

## Mikroklimatske razmere v ladijskem kontejnerju

### *Microclimate conditions in an Intermodal Container*

Miha HUMAR<sup>1</sup>, Davor KRŽIŠNIK<sup>2</sup>, Boštjan LESAR<sup>3</sup>

#### **Izvleček:**

Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B.: Mikroklimatske razmere v ladijskem kontejnerju; Gozdarski vestnik, 77/2019, št. 5-6. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 18. Prevod avtorji, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V ladijskem kontejnerju smo spremljali mikroklimatske razmere (relativna vlažnost zraka in temperatura). Kontejner je bil napolnjen s tehnično sušenim smrekovim lesom (*Picea abies*). Zaboju je bil na desettedenski poti med Slovenijo in Japonsko. Vzporedno s tem smo v laboratorijskih razmerah določili odpornost lesa smreke proti glivam modrivkam in glivam plesnim. Z analizo dinamične sorpcije vodne pare (DVS) smo določili sorpcijske lastnosti lesa. Na lesnih površinah, ki so bile izpostavljene klimi z relativno zračno vlažnostjo nad 93 %, so se razvila glivna obarvanja. Rezultati laboratorijskih testov so v skladju z meritvami v ladijskem kontejnerju. Relativna zračna vlažnost v kontejnerju je bila nižja od 93 %, zato na transportiranem lesu nismo opazili znakov plesnenja.

**Glavne besede:** Smrekov les, relativna zračna vlažnost, temperatura, glive modrivke, glive plesni

#### **Abstract:**

Humar, M., Kržišnik, D., Lesar, B.: Microclimate conditions in an Intermodal Container; Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry), 77/2019, vol 5-6. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 18. Translated by authors, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Microclimatic conditions (relative air humidity and temperature) were monitored in an intermodal container with technically dry Norway spruce (*Picea abies*) wood inside. Container was on its 10 weeks lasting transport from Slovenia to Japan. In parallel, the susceptibility of Norway spruce wood to discolouring fungi was determined in laboratory conditions and sorption properties of wood were elucidated with a dynamic vapour sorption (DVS) analysis. Considerable fungal discoloration developed on wood surfaces that were exposed to a climate with RH above 93%. The results of the laboratory assessment correlated with the observations of mould development in the container. The RH in the container was below 93%, so there was no mould growth on the transported Norway spruce wood.

**Key words:** Norway spruce wood, relative humidity, temperature, mould, blue stain fungi

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Tudi v svetovnem merilu sodi les med zelo pomembne surovine. Po vsem svetu poteka globalizirana trgovina z lesom. Zaradi nizke gostote in relativno nizke vrednosti se za transport lesa pogosto poslužujejo ladijskega transporta. Zložaje desk navadno postavijo neposredno v ladijski trup, vedno pogostejši pa postaja tudi transport v kontejnerjih. Skupina lesnih proizvodov (hlodi, okrogel les, deske, plošče, peleti, sekanci ...) so tako glede na vrednost uvrščeni na osmo mesto

v svetovni trgovini; za gorivi, transportnimi sredstvi, pisarniško in telekomunikacijsko opremo, kemikalijami, rudninami, jeklom in oblačili (FAO, 2007). Med transportom obstaja velika verjetnost okužbe lesa z glivami modrivkami in plesnimi (Baecker in sod., 1995; Welling in Lambertz, 2008).

Glive modrivke povzročajo širok spekter barvnih sprememb: vse od svetlo sive, prek temno sivih, modrih, rjavih, zelenih do črnih odtenkov. Barva pomodrelega lesa je odvisna od strukture melanina in strukture samega lesa (Humar in sod., 2008). Glive modrivke pogosteje obarvajo beljavo, čeprav jih pri

<sup>1</sup> Prof. dr. M. H., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, miha.humar@bf.uni-lj.si

<sup>2</sup> dr. D.K., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, davor.krzisnik@bf.uni-lj.si

