

Vpliv časa sečnje na vlažnost lesa navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.) na Kočevskem

Amina Gačo Jež¹, Mitja Piškur², Miha Humar¹

1 Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo

2 Slovenski državni gozdovi d.o.o.

E-naslov: amina.gaco.jez@bf.uni-lj.si

POUDARKI:

- Čas sečnje, lunine mene in fenološke faze vplivajo na vlažnost lesa navadne bukve (*Fagus silvatyca* L.)

UVOD:

Les in materiali na osnovi lesa so že od nekdaj vsestranski material, ki se uporablja v različnih panogah, od gradbeništva in pohištvene industrije do umetnosti (Ghorbanian Far in sod., 2024). Ena izmed ključnih lastnosti lesa je njegova higroskopičnost, saj lahko absorbira vodo in jo zadržuje v celičnih stenah ter lumnih (Dietsch in sod., 2015). Spremembe v vsebnosti vlage pomembno vplivajo na lastnosti lesa, predvsem na njegovo dimenzijsko stabilnost, saj lahko povzročajo nabrekanje in krčenje materiala. Vlažnost v deblu stoječega drevesa je neenakomerno razporejena, in odraža prevajalno funkcijo lesa ter fiziološke dejavnike v drevesu (Čufar, 2006). Zaradi transpiracijskega toka se voda premika od korenin proti krošnji. Pri navadni bukvi poteka prevajanje predvsem po zunanjih branikah, kjer vlažnost dosega približno 110 %, medtem ko se proti notranjosti debla postopno zmanjšuje (Straže in sod., 2015; Torelli, 1998). Po drugi strani lahko visoka vlažnost

pospešuje razkroj lesa ter razvoj gliv (Dietsch in sod., 2015). Pomembna lastnost lesa je tudi gostota, ki skupaj z mehanskimi lastnostmi določa kakovost lesa in lesnih izdelkov (Gorišek in sod., 2009). Pri večini drevesnih vrst predstavlja gostota ključni parameter kakovosti (Bouriaud in sod., 2004). V strokovni literaturi in standardih je opisanih več vrst gostot lesa (Arnič in sod., 2021; Gorišek in sod., 2009; ISO 13061-2, p. 13). Po pomenu izstopa osnovna gostota. Ta je definirana kot razmerje med suho maso in volumnom lesa v stanju nasičenosti celičnih sten (25-40 % vlažnosti), ko je volumen največji (Arnič in sod., 2021; Gorišek in sod., 2009). Gostota lesa se razlikuje znotraj posamezne drevesne vrste, na kar vplivajo številni dejavniki, kot so vlažnost lesa, okoljske razmere, podnebje in fenološke faze (Bouriaud in sod., 2004; Jyske in sod., 2008; Sopushynskiy in sod., 2008).

Preglednica 1: Opis glavnih fenoloških faz razvoja listov pri bukvi ((Koch in sod., 2007; Škrk in sod., 2020)

FAZA	OPIS FAZE
BBCH00 (A)	speči popki
BBCH02 (B)	popki napeti (nabrekli)
BBCH07 (C)	popki nabrekli, rjave luske se razprejo in pojavi se zelena barva razvijajočih se listov
BBCH09 (D)	popki nabrekli in odprti
BBCH10 (E)	listi delno razviti, vidna listna ploskev, listni pecelj ni viden
BBCH11 (F)	listi razviti, listna ploskev je odprta, 10 % listov je značilne oblike, ni še končne velikosti in barve, viden je listni pecelj
BBCH19 (G)	zreli listi, končne velikosti in barve

V literaturi je več študij obravnavalo časovne povezave med fenologijo krošnje in nastajanjem lesa. Fenologija krošnje zajema časovni potek ključnih razvojnih procesov v drevesni krošnji, kot so nastajanje listov, njihovo zorenje, staranje, odpadanje ter podaljševanje poganjkov (Silvestro in sod., 2025). Razumevanje teh procesov je bistveno za napovedovanje prihodnjih sprememb v delovanju rastlin ter njihovega vpliva na kroženje ogljika in vode v lesu (Silvestro in sod., 2025). Na fenološke procese pomembno vplivajo podnebni dejavniki, predvsem temperatura in razpoložljivost vode, vendar se njihov vpliv med posameznimi procesi razlikuje. Kljub temu je razumevanje povezav med fenologijo krošnje in nastajanjem lesa še vedno omejeno. Za spremljanje teh procesov so bili razviti natančni protokoli, kot so smernice za fenološka opazovanja rastlin (2007) iz katerih smo povzeli fenološke faze razvoja listov, relevantne za navadno bukev. Te faze so predstavljene v preglednici 1.

