
Melnalkšņa un baltalkšņa stumbru sulas plūsma ziemas periodā Latvijā

Oskars Krišāns¹, Juris Rieksts-Riekstiņš¹, Kārlis Taukačs¹, Āris Jansons^{1*}

Krišāns, O., Rieksts-Riekstiņš, J., Taukačs, K., Jansons, Ā. (2013). Melnalkšņa un baltalkšņa stumbru sulas plūsma ziemas periodā Latvijā. *Mežzinātne* 27(60): 91-102.

Kopsavilkums. Sulas plūsmas pētījumi ir nozīmīgi, lai iegūtu informāciju par koku atbildes reakciju uz vides izmaiņām, kas būtu izmantojama turpmākajos pētījumos, modelējot koku reakciju uz nākotnē prognozējamiem klimatiskajiem apstākļiem. Sulu plūsmas mērījumi meža kokiem līdz šim Latvijā nav veikti, tādēļ izpētes mērķis ir iegūt sākotnējos datus par temperatūras ietekmi uz sulas plūsmu koku stumbros ziemas periodā.

Mērījumi veikti diviem vienā audzē augošiem I Krafta klases kokiem (melnalksnim un baltalksnim), izmantojot konstanta siltumavota plūsmas mērinstrumentu (*ICT International*). Sulas plūsma izvērtēta divos dziļumos stumbra iekšienē, pielietojot siltuma izmaiņu attiecības metodi. Mērīts reizi stundā koku sakņu kakla augstumā, laika periodā no 2012. gada novembra līdz 2013. gada februārim. Vienlaikus veikti arī gaisa temperatūras, kā arī augsnes mitruma (30 un 60 cm dziļumā) un temperatūras mērījumi.

Konstatēts, ka augsnes temperatūra zem sniega segas novērojumu periodā praktiski nav mainījusies: 30 cm dziļumā – $1,56 \pm 0,03$ °C un 60 cm dziļumā – $2,08 \pm 0,03$ °C. Savukārt gaisa temperatūras amplitūda šajā pašā laikā bijusi plaša – no $+4,1$ °C līdz $-24,4$ °C (vidēji $-8,6$ °C) un nozīmīgi ietekmējusi sulas plūsmu: melnalksnim – apļievas ārējā daļā (5 mm dziļumā) $r = 0,56$ ($p < 0,05$) un iekšējā daļā (20 mm dziļumā) $r = 0,50$ ($p < 0,05$). Sulas plūsmas ātrums apļievas ārējā daļā svārstījās no 2,97 līdz 6,91 cm h⁻¹ (vidēji 1,5 cm h⁻¹) un iekšējā daļā – no 0,26 līdz 12,48 cm h⁻¹ (vidēji 4,97 cm h⁻¹). Rezultāti liecina, ka klimatisko apstākļu izmaiņas ziemas periodā nozīmīgi ietekmē sulas plūsmu koku stumbros un potenciāli arī koku ūdens patēriņu, vitalitāti un augšanu.

Nozīmīgākie vārdi: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench., sulas plūsma, siltuma izmaiņu attiecības metode.

•••

Krišāns, O.², Rieksts-Riekstiņš, J.², Taukačs, K.², Jansons, Ā.^{2*} **Sap flow in stem of black and grey alder in winter period in Latvia.**

Abstract. Sap flow measurements for the first time in Latvia were carried out on the stem of a black (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) and a grey (*Alnus incana* (L.) Moench.) alder

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

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

*e-mail: aris.jansons@silava.lv

during the winter period – from November 2012 till February 2013. The aim of the study was to obtain preliminary information on the influence of temperature conditions on stem water flow for a further wider study on the impact of predicted winter period warming on tree growth. Sap flow measurements were carried out using two devices based on heat ratio method, placed at the stem base of a 40 year old (Kraft class I) black and gray alder. Simultaneously, hourly measurements of air temperature were collected by a meteorological station and soil temperature was measured in depths of 30 cm and 60 cm within the stand. Results reveal that the soil temperature under the snow cover during the observation period remained practically unchanged and was on average 1.56 ± 0.03 °C and 2.08 ± 0.03 °C in depth of 30 cm and 60 cm respectively. Therefore soil temperature was not a driving factor for the observed changes of sap flow. In contrast, air temperature varied widely – from 4.1 °C to –24.4 °C (average –8.6 °C) and this variation has been copied by sap flow values. The correlation between diurnal mean air temperature and diurnal mean sap flow in the outer and inner sapwood layers of black alder was $r = 0.56$ ($p < 0.05$) un $r = 0.5$ ($p < 0.05$) respectively. The velocity of sap flow in the outer sapwood layer in the depth of 5 mm ranged from –2.97 to 6.91 cm h⁻¹ (average 1.5 cm h⁻¹), and in the inner layer in the depth of 20 mm from 0.26 to 12.48 cm h⁻¹ (average 4.97 cm h⁻¹). Results suggest that the projected changes in winter period temperatures will have a notable impact on tree water flow and potentially, depending on the water availability, also on vitality and growth.

Key words: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench., sap flow, heat ratio method.

...

Кришанс, О.³, Риекстс-Риекстыньш, Ю.³, Таукачс, К.³, Янсонс, А.^{3*} **Соковый поток в стволах чёрной и белой ольхи в зимнем периоде Латвии.**

Резюме. Исследования соковых потоков имеет существенное значение для получения информации об ответных реакциях деревьев на изменение окружающей среды и которую можно было бы использовать в дальнейших опытах, а также для моделирования реакций деревьев на предполагаемые изменения климатических условий в будущем. Упомянутые исследования до сих пор в Латвии не проводились, поэтому необходимо получить изначальные данные о соковых потоках в стволах деревьев в зимнем периоде.