<sup>3</sup> Doc. dr. B. L., Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo, Jamnikarjeva 101, 1000 Ljubljana, Slovenija, bostjan.lesar@bf.uni-lj.si

nekaterih vrstah v poznejših stopnjah okužbe najdemo tudi v jedrovini. Te gliv lahko okužijo iglavce in listavce. Poleg tega jih je mogoče videti tudi na iverju za izdelavo ivernih plošč in papirja ter na gradbenem, stavbnem in površinsko premazanem lesu (Schmidt, 2006). Razvoj gliv modrivk poteka večinoma v beljavi, kjer se širijo preko trakovnega parenhima. Hranijo se z vsebino parenhimskih celic. Glavni vir hrane so enostavni sladkorji in škrob. Poznamo okoli 250 vrst gliv modrivk, ki povzročajo obarvanost oziroma pomodrelost lesa ter jih uvrščamo v deblo zaprtotrosnic (*Ascomycota*) in nepopolnih gliv (*Fungi imperfecti*) (Kaarik, 1980). Po drugi strani plesni pogosto povzročajo površinska in globinska obarvanja, v nekaterih primerih celo mehko trohnobo (Troya in sod., 1990). Razvoj teh gliv je zelo odvisen od mikroklimatskih razmer (Kržišnik in sod., 2018). Čeprav je ladijski transport zelo pogost, v dostopni literaturi še nismo zasledili podatkov o mikroklimatskih razmerah med ladijskim transportom.

V literaturi ni veliko podatkov o optimalnih oziroma kritičnih razmerah za razvoj gliv modrivk in plesni. Razmere so odvisne od vrste glive in substrata. Na splošno je sprejeto dejstvo, da je kritična relativna zračna vlažnost za razvoj gliv na beljavi rdečega bora (*Pinus sylvestris*) od 75 % do 80 % (Viitanen in Ritschkoff 1991; Johansson in sod. 2012). Uspešnost rasti gliv modrivk in plesni je tako zelo odvisna od relativne zračne vlažnosti, temperature in podlage oziroma lesne vrste.

Ker se je kritičnim razmeram med transportom težko izogniti, je les pogosto zaščiten z biocidnimi proizvodi na osnovi borove kisline, kvarternih amonijevih spojin, IPBC, propikonazola in/ali fenpropimorfa (Unger in sod. 2001). V Sloveniji sta na Uradu za kemikalije RS v ta namen prišla dva proizvoda, in sicer WOLSIN FL-35 (BASF Wolman GmbH) in ANTIBLU SELECT 3787 (Arch Timber Protection Limited). V teh biocidnih proizvodih je koncentracija biocidnih učinkovin relativno majhna in je namenjena kratkotrajni zaščiti lesa med transportom. Nekatere biocidne učinkovine (fenpropimorf) so načrtovane tako, da propadejo v nekaj tednih (Unger in sod., 2001; Humar, 2010). S podobnimi rešitvami ščitijo tudi tekstil med transportom, da ne splesni. Kakorkoli, vedno več uporabnikov želi les brez kakršnihkoli biocidov, še posebno,

če je les namenjen za izdelavo kuhinjske opreme in kuhinjskih pripomočkov. Zato smo želeli v tem prispevku proučiti, ali klimatske razmere v ladijskem kontejnerju omogočajo razvoj gliv modrivk in plesni ali ne.

## 2 MATERIALI IN METODE

### 2 MATERIALS AND METHODS

Poizkus je bil narejen na smrekovem lesu (*Picea abies*). Vsi vzorci so bili izdelani iz iste deske. Tako smo zmanjšali variabilnost. Pet vzorcev (6,5 cm x 2,5 cm x 0,5 cm) smo zložili v polietilenske komore (V = 1 L). Polovica volumna komore je predstavljala čaša, zapolnjena z nasičeno solno raztopino. Na tak način smo v komori ustvarili ciljno relativno zračno vlažnost, kot jo opisuje Pallumbo s sodelavci (2016). Uporabili smo pet nasičenih solnih raztopin, in sicer: NaCl (75 % RH), NH<sub>4</sub>Cl (80 % RH), KCl (85 %), Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (92 % RH) in destilirano vodo (98 % RH). Teoretične relativne zračne vlažnosti v komori smo potrdili z dejanskimi meritvami mikroklimatskih razmer. Komore z vzorci smo postavili v inkubator s kontrolirano temperaturo, in sicer 20 °C in 25 °C. Razvoj plesni na površini smo v tedenskih intervalih spremljali deset tednov zapored. Ob vsakokratnem ocenjevanju smo ocenili delež plesnive površine v odstotkih. Prisotnost gliv na površini lesa smo ovrednotili tudi z mikroskopsko analizo. Zanj smo uporabili laserski konfokalni vrstični mikroskop (Olympus, Lext OLS 5000). Uporabili smo objektiv s 50-kratno povečavo. Povečava na zaslonu je bila okoli 600-krat. Za mikroskopsko tehniko ni potrebna posebna priprava, zato je še posebej primerna za preiskave vlažnega in trhlega lesa.

