



## MODEL ZA DOLOČANJE ŽIVLJENJSKE DOBE LESA LISTAVCEV

## MODEL FOR SERVICE LIFE PREDICTION OF HARDWOODS

Mojca Žlahtič Zupanc<sup>1</sup>, Ajda Pogorelčnik<sup>1</sup>, Davor Kržišnik<sup>1</sup>, Boštjan Lesar<sup>1</sup>, Nejc Thaler<sup>1</sup>, Miha Humar<sup>1\*</sup>

UDK 630\*841.4

Izvirni znanstveni članek / Original scientific article

**Izvleček / Abstract**

**Izvleček:** Velika večina slovenskih lesnih vrst ima relativno slabo odporen les. Zaradi vedno večje okoljske ozaveščenosti se kupci vse redkeje odločajo za impregniran les ali les tropskih lesnih vrst. Če želimo na prostem uporabiti les domačih drevesnih vrst, ga moramo dobro poznati, da ga znamo prav uporabiti. Da bi določili odpornost izbranih vrst listavcev, smo izvedli teste, kot to predvideva model Meyer-Veltrup. Lesu smo določili odpornost proti glivam razkrojevalkam in odpornost proti navlaževanju z uveljavljenimi laboratorijskimi metodami. Na podlagi teh rezultatov smo izračunali faktorja, ki okarakterizirata omenjeni lastnosti in ju prevedli v pričakovano življenjsko dobo.

**Glavne besede:** les, zaščita lesa, odpornost lesa, glive razkrojevalke, vlažnost lesa, življenjska doba

**Abstract:** The majority of Slovenian wood species do not have durable wood. Due to increased environmental awareness, users are avoiding treated wood and wood from tropical forests. In order to increase the consumption of domestic wood species, we have to understand the overall performance of wood better. Therefore, a study of the most important Slovenian hardwood species was performed, as prescribed by Meyer-Veltrup et al. Durability against wood decay fungi and wetting was determined using standard laboratory tests. These data were then used for calculation of the respective factors needed for calculation of predicted service life.

**Keywords:** wood, wood protection, durability, wood decay fungi, moisture content, service life

**1 UVOD****1 INTRODUCTION**

Les na prostem je izpostavljen delovanju biotских in abiotских dejavnikov razkroja. V naravi so ti procesi zaželeni, kadar les uporabljamo v komercialne namene, želimo razkroj čim bolj upočasniti. V našem podnebni pasu in tudi v večini kontinentalne Evrope les ogrožajo predvsem glive, zato se vsebina prispevka nanaša predvsem na ta dejavnik razkroja. Z izjemo robinije in kostanja večina komercialnih evropskih vrst nima odpornega lesa (EN 350, 2017). V prispevku želimo ovrednotiti življenjsko dobo lesa listavcev v drugem in tretjem razredu uporabe. Ko uporabljamo les v gradbeništvu, je bolj kot odpornost lesa pomemben podatek življenjska doba lesa in intervali vzdrževanja v posameznem okolju. Ti podatki so pomembni za projektanta, investitorja in uporabnika. Nenazadnje ga v vedno večji meri zahtevajo tudi različni gradbeni predpisi po vsem svetu. Ta podatek bo treba določiti, tudi zaradi raz-

voja BIM (ang. Building Information Modeling) projektiranja (Wikipedia, 2017).

Za napovedovanje ali oceno življenjske dobe se uporabljajo različni matematični modeli. Glede na sistem, ki bi ga radi analizirali, se lahko tip in struktura najustrežnejšega modela močno razlikujeta. Če vzamemo za primer inženirske modele, ti pogosto delujejo z mejnimi stanji (ang. Limit state design - LSD). Vendar je koncept mejnih stanj velikokrat v nasprotju z biološkimi pristopi, ki so namenjeni prikazovanju celotnega procesa razgradnje, od prvih, komaj vidnih stopenj, do konca življenjske dobe. Zaradi tega je bil razvit pristop, s katerim lahko ocenimo tveganje za biološki razkroj lesa po določenem času izpostavitve, imenovan funkcija odmerka-odziv, pri čemer je odziv (razkroj) odvisen od odmerka (vsota okoljskih dejavnikov) (ang. Dose-response functions) (Brischke & Thelandersson, 2014). Odmerka je funkcija, ki je odvisna od dnevne vlažnosti in temperature lesa, pri čemer je stopnja razkroja ovrednotena s standardom EN 252 (2012).