Измерительные данные взяты от двух деревьев (1-ого класса Крафта), произрастающих в одном и том же насаждении (1 дерево черной ольхи и 1 дерево белой ольхи), используя прибор с константным источником теплового потока (*ICT International*). Соковый поток обследован на двух глубинах внутри ствола посредством метода соотношения тепловых изменений. Измерения проводились один раз в течение часа на высоте корневой шейки от ноября 2012 года до февраля 2013 года. В том же периоде сделаны измерения температуры воздуха, а также температуры и влажности

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

почвы на глубине 30 см и 60 см.

Констатировано, что в период обследования температура почвы под снежным покровом по существу осталась неизменной, т.е. на глубине 30 см та была $1,56 \pm 0,03$ °C, а на глубине 60 см – $2,08 \pm 0,03$ °C. В свою очередь амплитуда температур воздуха колебалась в широких пределах – от $+4,1$ °C до $24,4$ °C (в среднем – $8,6$ °C), что существенно воздействовало на соковый поток: у черной ольхи – на внешней части оболони (на глубине 5 мм) $r = 0,56$ ($p < 0,05$) и во внутренней части (на глубине 20 мм) $r = 0,50$ ($p < 0,05$). Скорость сокового потока на внешней части оболони колебался от $2,97$ до $6,91$ cm h^{-1} (в среднем $1,5$ cm h^{-1}) и во внутренней части – от $0,26$ до $12,48$ cm h^{-1} (в среднем $4,97$ cm h^{-1}).

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что изменения климатических условий в зимнем периоде значительно влияют на соковые потоки в стволах деревьев и, потенциально, на потребление ими воды, а также на их живучесть и рост.

Ключевые слова: *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench., соковый поток, метод соотношения тепловых изменений.

Ievads

Latvijas mežos sastopamo alkšņu (*Alnus*) ģints koku sugu – melnalkšņa (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) un baltalkšņa (*Alnus incana* (L.) Moench) – audzes, atbilstoši Meža statistiskās inventarizācijas datiem, sastāda attiecīgi 5,1 % un 9,8 % no Latvijas mežu kopplatības (Silava, 2013). Minētās sugas ir ātraudzīgas un saimnieciski nozīmīgas. Abām ir plaši izplatības areāli, kas liecina par to augstajām adaptācijas spējām, bet vislabāk tās aug mitrās un irdenās augsnēs, piemēram, ielejveida reljefa pazeminājumos, upju un ezeru palienēs. Melnalkšnis, kā higrofitiska suga, sastopams arī pastāvīgi pārmitrās augsnēs, galvenokārt vietās ar tekošiem virszemes ūdeņiem. Paaugstinātais iztvaikošanas potenciāls un paaugstināta gruntsūdens apstākļiem īpaši pielāgotā sakņu sistēma ir tās adaptīvās īpašības, kas nosaka sugas spēju attīstīties ar augsnēs ūdeni pārsātinātā un pat anaerobā vidē (Mauriņš, Zvirgzds, 2006; Laiviņš *et al.*,

2009; Elferts *et al.*, 2011).

Informāciju par koku ūdens izmantošanas īpatnībām sniedz koku stumbru sulas plūsmas mērījumi. Augu izmantotā ūdens apjoma tiešie mērījumi ilgus gadus bija sarežģīts process, kura izpildei pielietoja, piemēram, sveramos lizimetrus, lai analizētu mazu dimensiju kokus. Nosakot pieaugušo koku izmantotā augsnes ūdens potenciāla un kopējā ūdens satura apjoma izmaiņas, nebija iespējams iegūt kvantitatīvus, sulas plūsmu raksturojošus datus (Wullschleger *et al.*, 2011).

Šobrīd, izdarot tiešos augu sulas plūsmu mērījumus pēc pasaulē plaši pielietotām metodēm, izmanto konstanta siltuma avota radītu vertikālu siltuma pārnesi koka stumbrā, ko fiksē ar aplievā dažādā dziļumā ievietotiem temperatūras sensoriem. Siltuma pārnesi nodrošina vertikālā ūdens plūsma, kuru fiksē, nosakot temperatūru starpību starp dažādos līmeņos lineāri izvietotiem sensoriem. Savukārt temperatūru vērtību starpības izmanto, nosakot sulas plūsmas

ātrumu un kopējo apjomu (Smith, Allen, 1996; Clearwater *et al.*, 1999; Nadezhdina *et al.*, 2002; Čermák *et al.*, 2004).

Siltuma izmaiņu attiecību metodes pielietošana skaitliski raksturo sulas plūsmas lielumus aplievā, kas turpmāk izmantojami koku fizioloģijas pētījumos, nosakot ūdens izmantošanas bilanci gan organisma, gan mežaudzes līmenī. Metodes pilnvērtīgu pielietojamību nosaka tādi kokaugu ūdens transporta sistēmas faktori, kā aplievas dziļums un biezums, kā arī radiālā un azimutālā vadaudu izvietojuma atšķirības aplievā, kas variē atkarībā no sugas, augšanas apstākļiem, fenotipa un genotipa (Johnson, Tyree, 1992; Granier *et al.*, 1994; Ford *et al.*, 2004; Richter, 2012).