V literaturi se vpliv luninih men na fiziološke procese v rastlinah in posledično na lastnosti lesa občasno omenja, vendar ostaja znanstveno neenotno potrjen in pogosto predmet razprav. Nekateri avtorji poročajo o možnih razlikah v vlažnosti in rasti lesa glede na lunin cikel, medtem ko drugi teh povezav niso uspeli statistično potrditi. Ena izmed zanimivih raziskav poleg Torellija (2005) so raziskave Zürcher in sod. (2000; 2001), ki opisuje vpliv luninih men na drevesno biologijo vključno s kalitvijo, cirkadianimi fluktuacije drevesnega premera ter bioelektričnimi potenciali. Po tej razlagi naj bi se ritmično spreminjal delež vode v lesu zaradi prehajanja med simplastom in apoplastom. Pri določanju luninih men smo uporabili podatke in definicije, kot jih navaja NASA (NASA Science, 2023), kar zagotavlja standardizirano in mednarodno primerljivo opredelitev luninega cikla.

Preglednica 2: Lunine faze (NASA, 2023)

FAZA	OPIS
Mlaj (new moon)	Luna je med Zemljo in Soncem; vidni del je skoraj povsem v temi.
Rastoči srp (waxing crescent)	tanek, ukrivljen osvetljeni rob na desni.
Prvi krajec (first quarter)	Desna polovica diska je osvetljena.
Rastoča izbočena (waxing gibbous)	Več kot polovica diska, osvetlitev pretežno na desni.
Polna luna / ščip (full moon)	Cel disk je osvetljen.
Pojemajoča izbočena (waning gibbous)	Manj kot polna, osvetlitev pretežno na levi.
Zadnji krajec (last quarter)	Leva polovica diska je osvetljena.
Pojemajoči srp (waning crescent)	Tanek osvetljeni rob na levi.

METODE IN MATERIALI:

Za raziskavo smo uporabili sveže posekan les navadne bukve (*Fagus sylvatica* L.), pridobljen na gozdno-gospodarskem območju Kočevje na štirih odsekih (05123A, 05123B, 07020B in 07021B). Izvedli smo devet vzorčenj in pridobili 54 kolotov navadne bukve. Pri izbiri dreves smo se osredotočili na debelino kolotov nad 20 cm, saj ti omogočajo pripravo vzorcev, primernih za laboratorijske analize. Kolote smo odvzemali nad 4 m višine drevesa, kar nam omogoča izogib napakam. Vzorčenje je potekalo v dvotedenskih intervalih če so to omogočali vremenski pogoji. Ob vsakem odvzemu smo izbrali šest dreves, od tega tri z rdečim srcem in tri brez diskoloracij. Pri izbiri smo vedno skušali zagotoviti, da vzorci niso imeli vidnih napak, kot so grče, trohnoba ali druge nepravilnosti, ki bi lahko vplivale na rezultate.

Sveže odvzete kolote smo takoj po poseku ustrezno zaščitili, da bi preprečili sušenje med transportom do laboratorija. V raziskavi smo uporabili klasične gravimetrične metode, poleg tega še rezistografsko analizo in hiperspektralno oslikovanje, ki v tem prispevku niso podrobneje obravnavane. V laboratoriju smo vsak kolot razpolovili po sredini. Iz prve polovice smo pripravili zaporedne vzorce, ki so vključevale del sredice, iz katerih smo nato izdelali manjše vzorce dimenzij 50 × 25 × 15 mm v skladu s standardom EN 113 (SIST EN 113, 2002). Vsak vzorec smo natančno izmerili in mu določili masi. Nato smo vzorce sušili v sušilniku pri 103 °C 48 ur, kot predpisuje standardni postopek za določanje vlažnosti lesa. Po sušenju smo vzorce ponovno stehali, da smo izračunali izgubo vlage. Drugo polovico kolota smo razžagali na debelejšo

segmente, ki smo jih najprej en teden sušili pri 40 °C . Iz teh desk smo nato izdelali manjše vzorce enakih dimenzij, ki smo jih posušili pri 103 °C 48 ur ter jim po koncu sušenja ponovno določili maso in dimenzije v absolutno suhem stanju.