Trenutno najpogosteje uporabljena metoda za določanje življenjske dobe lesa in lesenih komponent je metoda faktorjev v skladu s standardom ISO 15686-1 (2011). Osnova metode so izhodiščna ži-

<sup>1</sup> Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, SLO

\* e-pošta: [miha.humar@bf.uni-lj.si](mailto:miha.humar@bf.uni-lj.si); telefon: 01-320-3638

življenjska doba (običajno je to pričakovana življenjska doba v točno določenih pogojih uporabe) in modifikacijski faktorji, ki se navezujejo na specifične primere. Gre za kombinacijo odmerkov različnih dejavnikov (posrednih in neposrednih), ki jih lahko kvantificiramo. Faktorji, manjši od 1, zmanjšajo ocenjeno življenjsko dobo, faktorji, večji od 1, pa jo povečajo. Enačba, ki se uporablja za ocenjevanje življenjske dobe po metodi faktorjev, je:

$$ESL = RSL \times (A \times B \times C \times D \times E \times F \times G) \quad \dots (1)$$

ESL – ocenjena življenjska doba komponente (ang. Estimated service life),

RSL – izhodiščna življenjska doba komponente (ang. Reference service life),

- A – faktor kakovosti komponente (naravna odpornost, modifikacija in zaščita z biocidi),
- B – faktor nivoja projektiranja (konstrukcijska zaščita, napušč),
- C – faktor kvalitete izvajanja del (spoji),
- D – faktor notranjega okolja (mikro okolje; temperatura, zračna vlažnost, kondenzacija),
- E – faktor zunanjega okolja (makro okolje; klima, dež, senca),
- F – faktor pogojev uporabe (obraba, mehanski vplivi) in
- G – faktor nivoja vzdrževanja (obnova premazov) (ISO 15686, 2000; Brischke, 2006; Brischke & Thelandersson, 2014).

Slabost opisane metode je njen multiplikativni karakter, ki lahko vodi do večjih napak. Faktorji, ki jih vključuje ta pristop, morajo biti določeni zelo natančno in ne zgolj ocenjeni. Iz tega razloga je prišlo do preoblikovanja enačbe (Brischke et al., 2006) v kateri lahko različnim faktorjem vnesemo različno težo:

$$ESL = f(RSL, A, B, C, D, E, F, G) \quad \dots (2)$$

Koncept za napoved življenjske dobe lesa temelji na razvrstitvi faktorjev, ki vplivajo na razkrojne procese lesa. Razlikujemo med direktnimi in indirektnimi faktorji. Direktni faktorji imajo neposreden učinek na življenjsko dobo lesa, indirektni faktorji posredno vplivajo na direktne. Če vzamemo za primer lesno vlažnost, ima ta direkten vpliv na življenjsko dobo lesa, medtem ko ima napušč pri strehi indirektni vpliv (zmanjša vlažnost lesa) (Brischke et al., 2006). Med direktne vplive uvrščamo tudi vse-

bnost biološko aktivnih ekstraktivov v lesu. V preteklosti je veljalo, da imajo ti prevladujoč vpliv na naravno odpornost in s tem na življenjsko dobo lesa. Vendar so natančnejša opazovanja pokazala, da na življenjsko dobo poleg biološko aktivnih ekstraktivov vplivajo še drugi dejavniki, ki imajo značilen vpliv na dinamiko vlaženja lesa in s tem na življenjsko dobo lesa, zato jih je smiselno upoštevati pri načrtovanju konstrukcij. Zato so metodo faktorjev še naprej preoblikovali in nastal je nov zapis, ki določa, da je sprejemljivost materiala ali komponente določena z naslednjim pogojem:

$$Izpostavljenost (D_{Ed}) \leq \text{Odpornost materiala } (D_{Rd}) \quad \dots (3)$$

Znotraj pogoja izpostavljenosti ( $D_{Ed}$ ) lahko upoštevamo faktorje, ki so zapisani v enačbi 1 in jih predstavljajo črke od A do G. Odpornost materiala je produkt kritične meje  $D_{crit}$  in dveh modifikacijskih faktorjev. Prvi je faktor, ki označuje odpornost lesa proti navlaževanju ( $k_{wa}$ ), drugi pa odpornost lesa proti biološkemu škodljivcem ( $k_{inh}$ ). Isaksson et al., (2013) so zapisali enačbo:

$$D_{Rd} = D_{crit} \times k_{wa} \times k_{inh} [d] \quad \dots (4)$$

$D_{crit}$  = kritična meja, ki ustreza razkroju stopnje 1 (EN 252, 2012) [dni]