Sulas plūsmas pētījumos iegūtie rezultāti radīs iespēju analizēt klimatisko faktoru potenciālo izmaiņu ietekmi uz koku augšanas dinamiku. Svarīgi noskaidrot meteoroloģisko un augsnes faktoru izmaiņu ietekmi uz sulas plūsmu ziemā un veģetācijas sezonas sākumā. Līdzšinējos pētījumos nav pilnvērtīgas informācijas par lapu koku fizioloģisko procesu norisi dabiskā vidē, ziemas miera periodā. Ir tikai laboratorijā veikti eksperimenti, kas apliecina koku fizioloģisko procesu nepārtrauktību visa gada garumā. Pētījuma mērķis ir raksturot sulas plūsmas īpatnības alkšņu stumbros ziemas periodā. Pētījumā pirmo reizi Latvijā būs iegūti dati par koku ūdens resursu izmantošanas efektivitāti un saistību ar meteoroloģiskajiem apstākļiem, sniedzot iespēju turpmākajos pētījumos prognozēt koku sugu potenciālo piemērotību sagaidāmajām klimata izmaiņām.

Materiāli un metodes

Melnalkšņa un baltalkšņa stumbru sulas plūsmas mērījumi veikti Latvijas centrālajā daļā Vecumniekos (Z plat. 56° 30' A gar. 24° 30'). Eksperimentālais parauglaukums izvietots šaurlapju kūdrenī, kur tika novēroti 40-gadīgi pirmās Krafta klases koki – viens melnalksnis un viens baltalksnis (audzes sastāvs: 6Ba3M1B40). Paraugkoki aug tiešā ūdenstilpnes tuvumā, aptuveni 0,4 m virs ūdens līmeņa.

Koku stumbru sulas plūsmas mērījumiem sakņu kakla augstumā izmantoti konstanta siltuma avota ūdens plūsmas mērītāji SFM1 (*ICT International*), pielietojot siltuma izmaiņu attiecību metodi (Rumman, 2012). Tās pamatā ir koka stumbra siltuma vertikālās pārneses ātruma mērījumi, kas raksturo sulas pārvietošanos vadaudos. Pēc urbumu izdarīšanas mērītāja sensori tika ievietoti koka stumbra aplievas daļā – 5 mm un 20 mm dziļumā no mizas virsmas. Tādējādi, veicot sulas plūsmas mērījumus aplievas ārējā un iekšējā daļā, iegūti dati par sulas plūsmas ātrumu (cm h^{-1}) abos aplievas slāņos. Mērierīces programmatūras uzstādījumi paredzēja automātisku datu nolasīšanu reizi stundā. Analīzei izmantotās sulas plūsmas ātruma vērtības iegūtas periodā, kad gaisa temperatūra nebija zemāka par $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vides apstākļu izmaiņu ietekmes novērtēšanai novērojumu parauglaukumā tika izvietoti tensiometri T8 (*UMS GmbH*) – 0,3 un 0,6 m dziļumā –, ar kuriem izdarīti automātiski augsnes un temperatūras mērījumi. Iegūtie dati, ar stundas intervālu, uzkrāti reģistratorā DL6 (*Delta – T Devices*).

Meteoroloģisko parametru mērījumiem izmantota pārvietojamā meteostacija

Wireless Vantage Pro2 (Davis Instruments), kas uzstādīta aptuveni 2 km attālumā no parauglaukuma. Ar tās palīdzību ir iegūti diennakts gaisa temperatūru un summārās Saules radiācijas dati.

Dati statistiski apstrādāti ar datorprogrammu *MS Excel*; pielietojot aprakstošās statistikas metodes, noteikta lineārā korelācija starp meteoroloģiskajiem faktoriem, augsnes temperatūrām un koksnes ūdens plūsmu raksturojošiem parametriem.

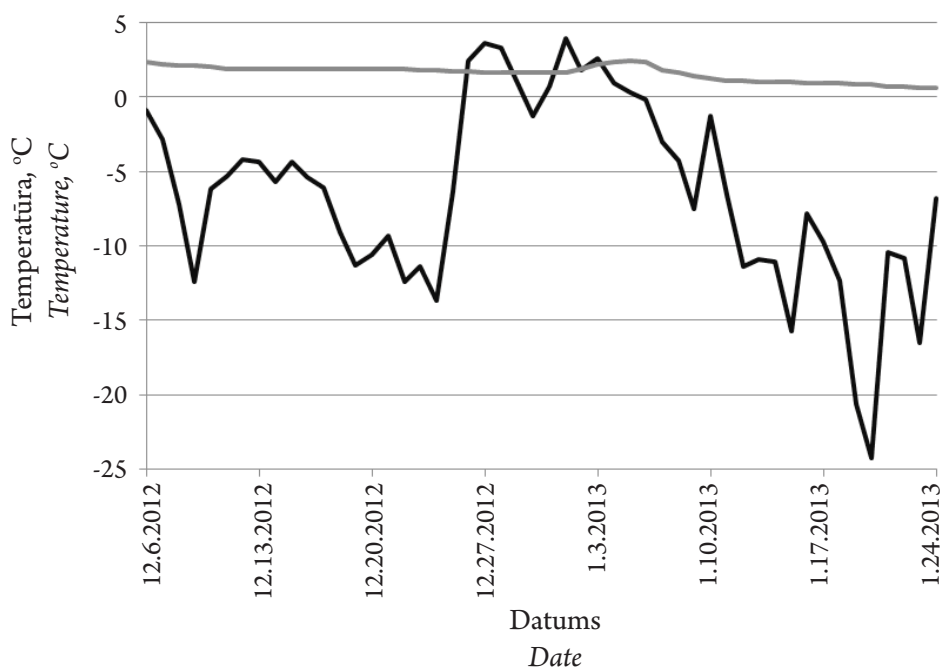
Rezultāti

Meteoroloģisko parametru mērījumu dati (1. att.) liecina, ka laika posmā no koku sulas plūsmas mērījumu uzsākšanas, 2012. gada 6. decembrī, līdz novērojumu perioda beigām – 2013. gada 24. janvārim, diennakts vidējā gaisa temperatūra bijusi