Opisan postopek nam je omogočil natančno spremljanje vlažnosti lesa, hkrati pa zagotovil primerljivost med rezultati. S tem smo lahko analizirali vpliv časa sečnje, fenoloških faz in luninih men na vlažnost bukovega lesa, pri čemer smo minimalizirali vpliv morebitnih napak ali heterogenosti v vzorcih. Podatke smo obdelali v statističnem programu JASP (0.95.4.0).

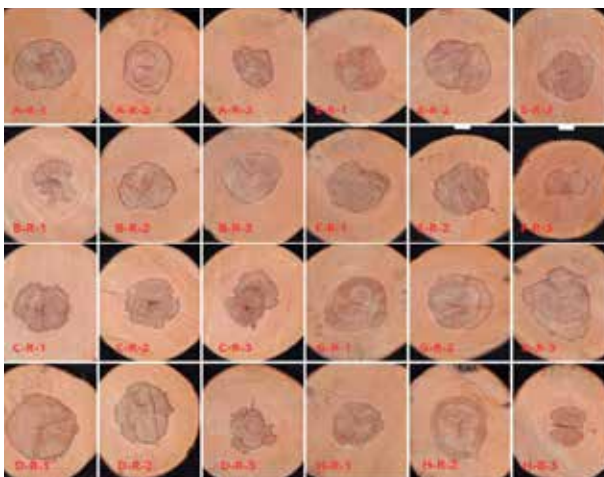
Slika 1: Izolacija vzorcev na terenu v Kočevju



Slika 2: Priprava vzorcev za meritve



Slika 3: Lesni vzorci rdečega srca (levo) in les brez diskoloracij (desno)

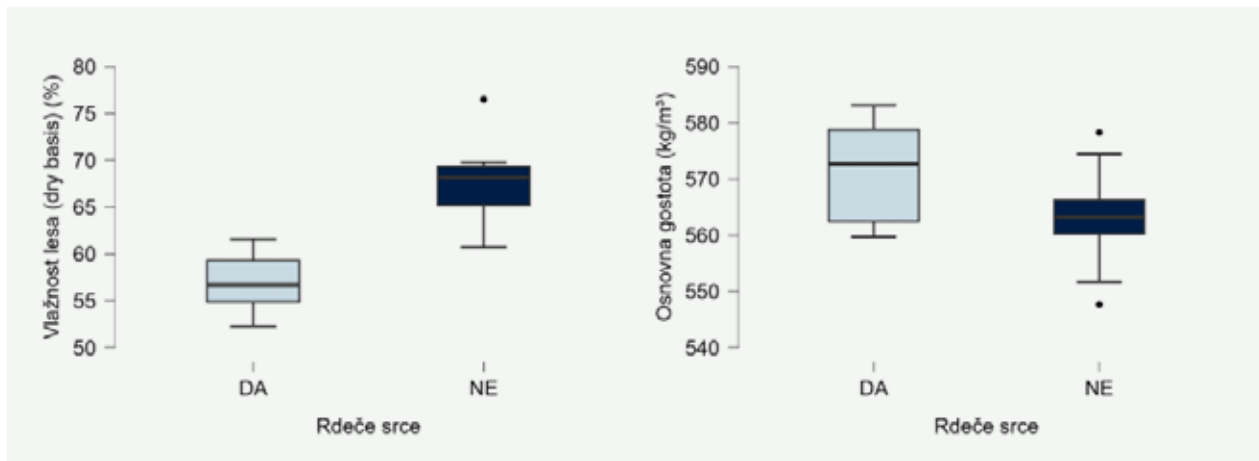


REZULTATI:

