr pētījumā analizēti tikai 9 parauglaukumi. Somijā Kuusipalo (1985) konstatējis, ka šķērslaukums izskaidro 75 % no gaismas caurlaidības priežu un egļu audzēs ar šķērslaukumu no 14 līdz 37 m^2 . Korhonen (2007) konstatējis, ka, iekļaujot beta regresijas modeli kā papildu rādītājus koku augstumu un koku sugām individuālus parametrus (priedei – augsnes auglību; eglei – lapu koku īpatsvaru), tas izskaidro priedei 91 %, bet eglei 87 % no vainagu klāja projekcijas. Kanādā Comeau (2001) atklājis logaritmisku sakarību starp šķērslaukumu un gaismas caurlaidību jaunā apšu audzē (šķērslaukums $5\text{--}40\text{ m}^2$), kas izskaidro 88 % no variācijas. Francijā Sonohat (2004) konstatējusi negatīvu eksponenciālu sakarību starp gaismas caurlaidību un audzes šķērslaukumu, kas izskaidro 56 % līdz 80 % no variācijas priedei, eglei, duglāzijai un lapeglei (šķērslaukums $4\text{--}66\text{ m}^2$).

Gaismas režīms dažāda lieluma un veida audzes „atvērums”

MPS Kalsnavas mežu novadā ierīkotajā objektā novērota šāda tendence – jo lielāks ir izcirstais logs, jo lielāks ir FAR_{kopzv} un pārējie gaismas režīma rādītāji (2. tab.). Platībās, kur izcirsta tikai egle, bet priede atstāta, FAR_{kopzv} ir lielāks nekā parauglaukumos, kur izcirsta tikai priede, bet egle atstāta; attiecīgi $16,6 \pm 1,5\text{ Mol m}^{-2}$ un $12,6 \pm 1,1\text{ Mol m}^{-2}$. Savukārt platībās, kur izcirsta egle, FAR_{kopzv} ir lielāks nekā maza izmēra ($10 \times 10\text{ m}$ un $20 \times 20\text{ m}$) audzē izcirstajos logos. Tātad audzē ar sastāvu 8P2E un egles otro stāvu, izcērtot visas egles un atstājot priedes, FAR_{kopzv} var būt lielāks nekā maza izmēra logos ($10 \times 10\text{ m}$ un $20 \times 20\text{ m}$), kur pilnībā izcirsti visi koki, bet apkārtējie koki ir saglabāti.

Izteiktākas gaismas režīma rādītāju izmaiņu tendences novērojamas, salīdzinot izcirsto platību vidū iegūtos mērījumus (3. tab.). Piemēram, $40 \times 40\text{ m}$ loga vidū gaismas režīma rādītāji ir 1,5 līdz 3 reizes lielāki nekā mazāka izmēra ($10 \times 10\text{ m}$ līdz $20 \times 40\text{ m}$) logu vidū. Coates un Burton (1997) konstatējuši, ka atvērumsam jābūt vismaz 50 m diametrā, lai jebkuru tā vietu sasniegtu vismaz 75 % no atklātas vietas FAR ; atvērums, kuru diametrs mazāks par 25 m, FAR ir par 50 % mazāks nekā atklātu vietu FAR . Atvērums, kuru diametrs mazāks par 10 m, FAR ir par 25 % mazāks nekā atklātu vietu FAR .

2. tabula, Table 2

Gaismas režīma vidējie rādītāji atkarībā no ciršanas veida
 MPS Kalsnavas mežu novada 15. kvartālā ierīkotajā objektā
*Average characteristics of light regime in different cutting types in
 Forest Research Station Kalsnava forest region forest block No. 15*