–6,1 °C, maksimumu (4,1 °C) sasniedzot 2013. gada 1. janvārī, savukārt minimālā vērtība (–24,4 °C) fiksēta 19. janvārī. Diennakts vidējās minimālās un maksimālās gaisa temperatūras bija attiecīgi –20,3 °C un 2,9 °C.

Novērojumu periods ilga 50 dienas. Laika posmā no 2012. gada 26. decembra līdz nākamā gada 6. janvārim konstatētas pozitīvas diennakts vidējās gaisa temperatūras, iezīmējot kopējā novērojumu perioda vidusdaļu kā siltāko posmu. Kopumā 38, no 50 novērojumu diennaktīm, fiksētā diennakts vidējā gaisa temperatūra uzrādīja negatīvas vērtības, turklāt janvārī tika novērotas nozīmīgas diennakts vidējās gaisa temperatūras svārstības – pat piecu grādu robežās.

Diennakts summārās Saules radiācijas



1. attēls. Gaisa un augsnes diennakts vidējo temperatūru izmaiņas.

Figure 1. Variation of daily average air and soil temperatures.

— Gaisa temperatūra, °C / Air temperature, °C

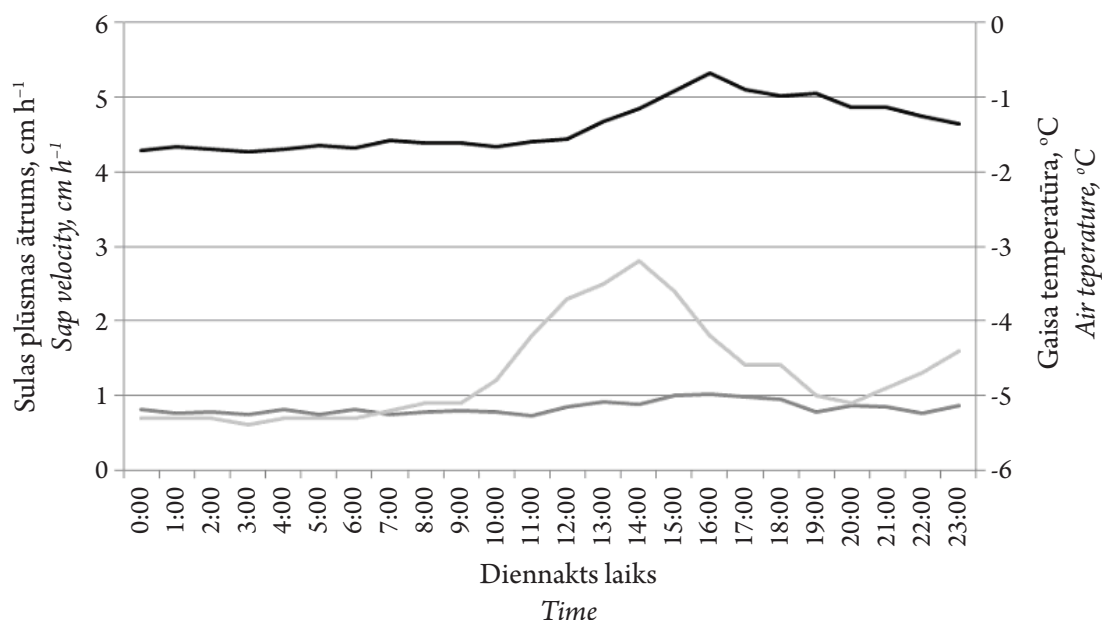
— Augsnes temperatūra 0,3 m dziļumā, °C / Soil temperature in the depth of 0.3 m, °C

mērījumu rezultāti novērojumu periodā uzrāda vērtību pieaugumu no perioda sākuma līdz 2012. gada 28. decembrim, sasniedzot 116 W m^{-2} . Nākamo diennakšu laikā vērtības samazinājušās. Apsekotā perioda otrajā pusē summārās Saules radiācijas vērtības svārstījušās, tomēr pakāpeniski pieaugušas, līdz 21. janvārī plkst. 11:00 sasniedzot visaugstāko, 299 W m^{-2} , atzīmi. Vidējā diennakts vērtība novērojumu periodā bijusi $23,8 \text{ W m}^{-2}$, vidējā minimālā – $4,9 \text{ W m}^{-2}$, bet vidējā maksimālā – $59,6 \text{ W m}^{-2}$.

Visā izpētes periodā zemākā augsnes temperatūras vērtība novērota 0,3 m dziļumā ($0,6 \text{ }^\circ\text{C}$), bet augstākā – 0,6 m dziļumā

($3 \text{ }^\circ\text{C}$). Abu parametru vērtību pastāvību raksturo to izmaiņu nelielā amplitūda, kas ir $2 \text{ }^\circ\text{C}$ robežās. Vidējās vērtības, 0,3 m un 0,6 m dziļumā, attiecīgi ir $1,56 \pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$ un $2,08 \pm 0,03 \text{ }^\circ\text{C}$. Augsnes temperatūru vērtības gan 0,3 m, gan 0,6 m dziļumā uzrāda vidēju korelāciju ar gaisa temperatūru, attiecīgi $r = 0,51$ ($p < 0,05$) un $r = 0,46$ ($p < 0,05$).