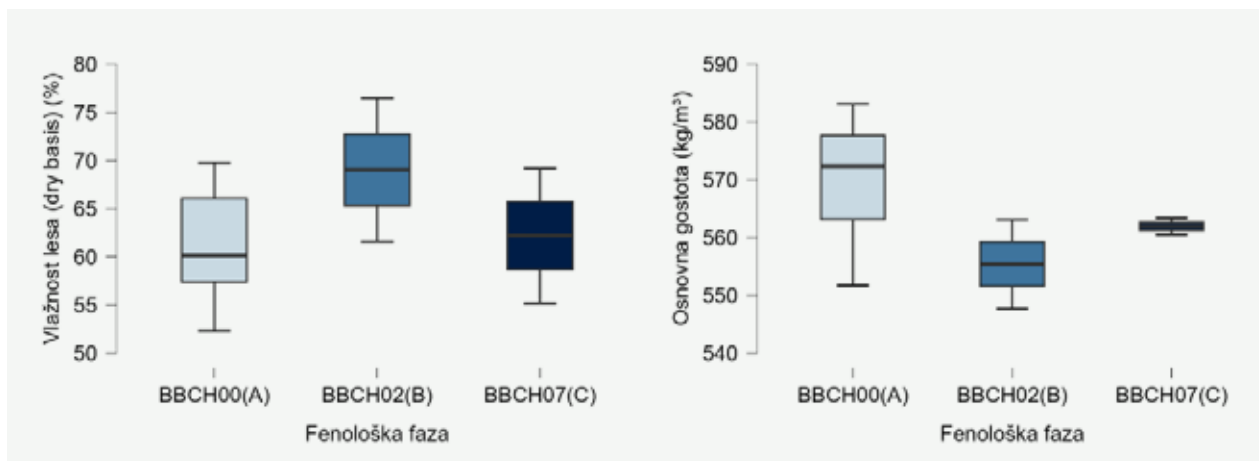
Analiza podatkov je pokazala razlike v vlažnosti lesa (suha osnova) in osnovni gostoti lesa glede na prisotnost rdečega srca. Slika 4 prikazuje, da imajo vzorci z rdečim srcem (DA) v povprečju nižje vrednosti vlažnosti (57 %) v primerjavi z vzorci brez rdečega srca (NE) (68 %). Mediane vlažnosti so bile pri skupini brez rdečega srca višje, kar nakazuje na povezavo med

prisotnostjo rdečega srca in zmanjšano vlažnostjo. Nasprotno so rezultati za osnovno gostoto pokazali obraten trend. Vzorci z rdečim srcem so imeli višje vrednosti osnovne gostote kot vzorci brez rdečega srca, kar lahko pripišemo razlikam v vlažnosti. Mediane so bile pri skupini z rdečim srcem jasno višje, kar kaže na možno povezavo med prisotnostjo rdečega srca in povečano gostoto.

Slika 4: Prikaz vlažnosti lesa (suha osnova) in osnovne gostote glede na prisotnost rdečega srca



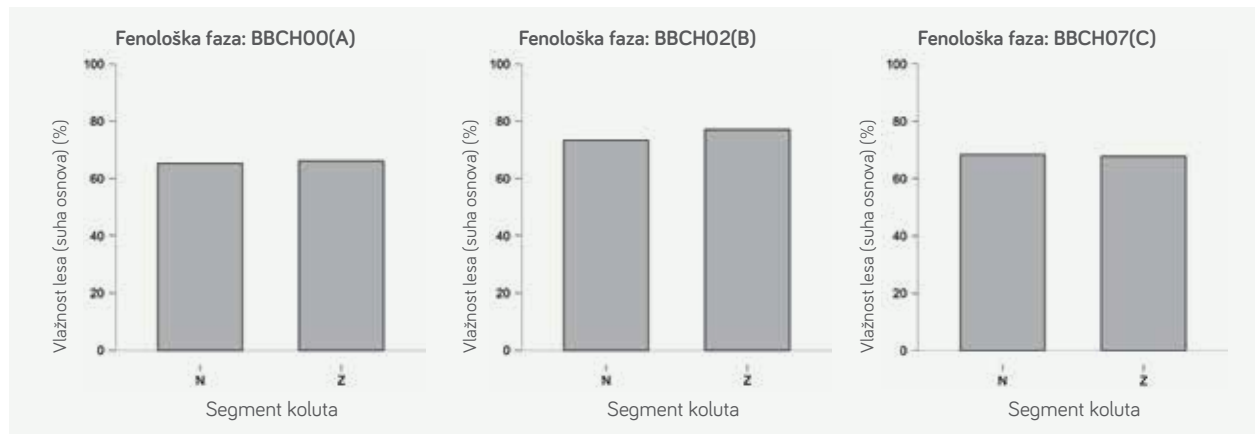
Slika 5: Prikaz porazdelitve vlažnosti lesa (suha osnova) in osnovne gostote glede na fenološko fazo