$k_{wa}$  = faktor, ki označuje odpornost proti navlaževanju materiala

$k_{inh}$  = faktor, ki označuje odpornost materiala proti biološkemu razkroju

$D_{crit}$  so med prvimi določali Isaksson et al. (2013) za beljavo bora in jedrovino duglazije. Ugotovili so, da je kritična meja za obe vrsti okoli 325 dni z ugodnimi pogoji za glivni razkroj. Faktor odpornosti lesa proti navlaževanju ( $k_{wa}$ ) je mogoče določiti s kratkotrajno in dolgotrajno izpostavljenostjo lesa vodi, kot tudi z določanjem sorpcijskih lastnosti materialov in kapilarnega navzema vode. Iz podatkov, pridobljenih s testi za določanje biološke odpornosti v skladu s standardom EN 113 (2006) in EN 252 (2012), je mogoče izračunati faktor odpornosti materiala proti biološkemu razkroju ( $k_{inh}$ ). Vrednosti teh dveh faktorjev so omejene na 5. Iz navedenih faktorjev in kritične meje lahko določimo odpornost materiala. Pri teh testih se praviloma za referenčni material uporablja smrekovina (*Picea abies*) (Brischke et al., 2015).

Metodologija je bila že v veliki meri preizkušana in verificirana. Model Meyer-Veltrup je tako prvi in edini model, namenjen določanju življenjske dobe lesa na prostem, vendar ne za les v stiku z zemljo (Meyer-Veltrup et al., 2017). Prispevek na izbranih materialih predstavlja prvo uporabo tega pristopa v Sloveniji. V okviru prispevka smo ta model preizkusili na izbranih lesnih vrstah listavcev in ga verificirali s terenskimi testi.

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2 MATERIALS AND METHODS

Vzorci dimenzij 1,5 cm × 2,5 cm × 5 cm smo izdelali iz bukovine (*Fagus sylvatica*), jedrovine kostanja (*Castanea sativa*) in hrasta (*Quercus sp.*) ter neodpornega lesa topola (*Populus sp.*). Za primerjavo smo uporabili še smrekovino (*Picea abies*).

Hranilna gojišča za glive smo pripravili v steklenih kozarcih s pokrovčkom z volumnom 350 mL. Kot hranilni medij smo uporabili krompirjev glukozni agar (PDA- DIFCO). V vsak kozarec smo vlili po 50 mL hranilnega gojišča, jih zaprli in avtoklavirali (45 min; 120 °C; 1,5 bar). V avtoklav smo vstavili še mrežice iz umetne mase, ki so v nadaljevanju služile za oporo vzorcem na hranilnem gojišču in preprečevale navlaževanje lesa. Ko so se kozarci ohladili, smo hranilno gojišče inokulirali z izbranimi vrstami gliv. Nato smo kozarce postavili v klimatizirano komoro s konstantno temperaturo 25 °C in vlažnostjo zraka 85 %. Vzorci smo sterilizirali v avtoklavu (45 min; 120 °C; 1,5 bar), nakar smo jih v sterilnih pogojih vstavili v kozarce in jih nato za 16 tednov izpostavili štirim različnim glivam razkrojevalkam lesa, kot zahteva standard EN 113 (2006) in sicer: *Antrodia vaillantii*, *Gloeophyllum trabeum*, *Pleurotus ostreatus* in *Trametes versicolor*. Po izpostavitvi glivam smo vzorce očistili, posušili v sušilniku (103±2 °C) in jim izračunali spremembo mase. Glivam smo izpostavili po pet vzporednih vzorcev.

Odpornost lesa proti navlaževanju lesa smo določali z več metodami, kapilarnim navzemom in dolgotrajnim navzemanjem vode ter uravnovešanjem v komori s 100 % vlažnostjo zraka. Kapilarni navzem vode smo določili s tenziometrom znamke Krüss 100, kot to opisuje standard EN 1609 (1997). Prečno (aksialno) površino vzorcev smo za 200 s potopili v destilirano vodo in vsaki 2 s izmerili maso; globina potopljenosti čela je bila 1,0 mm. Glede na končno

maso potopljenega vzorca in površino potopljenega čela smo navzem vode izrazili v gramih na kvadratni meter (g/m<sup>2</sup>).