Melnalkšņa un baltalkšņa stumbros sulas plūsma konstatēta visā novērojumu periodā, ar nozīmīgām atšķirībām gan atsevišķās diennaktīs, gan vienas diennakts laikā (2. att.). Novērotas arī plūsmas ātruma svārstības dažādos viena koka aplievas slāņos – 5 mm un 20 mm dziļumā no ārējās mizas.



2. attēls. Melnalkšņa stumbra sulas plūsmas ātruma un gaisa temperatūras diennakts izmaiņas 11.12.2012.

Figure 2. Hourly variation of air temperature sap velocity in trunk of black alder in 11.12.2012.

- Sulas plūsmas ātrums melnalkšņa aplievā 20 mm dziļumā, cm h^{-1} / Sap velocity in the depth of 20 m in sapwood, cm h^{-1}
- Gaisa temperatūra, $^\circ\text{C}$ / Air temperature, $^\circ\text{C}$
- Sulas plūsmas ātrums melnalkšņa aplievā 5 mm dziļumā, cm h^{-1} / Sap velocity in the depth of 5 mm in sapwood, cm h^{-1}

Sulas plūsmas ātrums melnalksnim analizēts abos aplievas slāņos, bet baltalksnim – tikai tās ārējā daļā. Visā novērojumu periodā vidējais sulas plūsmas ātrums 5 mm dziļumā bija $1,35 \text{ cm h}^{-1}$ melnalksnim un $2,12 \text{ cm h}^{-1}$ baltalksnim.

Melnalkšņa aplievas slāņu abos dziļumos fiksēto sulas plūsmu ātruma vidējo vērtību starpība visā novērojumu periodā sasniedza $3,62 \text{ cm h}^{-1}$ – attiecīgi $4,97 \text{ cm h}^{-1}$ iekšējā daļā un $1,35 \text{ cm h}^{-1}$ ārējā daļā. Melnalksnim plūsmu ātrumi aplievas ārējā daļā bija vidēji par $0,77 \text{ cm h}^{-1}$ mazāki nekā baltalksnim. Plūsmas ātruma izmaiņu raksturs aplievas ārējā daļā vienas diennakts laikā abiem paraugkokiem bija līdzīgs, jo vērtību svārstību tendencēm vērojama saiste ar diennakts gaisa temperatūru un summārās Saules radiācijas vērtību izmaiņām.

Melnalkšņa stumbra sulas plūsmas ātruma vērtību izmaiņas salīdzinājumā ar gaisa temperatūrām vienas diennakts laikā – 2012. gada 11. decembrī – parādītas ilustratīvā piemērā 2. attēlā. Gaisa temperatūras paaugstināšanās sākās plkst. 09:00 un turpinājās līdz plkst. 14:00, bet plūsmas ātruma vērtību pieaugums iestājās aptuveni vienu stundu vēlāk un bija ilgstošāks. Tas liecina, ka sulas plūsmas ātruma vērtību izmaiņas temperatūras svārstību ietekmē notikušas pēc inerces.

Līdzīga tendence vērojama, salīdzinot sulas plūsmas ātruma izmaiņas un diennakts summārās Saules radiācijas apjomasadalījumu (3. att.) – sulas plūsmas ātrums diennakts maksimumu sasniedza četras stundas vēlāk nekā Saules radiācijas vērtības.

Novērojumos fiksētajām sulas plūsmas ātruma vērtībām ir noteikta lineārā korelācija

ar gaisa temperatūras un summārās Saules radiācijas vērtībām. Starp plūsmas ātruma vērtībām un gaisa temperatūrām konstatēta vidēji cieša korelācija – melnalksnim $r = 0,56$ ($p < 0,05$) un $r = 0,5$ ($p < 0,05$), attiecīgi 5 mm un 20 mm, aplievas slāņu dziļumā. Līdzīga situācija konstatēta arī, analizējot sakarību starp baltalkšņa aplievas ārējās daļas sulas plūsmas ātruma vērtībām un gaisa temperatūrām ($r = 0,47$, $p < 0,05$). Līdzīga sakarība novērota starp sulas plūsmas ātrumu vērtībām un summārās Saules radiācijas vērtībām ($r = 0,41$, $p < 0,05$).

Diskusija

Pētījuma gaitā analizētas baltalkšņa un melnalkšņa stubru sulas plūsmu ātruma izmaiņas saistībā ar meteoroloģiskajiem faktoriem. Novērojumu dati liecina, ka sulas plūsmas raksturs dažādos aplievas dziļumos ir atšķirīgs. Līdzšinējos pētījumos konstatēts, ka sulas plūsmas neviendabīgumu nosaka pašas aplievas struktūra, gadskārtu skaits un šķērsriezuma laukums, kuru savukārt ietekmē koka suga un augšanas apstākļi (Kaöstner *et al.*, 1998).