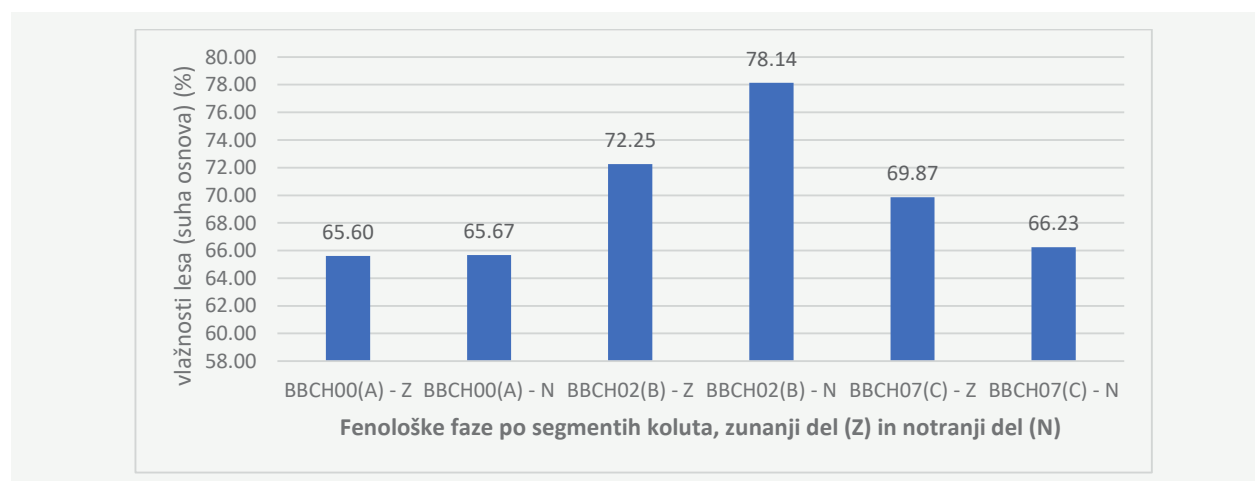
Vzorci so bili do sedaj izolirani v treh prisotnih fenoloških fazah navadne bukve: BBCH00 (A) – speči popki; BBCH02 (B) – napeti popki; BBCH07 (C) – nabrekli popki, pri katerih se rjave luske razprejo in se pojavi zelena barva razvijajočih se listov. Slika 5 prikazuje porazdelitev vrednosti vlažnosti lesa (suha osnova) in osnovne gostote lesa v treh fenoloških fazah. Vrednosti vlažnosti lesa se med fenološkimi fazami razlikujejo. Najvišje mediane so bile zabeležene v fenološki fazi BBCH02, kjer se vrednosti gibljejo približno med 62 in 76. Fenološki fazi BBCH00 in BBCH07 dosegata nižje mediane parametra vlažnosti lesa, pri čemer ima

BBCH07 nekoliko višje vrednosti kot BBCH00. Razpon vrednosti v vseh treh fazah kaže na zmerno variabilnost, ki je najbolj izrazita v fazi BBCH02. Nasprotno se osnovna gostota med fenološkimi fazami ne spreminja vzporedno s vlažnostjo lesa. Najvišja mediana osnovne gostote je bila opažena v fenološki fazi BBCH00, ki hkrati izkazuje tudi največjo razpršenost vrednosti. Fenološka faza BBCH02 ima najnižje vrednosti osnovne gostote ter relativno ozek razpon, kar kaže na bolj homogen vzorec. V fazi BBCH07 so vrednosti osnovne gostote nekoliko višje kot v BBCH02, vendar z zelo majhno variabilnostjo.