	Ciršanas veids Cutting type							
	Nav veikta No cutting	Izlasses cirte Selection cutting	Izcirsta priede Cutted only pine	Izcirsta egle Cutted only spruce	Logs Gap			
					10 × 10 m	20 × 20 m	20 × 40 m	40 × 40 m
Vainagu klāja izrobojums, % Gap fraction, %	13,8±0,5	11,6±0,4	14,0±0,8	19,4±1,2	16,3±0,7	18,7±1,2	23,4±1,1	29,5±1,1
Vainagu klāja atvērums, % Openness, %	15,3±0,6	13,4±0,5	16,3±1,0	21,8±1,4	18,8±0,7	21,5±1,3	26,9±1,3	33,8±1,4
FAR_{kop} , Mol m ⁻² PPFD Total over per day, Mol m ⁻²	48,3±0,1	48,4±0,0	48,2±0,0	48,2±0,0	48,3±0,0	48,2±0,1	48,2±0,0	48,2±0,0
FAR_{izr} , Mol m ⁻² PPFD Direct under per day, Mol m ⁻²	5,7±9,4	6,1±1,2	8,2±1,1	11,3±1,2	7,2±0,6	8,3±1,4	11,1±0,9	17,0±1,5
FAR_{kopzv} , Mol m ⁻² PPFD Total under per day, Mol m ⁻²	9,4±0,8	9,7±1,0	12,6±1,1	16,6±1,5	12,3±0,6	14,1±1,4	18,3±1,0	25,8±1,8

Tā kā mūsu pētījumā aplūkots tikai viena mežaudze, izvērtējot gaismas režīma apstākļus, apkārtējās audzes augstums nav ņemts vērā. Citu autoru pētījumos norādīts, ka gaismas režīms atvēruma centrā uzlabojas kā funkcija no audzes atvēruma diametra un apkārtējās audzes koku augstuma (Lieffers *et al.*, 1999), kā arī gaismas apstākļi var būt atkarīgi no audzes sienas orientācijas pret kādu no debespusēm (Aussenac, 2000).

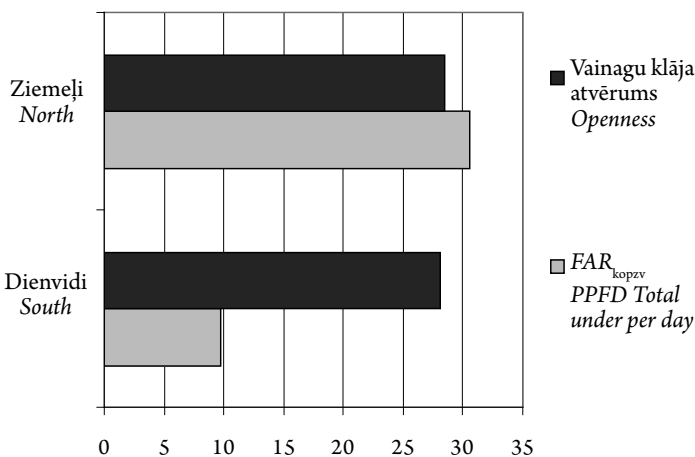
Salīdzinot vainagu klāja atvērumu un FAR_{kopzv} vidējās vērtības 40 × 40 m

izcirsto logu Z un D malu vidū MPS Kalsnavas mežu novada 15. kvartālā, novērota tendence, ka tas abos gadījumos ir samērā līdzīgs (apmēram 28,5 %), savukārt D malā FAR_{kopzv} ir vairāk nekā trīs reišu mazāks, salīdzinot ar Z malu, attiecīgi 9,7 ± 0,2 un 30,7 ± 0,6 Mol m⁻² (5. att.). ASV konstatēts, ka vainagu klāja gaismas caurlaidība dažāda lieluma (0,1–1 ha) izcirsto logu D daļā vidēji ir 60 %, salīdzinot ar izcirsto logu vidu, savukārt Z daļā tā ir par 80 % lielāka (York *et al.*, 2003).