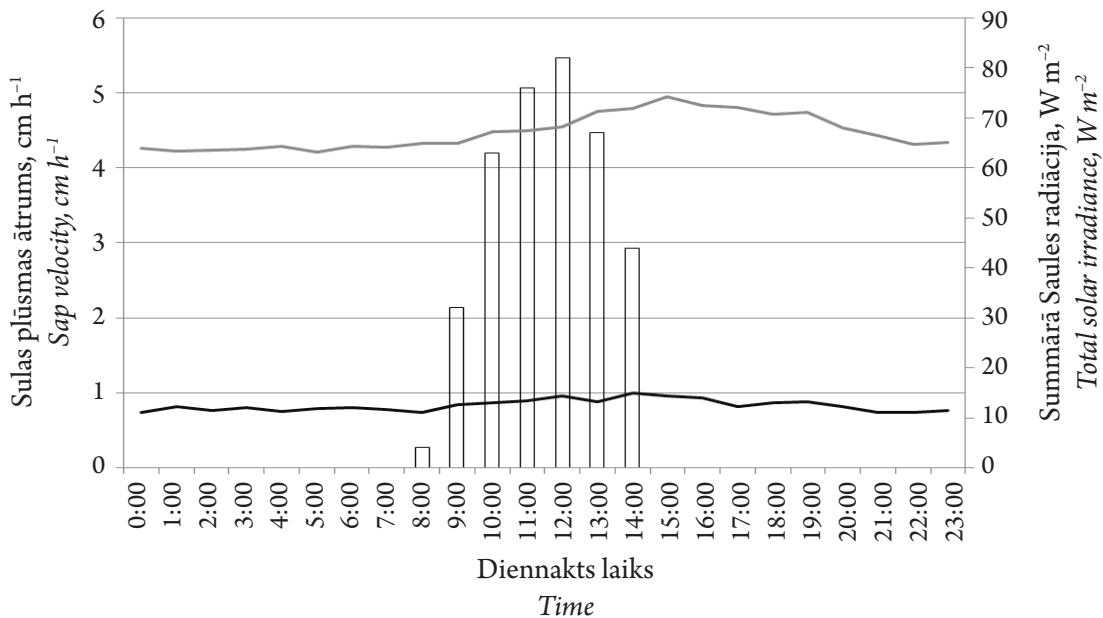
Koka audos esošā ūdens sasaldēšana ir nopietns fizikālais faktors, kas ietekmē auga saglabāšanos un turpmāko augšanu nākamajā veģetācijas sezonā. Ziemas periodā, ja gaisa temperatūra apkārtējā vidē ir negatīva, tomēr ūdens un tā šķīdumi koka stumburā var atrasties nesasalušā – pārattzesētā (supercooled, undercooled) – šķidrā veidā, kaut arī normālos apstākļos ūdens sasaldē pie 0°C . Pārattzesēts ūdens veidojas, kad, pazeminoties temperatūrai, nav nukleācijas kodolu, kas varētu izraisīt kristalizāciju. Šādā veidā šķidrā ūdens temperatūra var sasniegt

-42 °C, kas raksturo homogēno ledus nukleācijas punktu, kad ūdens sāk vienmērīgi sasalt. Heterogēna ledus nukleācija var sākties pie augstākas temperatūras, kad kristalizācija tiek katalizēta uz objektu virsmas vai ūdenī esošajām organiskās vai neorganiskās izcelsmes suspendētajām daļiņām. Nespējot novērst nukleāciju, notiek auga vai to daļu sasaldšana un dzīvo šūnu bojāeja (Ashworth, 1992).

Lai, samazinoties temperatūrai, novērstu ūdens kristalizācijas izraisītus šūnu bojājumus, norisinās šūnu dehidrizācija, kā rezultātā ūdens tiek izvadīts starpšūnu telpā, kur, tam sasaldot, iespējama kaitējums

ir mazāk nozīmīgs. Tajā pašā laikā ūdenim tiek pievienoti krioprotektanti – antifrīza proteīni, kas samazina šķīduma sasaldšanas temperatūru. Atsevišķām kokaugu sugām ir augstas saglabāšanās spējas pat pie tādām temperatūrām, kas izraisa slāpekļa un hēlija sašķidrināšanos. Šajos gadījumos adaptīvo izdzīvošanas spēju nodrošina paaugstināta šūnu satura viskozitāte, kas sasaldšanas procesā nevis kristalizējas, bet vitrificējas (Pearce, 2001).

Pastāv hipotēze, ka ziemas periodā, apļievas audu sasalduma stāvoklī, šūnu dehidrizācijas rezultātā, koka sulu absorbē ar gāzu pūslīšiem pildītas šķiedras, un sulas



3. attēls. Melnalkšņa stumbra sulas plūsmas ātruma un summārās Saules radiācijas diennakts izmaiņas 14.12.2012.

Figure 3. Hourly variation of solar radiation and sap flow velocity in trunk of black alder in 14.12.2012.

- Sulas plūsmas ātrums melnalkšņa aplievā 20 mm dziļumā, cm h⁻¹ / Sap velocity in the depth of 20 m in sapwood, cm h⁻¹
- Sulas plūsmas ātrums melnalkšņa aplievā 5 mm dziļumā, cm h⁻¹ / Sap velocity in the depth of 5 mm in sapwood, cm h⁻¹
- Summārā Saules radiācija, W m⁻² / Total solar radiation, W m⁻²

pārpalikums turpina plūst pa vadaudiem uz augšu līdz vietai, kur tas kristalizējas. Kristālu augšanas rezultātā gāzu ieslēgumi šķiedrās ir saspiesti, atkušņa laikā nodrošinot nepieciešamo spiedienu sulas plūsmai augšup pa stumbru (O'Malley, Milburn, 1983; Johnson, Tyree, 1992).