Dolgotrajno navzemanje vode smo ugotavljali z modificirano standardno laboratorijsko metodo o ispiranju aktivnih učinkovin iz lesa, EN 1250-2 (1994). V tem prispevku poročamo le o vlažnosti vzorcev, ki smo jo določili po 1 h in 24 h namakanja. Del vzorcev smo namestili v komoro s 100 % vlažnostjo lesa in jim določili maso po 24 urah in 3 tednih uravnovešanja. Vse teste, kjer smo osvetlili interakcije med vodo in lesom, smo opravili na desetih vzporednih vzorcih.

Modifikacijske faktorje  $k_{inh}$  in  $k_{wa}$  ter vrednosti  $D_{Rd}$  in  $D_{RdRel}$  smo izračunali v skladu z metodologijo, opisano v prispevku Meyer-Veltrup (2017).

Vzorci (2,5 × 5,0 × 50 cm<sup>3</sup>), izdelane iz izbranih lesnih vrst, smo preizkusili tudi na terenskem polju Oddelka za lesarstvo v Rožni dolini v Ljubljani na pretežno senčni in zatišni legi (310 m n.m.). Izpostavljeni so bili v tretjem razredu uporabe (nepokrito na prostem, pogosto močenje) (EN 335, 2013). Za določanje življenjske dobe lesa smo v naši raziskavi uporabili dvoslojni test (ang. double layer test) (Rapp & Augusta, 2004; EN 252, 2012). Sedem ali devet enako obdelanih vzorcev smo zložili v dve vrsti. Vzorci v zgornji vrsti so bili za polovico vzorca zamaknjeni. Ocenjevanje vzorcev je potekalo vsako leto med petnajstim majem in petnajstim junijem. Vsak vzorec smo si natančno ogledali in ocenili stopnjo razkroja po standardu (EN 252, 2012; Rapp & Augusta, 2004).

## 3 REZULTATI IN RAZPRAVA

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Izguba mase po izpostavitvi glivnim kulturam je osnovni laboratorijski test, s katerim določamo odpornost proti lesnim glivam. Prednost tega testa je, da lahko v kratkem času pridemo do osnovnega podatka o odpornosti lesa na najpomembnejše predstavnice gliv razkrojevalk. Po drugi strani je slabost tega testa to, da v naravi na les deluje širok spekter biotskih in abiotskih dejavnikov, ki jih v celoti nikoli ne moremo simulirati v laboratoriju.

Preizkušane lesne vrste lahko razdelimo v dve skupini. V prvi skupini so lesne vrste, dovzetne na glivni razkroj (topolovina, bukovina in smrekovina), v drugi skupini pa odpornejši lesni vrsti (hrastovina

in kostanjevina). Ta razlika je lepo vidna iz preglednice 1. Tako je gliva tramovka intenzivno razgradila les smreke, topola in kostanja. Najvišjo izgubo mase smo zabeležili pri topolovini, izpostavljeni tej glivi (51,1 %). Zelo agresivna je bila tudi pisana ploskovecva (*T. versicolor*), ki je povzročila le za nekaj odstotnih točk nižjo izgubo mase kot tramovka. Bela hišna goba (*A. vaillantii*) in ostrigar (*P. ostreatus*) sta bila nekoliko manj agresivna. Razloge za razlike v delovanju lahko pripišemo biološki variabilnosti lesa in biološki naravi gliv. Če bi razdelili glive v razrede odpornosti le na podlagi izgube mase (EN 350, 2017), bi smrekovino, topolovino in bukovino uvrstili v peti razred odpornosti, hrastovino v drugi, kostanjevino pa v peti razred odpornosti. Standard EN 350 (2017) razvršča kostanjevino v 2. razred, hrastovino v 2. do 4. razred, preostale tri vrste pa v najslabši 5. razred. Če želimo pridobiti bolj zanesljive podatke, je nujno, da poleg gliv razkrojevank za določanje odpornosti proti razkroju vključimo še teste, ki vrednotijo vpliv bakterij, kot je na primer EN 252 (2012) in ENV 807 (2004).