3. tabula, Table 3

Gaismas režīma vidējie rādītāji izcirsto platību vidū atkarībā no ciršanas veida
 MPS Kalsnavas mežu novada 15. kvartālā ierīkotajā objektā
*Average characteristics of light regime in different cutting type centers in
 Forest Research Station Kalsnava forest region forest block No. 15*

	Ciršanas veids Cutting type					
	Izcirsta priede Cutted only pine	Izcirsta egle Cutted only spruce	Logs Gap			
			10 × 10 m	20 × 20 m	20 × 40 m	40 × 40 m
Vainagu klāja izrobojums, % Gap fraction, %	14,7±1,5	21,8±1,1	15,4±0,5	22,3±2,4	29,1±2,0	36,5±1,3
Vainagu klāja atvērums, % Openness, %	17,2±1,8	24,6±1,5	17,9±0,5	26,3±2,4	33,6±2,0	42,1±1,3
FAR_{kop} , Mol m ⁻² PPFD Total over per day, Mol m ⁻²	48,2±0,0	48,2±0,0	48,2±0,0	48,2±0,0	48,2±0,0	48,2±0,0
FAR_{tzv} , Mol m ⁻² PPFD Direct under per day, Mol m ⁻²	8,5±1,5	13,7±0,1	6,1±0,4	8,2±3,3	13,1±1,9	22,1±0,9
FAR_{kopzv} , Mol m ⁻² PPFD Total under per day, Mol m ⁻²	13,4±1,1	19,9±0,7	11,1±0,4	15,8±3,0	22,2±2,1	33,3±1,1



5. attēls. Audzes vainagu klāja atvēruma (%) un kopējās (tiešās + izkliedētās) fotosintētiski aktīvās radiācijas plūsmas blīvums zem vainagiem – vidēji dienā veģetācijas perioda laikā FAR_{kopzv} (Mol m⁻²) vidējās vērtības 40 × 40 m izcirsto logu ziemeļu un dienvidu malu vidū MPS Kalsnavas mežu novada 15. kvartālā ierīkotajā objektā.

Figure 5. Average openness (%) and Total (direct + diffuse) photosynthetically active flux density under canopy per day average for growing season (PPFD) for north and south 40 × 40 m gap edges in Forest Research Station Kalsnava forest region forest block No. 15.

Koku vainagu gaismas caurlaidība un vainagu klāja atvērums samazinās, palielinoties laikam pēc audzes izretināšanas (Beaudet, Messier, 2002; Sonohat *et al.*, 2004). Tā kā pētījumā izmantotas audzes ar līdzīgu pēccirtes laiku (5–6 gadi vienlaidus pakāpenisko ciršu gadījumā; 1–2 gadi MPS Kalsnavas mežu novada objektā), gaismas režīma rādītāji raksturo tikai šo laika periodu.

Turpmākajos pētījumos būtu izzināmas konkrētu koku sugu paaugas augšanas likumsakarības saistībā ar gais-

mas režīmu. Šāda veida pētījumi jau veikti gan Latvijā (Zviedris, 1949; Сунa, 1957), gan citās valstīs (Canham *et al.*, 1994; Pacala *et al.*, 1994; Riepšas, Urbaitis, 1996; Aussenac, 2000; Page *et al.*, 2001; Pardos *et al.*, 2007; Bertin *et al.*, 2011; Мелехов, 1975; Побединский, 1980), tomēr neskaidrās gaismas režīmu raksturojošo rādītāju interpretācijas (Jennings *et al.*, 1999) nereti rada grūtības, salīdzinot dažādu pētījumu rezultātus (tostarp arī mūsu pētījumā).