Novērojumu gaitā iegūtos stumbru sulas plūsmu ātrumus nosaka paraugkoks un mērījumu dziļums. Analizējot plūsmu ātruma diennakts izmaiņas, novērota kopējā tendence – pazeminoties gaisa temperatūrai, samazinājās arī plūsmu ātrumi. Atsevišķās diennaktīs gaisa temperatūras pazemināšanās intervāls sakrita ar plūsmu izmaiņām. Gadījumos, kad gaisa temperatūra visas diennakts gaitā pazeminājās, arī plūsmu ātrumi abos mērījumu dziļumos kritās. Piemēram, 2013. gada 11. janvārī diennakts laikā gaisa temperatūra pazeminājās par 6 °C, un arī plūsmas ātrums proporcionāli samazinājās. Jāatzīmē, ka, sākoties pusdienlaikam, plūsmas ātruma samazināšanās kļuva mērenāka. Atsevišķos pētījumos sulas plūsmas pārtraukums sasaluma stāvoklī tiek saistīts ar ledus izveidošanos vadaudos augsnes virskārtas apvidū (Gibbs, 1935; Johnson, Tyree, 1992). Augsnes temperatūru mērījumi veikti 0,3 m un 0,6 m dziļumā, kur temperatūra visā novērojumu periodā variēja no 0,6 °C līdz 3 °C. Iespējamās pozitīvās augsnes virskārtas temperatūras varētu būt ietekmējuši tādi apstākļi, kā pastāvīgā sniega sega un tieši parauglaukuma tuvumā atrodošais dīķis.

Melnalksnim un baltalksnim stumbra sulas plūsmas mērījumi ziemas periodā līdz šim nav veikti, un publicētie pētījumu dati atspoguļo tikai veģetācijas sezonā iegūtos rezultātus. Piemēram, Vācijā, Šprēvaldes

biosfēras rezervātā, veicot sulas plūsmas mērījumus melnalkšņiem, tika analizēta koka ūdens bilance un ūdens izmantošanas raksturs saistībā ar gruntsūdens līmeņa svārstībām. Pētījumā noskaidrots, ka paraugkoki jutīgi reaģē uz gruntsūdens līmeņa svārstībām, un augs regulē ūdens izmantošanas intensitāti atkarībā no resursu pieejamības. Secināts arī, ka stumbra sulas plūsmas ātrums plaši variē visā aplievas laukumā, dziļumā un perimetrā, neatkarīgi no vainaga formas nevienmērīguma un ūdens resursa vietas izvietojuma. Respektīvi, koka vainaga ēnas pusē esošo un sakņu uzsūkto ūdeni iztvaiko arī Saules pusē esošā vainaga daļa. Līdzīgi arī citos koku horizontālās ūdens plūsmas pētījumos aprakstīts radiālais ūdens transportēšanas mehānisms starp šūnu sienām, kas nodrošina vienmērīgu ūdens pieejamību visam koka vainagam. Sulas plūsmas dinamiku tieši nosaka koka vainaga vitalitāte un stumbra morfoloģiskās īpašības (Meinzer *et al.*, 2001; Richter, 2012).

Tajās diennaktīs, kad bija novērojamas gaisa temperatūras svārstības, sulas plūsmas ātruma vērtības uzrādīja tām līdzīgas izmaiņu tendences. Konstatēts, ka sulas plūsmas ātrums mainījās pat 2 stundas vēlāk pēc temperatūras kāpuma vai krituma, liecinot par izmaiņu inerci. Tas skaidrojams ar koka siltuma akumulācijas īpatnībām, kad stumbra iekšienē temperatūra mainās lēnāk nekā ārvidē (Lakatos *et al.*, 2012). Sulas plūsmu ātruma izmaiņas saistībā ar diennakts summārās Saules radiācijas vērtību svārstībām rāda, ka plūsmas ātrumi pieaug pēcpusdienā, aptuveni 3 līdz 4 stundas pēc reģistrētās maksimālās Saules radiācijas vērtības.

Parauglaukuma izvietojums ietekmē Saules starojumu uz paraugkoku stumbriem, jo no rīta un pusdienlaikā tie atrodas ēnā, saņemot tikai pēcpusdienas starojumu. Tādējādi stumbru virsmas var uzsilt tikai pēc tam, kad maksimālais diennakts siltums vairs nav pieejams. Tieši apēnojuma izmaiņu ietekme varētu būt nozīmīga, skaidrojot sulas plūsmas ātruma vērtību palielināšanās vēlāku sākšanos salīdzinājumā ar gaisa temperatūras un summārās Saules radiācijas diennakts vērtību pieauguma sākšanos.

Dati iegūti ar pēcpusdienas Saules starojuma pusē novietotiem mērīnsinstrumentiem, tādēļ tie varētu atainot uzsilušās koksnes fizioloģiskos procesus ziemas periodā. Turpmāko pētījumu gaitā, lai gūtu pilnvērtīgu priekšstatu par koku sulas plūsmas raksturu ziemā, būtu izdarāmi mērījumi vienam paraugkokam gan Saules, gan ēnas pusē. Tāpat novērojumu perioda ietvaros vajadzētu fiksēt saulaino un apmākušos dienu sadalījumu, lai objektīvi novērtētu Saules starojuma sadalījuma ietekmi. Potenciāli nozīmīgi sulas plūsmas āt-

rumu ietekmējoši vides faktori, kas šajā eksperimentā netika apzināti, ir koku stumbru apledojuums un akumulētais sniegs, kas varētu mazināt gaisa temperatūras paaugstināšanās un Saules starojuma ietekmi.