Poleg odpornosti proti lesnim glivam na življenjsko dobo lesa, ki ni v stiku z zemljo, vpliva tudi odpornost proti navlaževanju. Podobno kot odpornosti proti glivnemu razkroju ne moremo določiti le z izpostavitvijo eni glivi, moramo za določanje odpornosti proti glivam razkrojevank vključiti raznolike teste, kot je razvidno tudi iz preglednice 2. Ne glede na to, kateri test izberemo, je iz preglednice 2 razvidno, da hrastovina in kostanjevina med testi določanja odpornosti proti navlaževanju vpijeta/absorbirata manj vode kot bukovina, topolovina in smrekovina. Na primer, po eni uri namakanja je bukovina vpila 40,3 % vode, topolovina 31,8 %; kostanjevina 19,5 %, hrastovina pa 16,9 %. Do podobnih rezultatov so prišli tudi Brischke et al. (2014). Razlog za dobro odpornost hrastovine proti navlaževanju je višja stopnja otiljenja v primerjavi s kostanjevino. Po drugi strani je treba upoštevati še dejstvo, da ima bukovina bistveno gostejši les od topolovine, vrednosti v preglednici 2 pa so praviloma izražene v odstotkih. To pomeni, da je dejanski navzem vode v bukovino še bolj izrazit kot v topolovino. Dobra permeabilnost bukovine je tudi ra-

Preglednica 1. Izguba mase lesa po izpostavitvi glivam razkrojevankam za 16 tednov

Table 1. Mass loss after 16 weeks of exposure to wood decay fungi

Lesna vrsta	Lesna gliva			
	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Antrodia vaillantii</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Trametes versicolor</i>
<i>P. abies</i>	41,1 %	15,5 %	7,8 %	27,0 %
<i>F. sylvatica</i>	44,7 %	13,0 %	25,9 %	42,4 %
<i>Populus sp.</i>	51,1 %	25,3 %	11,7 %	47,4 %
<i>Quercus sp.</i>	7,1 %	4,2 %	4,8 %	5,5 %
<i>C. sativa</i>	0,7 %	0,6 %	1,1 %	1,2 %

Preglednica 2. Odpornost lesa proti navlaževanju, določena z različnimi laboratorijskimi preizkusi.

Table 2. Water exclusion efficacy determined with various test methods

Lesna vrsta	Metode za vrednotenje odpornosti proti navlaževanju				
	Vlaž. po 24 h uravnovešanja na 100 % RH	Vlažnost po 3 tednih uravnovešanja na 100 % RH	Kratkotrajno navzemanje vode	Vlažnost po 1 h namakanja	Vlažnost po 24 h namakanja
<i>P. abies</i>	11,5 %	22,7 %	24,9 kg/m <sup>2</sup>	41,0 %	64,5 %
<i>F. sylvatica</i>	9,4 %	23,3 %	29,4 kg/m <sup>2</sup>	40,3 %	75,6 %
<i>Populus sp.</i>	12,5 %	23,2 %	17,4 kg/m <sup>2</sup>	31,8 %	93,0 %
<i>Quercus sp.</i>	7,4 %	22,0 %	11,1 kg/m <sup>2</sup>	16,9 %	34,7 %
<i>C. sativa</i>	7,3 %	21,2 %	9,9 kg/m <sup>2</sup>	19,5 %	43,6 %

RH – relativna zračna vlažnost



zlog, da se ta lesna vrsta najpogosteje uporablja za izdelavo železniških pragov.

V skladu z modelom Meyer-Veltrup (2017) smo vrednosti v preglednicah 1 in 2 preračunali v faktorje, ki so prikazani v preglednici 3. Faktor 1 pomeni, da je bila vrednost posameznega parametra primerljiva z vrednostjo pri smrekovini. Vrednosti, nižje od 1, označujejo lesne vrste, ki so slabše odporne proti razkroju oziroma proti navlaževanju kot smrekovina, vrednosti faktorjev, višje od 1, pa označujejo materiale, ki se obnesejo bolje od smrekovega lesa.