Slika 6: Prikaz porazdelitve vlažnosti lesa (suha osnova) v odvisnosti od fenološke faze in segmenta koluta razdeljen na zunanji del (Z) in notranji del (N) koluta

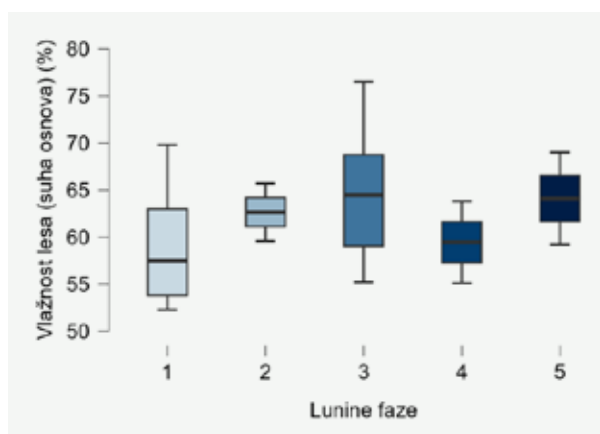


Slika 7: Prikaz porazdelitve vlažnosti lesa (suha osnova) v odvisnosti od fenološke faze in segmenta koluta razdeljen na zunanji del (Z) in notranji del (N) koluta



Slika 6 in 7 prikazuje, da se vlažnost lesa (suha osnova) med fenološkimi fazami in segmentoma koluta razlikuje. V dve faze (BBCH00 A in BBCH002 B) je notranji del koluta (N) bolj vlažen od zunanjega (Z), kar odraža počasnejše sušenje centralnega dela lesa in morebitni vpliv fenološke faze. Pri BBCH07 C je trend obraten, ker opazujemo znižanje vlažnosti. Saj ta faza predstavlja prehodno obdobje v katerem popki nabreknejo, luske odpadajo in se začne razvoj listov, kar lahko vpliva na fiziološke procese in tudi na vsebnost vode v lesu.

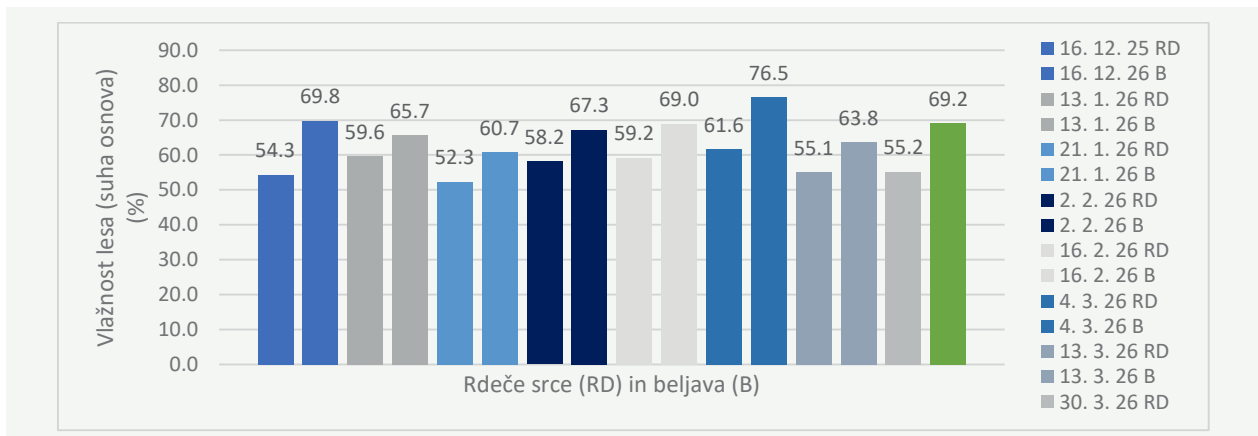
Slika 8: Vpliv luninih faz na vlažnosti lesa (suha osnova); 1 (rastoči srp); 2 (zadnji krajec); 3 (pojemačoča izbočena); 4 (pojemačočiči srp); 5 (rastoča izbočena)