Pētījuma rezultāti atbilst zinātniskajās publikācijās pieejamajai informācijai par kokaugu fizioloģiskajiem procesiem miera periodā pie negatīvām gaisa temperatūrām. Fiksēto stumbru sulu plūsmu ātruma fluktuācijas gaisa temperatūras un Saules radiācijas intensitātes izmaiņu ietekmē raksturo melnalkšņa un baltalkšņa fizioloģiskos saglabāšanās procesus un adaptācijas līmeni ekstremālos apstākļos. Dzīvie audi sasaluma stāvoklī, kad šūnās izveidojas ledus kristāli, tiek neatgriezeniski bojāti, bet šajā eksperimentā fiksētās stumbra sulas plūsmas ataino šūnu dehidrizāciju un sulas pārvietošanos vadaudos. Pilnībā nav izziņāts reģistrēto plūsmu ierosinātais faktors – vai to izraisa ledus kristālu veidošanās vai šūnu dehidrizācijas rezultātā pārardzesētā ūdens ieplūde koksnes audu starpšūnu telpā.

Pateicība: pētījuma uzdevumu izpildei, doktorantūras studiju ietvaros, izmantotas ERAF projektā Nr. 2010/0119/3DP/3.1.2.1.1./09/ IPIA/VIAA/009 iegādātas iekārtas.

Literatūra

- Ashworth, E.N. (1992). Formation and spread of ice in plant tissues. *Horticultural Reviews* 13, 215-255.
- Clearwater, M.J., Meinzer, F.C., Andrade, J.L., Goldstein, G., Holbrook, M. (1999). Potential errors in measurement of nonuniform sap flow using heat dissipation probes. *Tree Physiology*, 19, 681-687.
- Čermák, J., Kučera, J., Nadezhdina, N. (2004). Sap flow measurements with some thermodynamic methods, flow integration within trees and scaling up from sample trees to entire forest stands. *Trees* 18, 529-546.

- Elferts, D., Dauškane, I., Ūsele, G., Treimane, A.** (2011). Effect of water level and climatic factors on the radial growth of black alder. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences* 5/6, 164-169.
- Ford, C.R., McGuire, M.A., Mitchell, R.J., Teskey, R.O.** (2004). Assessing variation in the radial profile of sap flux density in *Pinus* species and its effect on daily water use. *Tree Physiology* 24, 241-249.
- Gibbs, R.D.** (1935). Studies of wood: on the water content of certain Canadian trees and changes in the water-gas system during seasoning and flotation. *Canadian Journal of Research* 12(6), 727-760.
- Granier, A., Anfodillo, T., Sabatti, M., Cochard, H., Dreyer, E., Tomasi, M., Valentini, R. Breda, N.** (1994). Axial and radial water flow in the trunks of oak trees: a quantitative and qualitative analysis. *Tree Physiology* 14, 1383-1396.
- Johnson, R.W., Tyree, M.T.** (1992). Effect of stem water content on sap flow from dormant maple and butternut stems induction of sap flow in butternut. *Plant Physiology* 100, 853-858.
- Kaöstner, B., Gbranier, A., Ccermák, J.** (1998). Sap flow measurements in forest stands: methods and uncertainties. *Annals of Forest Science* 55, 13-27.
- Laiviņš, M., Bice, M., Krampis, I., Knape, Dz., Šmite, D., Šulcs, V.** (2009). *Latvijas kokaugu atlants*. Rīga: Latvijas Universitātes bioloģijas institūts. 606 lpp.
- Lakatos, M., Obregón, A., Büdel, B., Bendix, J.** (2012). Midday dew – an overlooked factor enhancing photosynthetic activity of corticolous epiphytes in a wet tropical rain forest. *New Phytologist*, 194(1), 245-53.
- Mauriņš, A., Zvirgzds, A.** (2006). *Dendroloģija*. Rīga: LU Akadēmiskais apgāds. 447 lpp.
- Meinzer, F.C., Clearwater, M.J., Goldstein, G.** (2001). Review: Water transport in trees: current perspectives, new insights and some controversies. *Environmental and Experimental Botany*, 45(3), 239-262.
- Nadezhdina, N., Čermak, J., Ceulemans, R.** (2002). Radial patterns of sap flow in woody stems of dominant and understory species: scaling errors associated with positioning of sensors. *Tree Physiology*, 22, 907-918.
- O'Malley, P.E.R., Milburn, J.A.** (1983). Freeze-induced fluctuations in xylem sap pressure in *Acer pseudoplatanus*. *Canadian Journal of Botany*, 61(12), 3100-3106.
- Pearce, R.S.** (2001). Plant Freezing and Damage. *Annals of Botany*, 87, 417-424.
- Richter, G.** (2012). Xylem sap flow of mature black alder in relations to tree characteristics, microclimate and groundwater table. Unpublished master thesis. Technische Universität Dresden, Free State of Saxony, Germany.
- Rumman, G.A.** (2012). Innovative technology to measure the direct water use in trees. In: *Proceedings of the International Food, Agricultural and Gastronomy Congress*, Antalya, February 2012. Antalya: Agricultural Federation of Turkey, 194-195.
- Smith, D.M., Allen, S.J.** (1996). Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of*

Experimental Botany, 47 (305), 1833-1844.

Latvijas meža resursu statistiskā inventarizācija (2013). URL resurss – www.silava.lv [resurss aprakstīts 30.10.2013].

Wullschleger, S.D., Childs, K.W., Anthony, W., King, A.W., Hanson, P.J. (2011). A model of heat transfer in sapwood and implications for sap flux density measurements using thermal dissipation probes. *Tree Physiology*, 31, 669-679.