Secinājumi

1. Pie līdzīga audzes šķērslaukuma priežu audzēs, salīdzinot ar egļu audzēm, FAR_{kopzv} ir lielāks.
2. Bērzu audzēs ir visciešākā sakarība starp audzes šķērslaukumu un FAR_{kopzv} , egļu audzēs tā ir vājāka, bet visvājākā – priežu audzēs.
3. Saliktās audzēs, lai raksturotu FAR_{kopzv} , nav izmantojams ne I stāva, ne kopējais audzes šķērslaukums, jo sakarības ir vājas, sevišķi priežu audzēs.
4. Vidēji cieša, būtiska, negatīva lineāra sakarība FAR_{kopzv} ar I stāva šķērslaukumu ir konstatēta vienkāršās priežu tīraudzēs ($|r| = 0,658$; $P = 0,004$) un vienkāršās egļu audzēs ($|r| = 0,770$; $P = 0,001$).
5. Gaismas režīma rādītāji 40×40 m loga vidū ir 1,5 līdz 3 reizes lielāki nekā mazāka izmēra (10×10 m līdz 20×40 m) logu vidū.
6. Salīdzinot vainagu klāja atvērumu un FAR_{kopzv} vidējās vērtības 40×40 m izcirsto logu Z un D malu vidū, novērota tendence, ka vainagu klāja atvērums abos gadījumos ir samērā līdzīgs (apmēram 28,5%), bet D malā FAR_{kopzv} ir vairāk nekā trīs reizes mazāks salīdzinājumā ar Z malu, attiecīgi $9,7 \pm 0,2$ un $30,7 \pm 0,6$ Mol m⁻².
7. Parauglaukumos, kur izcirsta egle, bet atstāta priede, FAR_{kopzv} ir lielāks nekā parauglaukumos, kur izcirsta priede, bet atstāta egle, attiecīgi $16,6 \pm 1,5$ Mol m⁻² un $12,6 \pm 1,1$ Mol m⁻².
8. Parauglaukumos, kur izcirsta egle, bet atstāta priede, FAR_{kopzv} ir lielāks nekā nelielos (10×10 m un 20×20 m) audzē izcirstajos logos.

Literatūra

- Arhipova, I., Bāliņa, S.** (2006). Statistika ekonomikā un biznesā. Risinājumi ar SPSS un Microsoft Excel. Mācību līdzeklis. 2. izdevums. Datorzinību Centrs, Rīga, 364 lpp.
- Aussenac, G.** (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.*, 57, 287–301.
- Beaudet, M., Messier, C.** (2002). Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: an assessment based on hemispherical photographs. *Agricultural and Forest Meteorology*, 110, 217–228.
- Bertin, S., Palmroth, S., Kim, H. S., Perks, M. P., Mencuccini, M., Oren, R.** (2011). Modelling understorey light for seedling regeneration in continuous cover forestry canopies, *Forestry*, 84, 397–409.
- Canham, C. D., Denslow, J. S., Platt, W. J., Runkle, J. R., Spies, T. A., White, P. S.** (1990). Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Can. J. For. Res.*, 20, 620–631.
- Canham, C. D., Finzi, A. C., Pacala, W., Burbank, D. H.** (1994). Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Can. J. For. Res.*, 24, 337–359.
- Coates, D. K., Burton, P. J.** (1997). A gap-based approach for development of silvicultural systems to address ecosystem management objectives. *Forest Ecology and Management*, 99, 337–354.
- Comeau, P. G.** (2001). Relationships between stand parameters and understorey light in boreal aspen stands. *Journal of Ecosystems and Management*, 1, 1–8.
- Erefur, C.** (2010). Regeneration in Continuous Cover Forestry Systems. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, 53 pp.
- Gendron, F., Messier, C., Comeau, P. G.** (1998). Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92, 55–70.
- Gray, A. N., Spies, T. A.** (1996). Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *Journal of Ecology*, 84, 635–645.
- Hale, S.** (2004). Managing light to enable natural regeneration in British conifer forest. Information Note. Forestry Commission, Edinburgh, 6 pp.
- Hale, S. E., Edwards, C., Mason, W. L., Price, M., Peace, A.** (2009). Relationships between canopy transmittance and stand parameters in Sitka spruce and Scots pine stands in Britain. *Forestry*, 82, 503–513.
- Jennings, S. B., Brown, N. D., Sheil, D.** (1999). Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry*,

72 (1), 59–73.

- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F.** (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and forest meteorology*, 121, 19–35.
- Korhonen, L., Korhonen, K. T., Stenberg, P., Maltamo, M., Rautiainen, M.** (2006). Local models for forest canopy cover with beta regression. *Silva Fennica*, 41, 671–685.
- Kuusipalo, J.** (1985). On the use of tree stand parameters in estimating light conditions below canopy. *Silva Fennica*, 19, 185–196.
- Lahde, E., Laiho, O., Lin, C. J.** (2010). Silvicultural alternatives in an uneven-sized forest dominated by *Picea abies*. *J. For. Res.*, 15, 14–20.
- Latvijas daba. Enciklopēdija 1.–6. sējums. Rīga, 1994.–1998. lpp.
- Lieffers, V. J., Messier, C., Stadt, K. J., Gendron, F., Comeau, P. G.** (1999). Predicting and managing light in the understory of boreal forests. *Can. J. For. Res.*, 796–811.
- Mason, W., Kerr, G.** (2004). Transforming even-aged conifer stands to continuous cover management. Information note. Forestry Commission, Edinburgh, 8 pp.
- Mason, W., Kerr, G., Simpson, J.** (1999). What is continuous cover forestry? Information Note. Forestry Commission, Edinburgh, 8 pp.
- Pacala, S. W., Canham, C. D., Silander, J. A. Jr., Kobe, R. K.** (1994). Sapling growth as a function of resources in a northern temperate forest. *Can. J. For. Res.*, 24, 2172–2183.
- Page, L. M., Cameron, A. D., Clarke, G. C.** (2001). Influence of overstorey basal area on density and growth of advanced regeneration of Sitka spruce in variably thinned stands. *Forest Ecology and Management*, 151, 25–35.
- Pardos, M., Montes, F., Aranda, I., Canelas, I.** (2007). Influence of environmental conditions on germinant survival and diversity of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in central Spain. *Eur. J. Forest Res.*, 126, 37–47.
- Pommering, A., Murphy, S. T.** (2004). A review of the history, definitions and methods of continuous cover forestry with special attention to afforestation and restocking. *Forestry*, 77 (1), 27–44.
- Pukkala, T., Lahde, E., Laiho, O.** (2009). Growth and yield models for uneven-sized forest stands in Finland. *Forest Ecology and Management*, 258, 207–216.
- Rich, P. M.** (1990). Characterizing plant canopies with hemispherical photographs. *Remote sensing reviews*, 5, 13–29.
- Rich, P. M., Clark, D. B., Clark, D. A., Oberbauer, S. F.** (1993). Long-term study of solar radiation regimes in a wet forest using quantum sensors and hemispherical photography. *Agricultural and forest meteorology*, 65, 107–127.
- Riepišas, E., Urbaitis, G.** (1996). Impact of some ecological factors on natural regenera-

tion of recreational Scots pine stands. *Baltic Forestry*, 2, 9–15.

- Sonohat, G., Balandier, P., Ruchaud, F.** (2004). Predicting solar radiation transmittance in the understory of even-aged coniferous stands in temperate forests. *Ann. For. Sci.*, 61, 629–641.
- York, R. A., Battles, J. J., Heald, R. C.** (2003). Edge effects in mixed conifer group selection openings: tree height response to resource gradients. *Forest Ecology and Management*, 179, 107–121.
- Zviedris, A.** (1949). *Mežsaimniecība Latvijas PSR saudzējamās mežos un zaļajās joslās*. Rīga, Latvijas valsts izdevniecība, 99 lpp.
- Мелехов, И. С.** (1975). Биология, экология и география возобновления леса. В: *Возобновление леса. Научные труды ВАСХНИЛ*. Москва, Колос, 4.–37. с.
- Побединский, А. В.** (1980). *Рубки главного пользования*. М.: Лесн. Пром-сть, 192 с.
- Суна, Ж. Ю.** (1957). *Лесовосстановительные рубки в сосновых борах зеленой зоны города Риги*. Автореферат дисс. Рига, 29 с.