Iz preglednice 3 je razvidno, da se pri smrekovini pojavijo prvi znaki razkroja po približno 325 dneh z ugodnimi klimatskimi pogoji. Ta podatek se nanaša za rabo lesa v aplikacijah, ki niso v stiku z zemljo. Če je konstrukcijska zaščita izvedena odlično, bo v določenem obdobju ugodnih dni za razkroj manj, kot če teh pravil gradbeniki niso upoštevali. Prvi znaki razkroja opisujejo spremembe, ki se pokažejo predvsem kot spremembe barve ali zelo površinski razkroj oziroma mehčanje lesa. Razkroj lesa ne sega več kot 1 mm globoko (EN 252, 2012). Ta vrednost nakazuje na prve znake razkroja, do popolnega propada praviloma pride po bistveno daljšem obdobju. V našem klimatskem pasu do prvega razkroja na smrekovem lesu, uporabljenem v tretjem razredu uporabe, pride po dveh, včasih tudi po treh letih. Na bukovini in topolovini pride do razkroja še prej, kar potrjujejo tudi naša terenska testiranja. Po drugi strani lahko pričakujemo, da bo do razkroja hrastovega in kostanjevega lesa prišlo veliko počasneje (Preglednica 4).

*Preglednica 3. Faktorji, ki določajo življenjsko dobo lesa izbranih lesnih vrst. Oznake faktorjev so razvidne iz enačbe 4.*

*Table 3. Factors that determine the service life of selected wood species. The explanation of the factors can be resolved from equation 4.*

Lesna vrsta	$k_{inh}$	$k_{wa}$	$D_{Rd}$ (dni)	$D_{RdRel}$
<i>P. abies</i>	1,00	1,00	325	1,00
<i>F. sylvatica</i>	0,76	0,97	241	0,74
<i>Populus sp.</i>	0,66	1,07	232	0,71
<i>Quercus sp.</i>	4,01	1,61	2100	6,46
<i>C. sativa</i>	5,00	1,59	2580	7,94

*Preglednica 4. Leta izpostavitve, ko smo na dvoslojнем testu na prostem zabeležili prve znake razkroja.*

*Table 4. Years of exposure required for development of the first sign of decay, as determined with the double-layer test method.*

Lesna vrsta	Leta izpostavitve, ko je na vzorcih na prostem prišlo do prvega razkroja
<i>P. abies</i>	2
<i>F. sylvatica</i>	1
<i>Populus sp.</i>	1
<i>Quercus sp.</i>	6
<i>C. sativa</i>	< 6

Na Oddelku za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani že več let spremljamo vlažnost lesa na več kot 450 mestih, na več kot 30 različnih materialih oziroma lesnih vrstah, da bi določili dinamiko vlaženja in sušenja lesa, vgrajenega na prostem. Tako letno zabeležimo več kot 300.000 meritev vlažnosti lesa. S temi podatki bomo skušali še dodatno izboljšati zanesljivost delovanja predstavljenega modela.

## 4 ZAKLJUČKI

### 4 CONCLUSIONS

Potrdili smo, da je model Meyer-Veltrup, ki temelji na metodi faktorjev, primeren model za vrednotenje življenjske dobe domačih lesnih vrst na prostem v drugem in tretjem razredu uporabe. Ta model temelji na dveh faktorjih; odpornosti materiala proti biološkim dejavnikom razkroja in odpornosti proti navlaževanju. Če želimo celostno osvetliti ta dva parametra, moramo izvesti več ločenih testov. Rezultati modela se dobro ujemajo z rezultati terenskih testiranj.

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

In addition to having a variety of indoor uses, wood has been used for centuries for structural and other outdoor applications. In recent years, Europe has seen a renaissance in the use of wood in construction. Its use especially in Class 2 (outside, not

in ground contact, covered) and Class 3 (outside, not in ground contact, not covered) applications, as defined by EN 335 (2013), has become increasingly important. However, if wood is misused, it is susceptible to degradation, especially by fungi. One of the biggest threats to outdoor applications in Central Europe is wood-decaying fungi. There are several research methods used to determine when decay occurs and how long a certain construction will last. This information refers to the service life of wood, and is key data for planning service and maintenance costs.

The service life of wood, defined in the standard ISO 15686-1 (2000) as the “period of time after installation during which a building or its parts meets the performance requirements,” is specifiable in years. The service life of wood depends on both natural and improved durability. In the past, natural durability was linked to extractive components, the anatomical and chemical properties of the wood, and the presence of biocidal active ingredients. There are only a few naturally durable wood species available in Europe. According to standard EN 350 (2017), the majority of wood species in Central Europe have non-durable or susceptible wood.

For end users of wooden applications, it is very important to predict the service life of wood. Different approaches for service life prediction have been developed, including the factor method (ISO 15686-1 2000). This calculates the estimated service life (ESL) by multiplying a reference service life (RSL) by different modifying factors. This method and recent results reflect the importance of moisture dynamics in evaluating the overall performance of naturally durable wood species and modified wood in outdoor applications. The importance of moisture dynamics in wood performance scenarios has influenced the development of new the European standard EN 350 (2017).