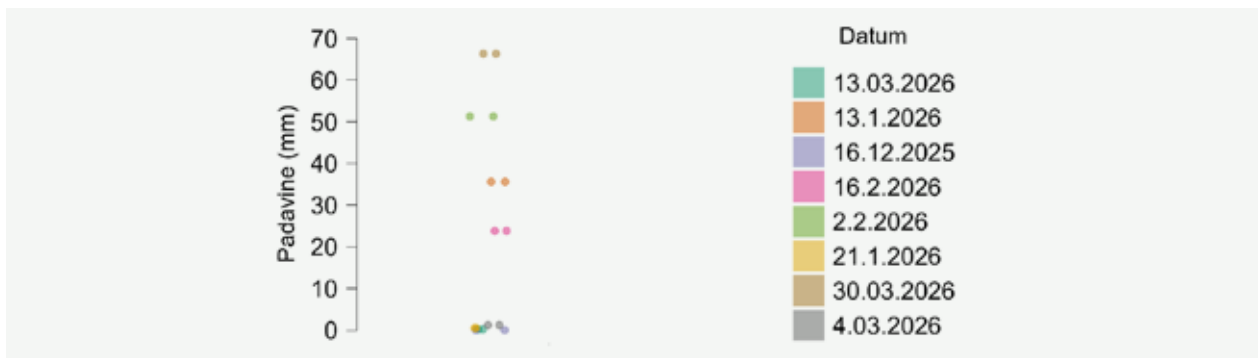
Vlažnost lesa se med fazami razlikuje, pri čemer je najvišja v fazi pojemajoče izbočene in najnižja v fazi rastočega srpa. Razlike med ostalimi fazami so manj izrazite. Na podlagi analize prikazane na sliki 8 ni mogoče potrditi statistične značilnosti teh razlik ampak s statističnimi testi ugotavljamo da ni statistično značilnih razlik med luninim fazami in vlažnosti lesa (suha osnova). Ta del bo bolj jasen po koncu raziskave, ko bo na voljo več podatkov. Prikaz vlažnosti lesa (suha osnova) glede na čas sečnje za rdeče srce in beljavo (slika 9), kaže da je vlažnost lesa večja pri

beljavi. Razvidno je da se vlažnost lesa (suha osnova) med datumi ni enakomerno zmanjševala, ampak se giblje med 52 % in 76 %, kar lahko nakazuje na vpliv okoljskih razmer. V raziskavi smo upoštevali tudi količino padavin (slika 10) glede na čas sečnje. V nadaljevanju raziskave pričakujemo, da se bodo morebitne razlike izraziteje pokazale ko bomo vzorčili tudi v suhem poletnem obdobju. Bomo poskušali podrobneje razložiti vpliv padavin na dinamiko spremembe vsebnosti vode v lesu.

Slika 9: Prikaz vlažnosti lesa (suha osnova) glede na čas sečnje posamezno za rdeče srce in beljavo



Slika 10: Padavine (mm) v tednu pred vzorčenjem



ZAKLJUČEK:

Ker sveže posekan les vsebuje veliko vode, smo pričakovali, da bodo čas sečnje, fenološke faze in lunine mene vplivali na vlažnost lesa. Dosedanji rezultati teh vplivov še ne potrjujejo jasno, kar kaže na potrebo po nadaljnjem spremljanju, zlasti v poletnem obdobju. Rezultati kažejo, da je prisotnost rdečega srca povezana z nižjimi vrednostmi vlažnosti lesa in hkrati z višjo osnovno gostoto. Obraten trend pri obeh parametrih nakazuje, da spremembe, povezane z nastankom rdečega srca, vplivajo na fizikalne lastnosti materiala na različne načine, pri čemer višja osnovna gostota ne pomeni nujno tudi višjih vrednosti vlažnosti lesa. To potrjuje, da prisotnost rdečega srca predstavlja pomemben dejavnik pri interpretaciji merjenih lastnosti. Skupno rezultati potrjujejo, da sta čas vzorčenja in

fenološka faza ključna dejavnika, ki vplivata na obravnavane fizikalne lastnosti. Ugotovitve poudarjajo pomen upoštevanja fenološkega stanja pri interpretaciji meritev ter prispevajo k boljšemu razumevanju dinamike sprememb lastnosti materiala skozi razvojno obdobje. Skupno rezultati kažejo, da fenološka faza pomembno vpliva, pri čemer je faza BBCHO2 povezana z najvišjimi vrednostmi vlažnosti lesa in hkrati z najnižjo osnovno gostoto, medtem ko faza BBCHO0 izkazuje obraten trend. Razlike med luninimi fazami niso bile statistično značilne. Spremljanje vlažnosti skozi čas je pokazalo nihanja med 52 % in 76 %, kar nakazuje vpliv spremenljivih okoljskih razmer. V nadaljevanju raziskave bomo podrobneje preučili še vpliv padavin na dinamiko sprememb vsebnosti vode v lesu.