The majority of Slovenian wood species do not have durable wood. Due to increased environmental awareness, users are avoiding treated wood and wood from tropical forests. In order to increase the consumption of domestic wood species, we have to understand the overall performance of wood better. As such, a study of the most important Slovenian hardwood species was performed, as prescribed by Meyer-Veltrup et al.. Durability against wood decay fungi and wetting was determined using standard

laboratory tests. These data were then used for calculation of the respective factors needed for calculation of the predicted service life. The results from the laboratory tests were compared to the data from field testing. The outcome clearly showed that if proper tests in the laboratory are carried out, then they have high predictive value.

## ZAHVALA

## ACKNOWLEDGEMENT

Izvedbo raziskave je omogočilo več medsebojno povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: V4-1419 – Racionalna raba lesa listavcev s poudarkom na bukovini, L4-5517 - Preprečevanje vlaženja lesa, kot merilo učinkovitosti zaščite lesa pred glivami razkrojevalkami, L4-7547 - Obnašanje lesa in lignoceluloznih kompozitov v zunanjih pogojih, P4-0015 – Programska skupina les in lignocelulozni kompoziti, 0481-09 Infrastrukturni center za pripravo, staranje in terensko testiranje lesa ter lignoceluloznih materialov (IC LES PST). Del raziskav je potekal tudi v okviru projektov Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije; TIGR4smart.

## LITERATURA

## REFERENCES

- Brischke, C., Alfredsen, G., Flæte, P. O., Humar, M., Isaksson, T., & Meyer, L. (2015). The combined effect of wetting ability and durability on field performance – verification of a new prediction approach. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP, 15-20565.
- Brischke, C., Bayerbach, R., & Rapp, A. O. (2006). Decay-influencing factors: A basis for service life prediction of wood and wood-based products. *Wood Material Science and Engineering*, 1(3-4): 91–107.
- Brischke, C., Meyer, L., Hesse, C., Van Acker, J., De Windt, I., Van Den Bulcke, J., Conti, E., Humar, M., Viitanen, H., Kutnik, M., & Malassenet, L. (2014). Moisture dynamics of wood and wood-based products: results from an inter-laboratory test. The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 14-20539.
- Brischke, C., & Thelandersson, S. (2014) Modelling the outdoor performance of wood products - A review on existing approaches. *Construction and Building Materials*, 66, 384–397.
- EN 113 (2006). Wood preservatives - Test method for determining the protective effectiveness against wood-destroying basidiomycetes. Determination of toxic values. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.

- EN 1609 (1997). Toplotnoizolacijski proizvodi za uporabo v gradbeništvu - Določanje vpojnosti vode z metodo delne kratkotrajne potopitve.
- EN 252 (2012). Field test method for determining protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- EN 335-1 (2013). Classification of hazard classes. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- EN 350 (2017). Durability of wood and wood-based products - Testing and classification of the resistance to biological agents, the permeability to water and the performance of wood and wood-based materials. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- ENV 1250-2 (1994). Wood preservatives; Methods of measuring losses of active ingredients and other preservative ingredients from treated timber. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- ENV 807 (2004). Wood preservatives - Determination of the effectiveness against soft rotting micro-fungi and other soil inhabiting micro-organisms. European Committee for Standardisation, Brussels, Belgium.
- International Standardization Organization (2000). ISO 15686-1. Building and constructed assets-Service life planning- Part 1: General principles and framework.
- Isaksson, T., Brischke, C., & Thelandersson, S. (2013). Development of decay performance models for outdoor timber structures. *Materials and Structures*, 46, 1209-1225.
- Meyer-Veltrup, L., Brischke, C., Alfredsen, G., Humar, M., Flæte, P. O., Isaksson, T., Larsson Breid, P., & Jermer, J. (2017). The combined effect of wetting ability and durability on field performance – verification of a new prediction approach. *Wood Science and Technology*, 51, 615–637.
- Rapp, A.O., Augusta, U. (2004). The full guideline for the “double layer test method” - A field test method for determining the durability of wood out of ground. The International Research Group on Wood Protection IRG/WP/04-20290.
- Wikipedia. (2017) Building information modelling. [https://en.wikipedia.org/wiki/Building\\_information\\_modeling](https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling) (11.6.2017).