LITERATURA IN VIRI:

Arnič, D., Humar, M., Kržišnik, D., Krajnc, L., & Prislan, P. (2021). Gostota lesa—Metode določanja in pomen pri razvoju gozdno lesnega biogospodarstva. *Acta Silvae et Ligni*, 124, 1–11. <https://doi.org/10.20315/ASetL.124.1>

Bouriaud, O., Bréda, N., Le Moguédec, G., & Nepveu, G. (2004). Modelling variability of wood density in beech as affected by ring age, radial growth and climate. *Trees*, 18(3), 264–276. <https://doi.org/10.1007/s00468-003-0303-x>

Čufar, K. (2006). *Anatomija lesa: [Univerzitetni učbenik]*. Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo.

Dietsch, P., Franke, S., Franke, B., Gamper, A., & Winter, S. (2015). Methods to determine wood moisture content and their applicability in monitoring concepts. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, 5(2), 115–127. <https://doi.org/10.1007/s13349-014-0082-7>

Ghorbanian Far, M., Najafian Ashrafi, M., Shaabani Asrami, H., Amiri Moghadam, Y., Bari, E., Niemz, P., Hosseinpourpia, R., & Ribera, J. (2024). Physical and mechanical properties of different beech wood species grown at various climate conditions: A review. *Holzforschung*, 78(7), 377–386. <https://doi.org/10.1515/hf-2023-0117>

Gorišek, Ž., Oven, Primož, & Čufar, K. (2009). *Les: Zgradba in lastnosti : njegova variabilnost in heterogenost*. Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo. ISO 13061-2:2014. (n.d.). EVS. Retrieved 27 May 2025, from <https://www.evs.ee/en/iso-13061-2-2014>

Jyske, T., Mäkinen, H., & Saranpää, P. (2008). Wood density within Norway spruce stems. *Silva Fennica*, 42(3). <https://doi.org/10.14214/sf.248>

Koch, E., Bruns, E., Chmielewski, F.-M., Defila, C., Lipa, W., & Menzel, A. (2007). *Guidelines for Plant Phenological Observations*.

Lunine mene—NASA Science. (2023, June 5). <https://science.nasa.gov/moon/moon-phases/>

Silvestro, R., Deslauriers, A., Prislan, P., Rademacher, T., Rezaie, N., Richardson, A. D., Vitasse, Y., & Rossi, S. (2025). From Roots to Leaves: Tree Growth Phenology in Forest Ecosystems. *Current Forestry Reports*, 11(1), 12. <https://doi.org/10.1007/s40725-025-00245-9>

Škrk, N., Črepinšek, Z., & Čufar, K. (2020). Phenology of leaf development in European beech (*Fagus sylvatica*) on a site in Ljubljana, Slovenia in 2020: Fenologija razvoja listov navadne bukve (*Fagus sylvatica*) na rastišču v Ljubljani v letu 2020. *Les/Wood*, 69(1), 5–19. <https://doi.org/10.26614/les-wood.2020.v69n01a07>

Sopushynskiy, I., Vitovin, Teischinger, A., & Michalak, R. (n.d.). *The influence of site factors on wood density and*

moisture content of beech in the Ukrainian Carpathians. 2005.

Straže, A., Merela, M., Krže, L., Čufar, K., & Gorišek, Ž. (2015). Fizikalne lastnosti bukvine po žledolomu. *Gozdarski vestnik. slovenska strokovna revija za gozdarstvo*, 73(10), 454–460. <https://repozitorij.uni-lj.si/lzpisGradiva.php?id=83669>

Torelli, N. (1998). *Daljinski transport vode v drevesu—Vodni potencial*. <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-YFOY1F2A>

KLJUČNE BESEDE:

Vlažnost lesa, navadna bukev, *Fagus sylvatica* L., lunine mene, fenološke faze, gostota lesa

ZAHVALE:

Avtorji se zahvaljujejo za finančno podporo Slovenske raziskovalne in inovacijske agencije (ARIS) v okviru raziskovalnega projekta J7-50231 (GROWTH), raziskovalnega programa P4-0015 (les in lignocelulozni kompoziti) ter infrastrukturnih centrov (IC LES PST 0481-09 in IO-E012 E-RIHS). Avtorji se zahvaljujejo tudi za podporo slovensko-italijanskega projekta Interreg WoodInnovate in projekta ARIS TRL 3-6 Smart-Living.

CC BY SA · DOI 10.20315/SFS.191.03