Poleg relativne zračne vlažnosti na rast gliv vpliva tudi vlažnost lesa. Zato smo pri izbranih relativnih zračnih vlažnostih določili vlažnost lesa. Povezavo med relativno zračno vlažnostjo in vlažnostjo lesa smo določali z napravo DVS (Dynamic Vapour Sorption, Intrinsic 2, Surface Measurement Systems) pri temperaturi 25 °C v območju od 0 % do 95 % relativno zračno vlažnostjo. Meritve smo izvajali v 5 % intervalih.

Vzporedno smo v ladijski kontejner, napolnjen s tehnično sušenim smrekovim lesom, namestili senzor in opremo za beleženje podatkov. Za raziskavo smo uporabili opremo podjetja Scantronik. Senzor (Thermo-Hygro sensor) je



Slika 1: Pot ladijskega kontejnerja z lesom

Figure 1: Map with the route representing the path of intermodal container

v urnih razmikih beležil temperaturo in relativno zračno vlažnost med deskami v kontejnerju v obdobju od 29. 12. 2016 (Luka Koper) do 28. 2. 2017 (Tomakomai, Japonska). Kontejner je bil na poti (od vrat do vrat) 66 dni (Slika 1). To obdobje ustreza desettedenski izpostavitvi v laboratoriju.

### 3 REZULTATI IN RAZPRAVA 3 RESULTS AND DISCUSSION

Plesenje je pomembna estetska in zdravstvena težava. Spore gliv plesni lahko povzročijo dermatitis, astmo ali različne alergijske odzive. Še posebno so nevarne za osebe z oslabilnim imunskim sistemom, kot so na primer HIV pozitivni in osebe s presajenimi organi (Fung in Clark, 2004). Na pojav plesnenja najbolj vplivajo naslednji dejavniki: relativna zračna vlažnost, temperatura, lesna vrsta in prisotnost spor v okolju. Kakorkoli, zadnji rezultati kažejo, da v bivanjskem okolju na vseh celinah najdemo primerljive glive plesni (Khan in Karuppaiyil, 2012). Večina raziskav, ki proučujejo razmere za rast gliv modrivk in plesni, je bila opravljena na beljavi rdečega bora (*Pinus sylvestris*). Ta lesna vrsta sodi med vrste, ki so najbolj dovzetne za glivno okužbo. Po drugi strani je smrekovina bolj odporna (EN 350 2016) in naj bi bila tudi

bolj odporna proti plesnjenju in modrenju. Iz podatkov, prikazanih v preglednici 1, je razvidno, da v prvih treh tednih po izpostavitvi smrekovih vzorcev različnim klimatskim razmeram, na lesu ni bilo opaziti nobenega znaka, značilnega za obarvanje lesa z glivami. Znakov plesnenja oziroma modrenja ni bilo opaziti niti pri vzorcih, ki so bili izpostavljeni v komori z najvišjo relativno zračno vlažnostjo (98 %). Zato ti podatki niso prikazani (Preglednica 1). Pri vzorcih, ki so bili izpostavljeni relativni zračni vlažnosti, nižji od 83 %, v desetih tednih inkubacije nismo opazili nobenega znaka plesnenja. Le majhen delež površine (< 1 %) je bil preraščen z glivami pri vzorcih, ki so bili izpostavljeni v komori s 83 % relativno zračno vlažnostjo. Pri vzorcih, ki smo jih shranili pri 93 % relativni zračni vlažnosti, je bilo z glivami preraščene manj kot 5 % površine, pri vzorcih, ki so bili v komori z najvišjo relativno zračno vlažnostjo, pa od 15 % do 75 % (Preglednica 1). Na površini lesa so se pojavile kolonije, ki so zrastle iz posamezne spore (Slika 2). Smrekovi vzorci, ki so bili izpostavljeni pri 20 °C, so bili bolj prerasli z glivami kot vzorci, ko so bili inkubirani pri višji temperaturi (25 °C). Ta podatek nakazuje, da je temperaturni optimum za glive modrivke in plesni blizu 20 °C (Schmidt 2006). Gliv in plesni na površini lesa nismo določili.

Preglednica 1: Vpliv temperature in relativne zračne vlažnosti (RZV) na razvoj gliv plesni na površini smrekovega lesa  
 Table 1: Influence of temperature and RH on the development of mould on the surface of wood samples

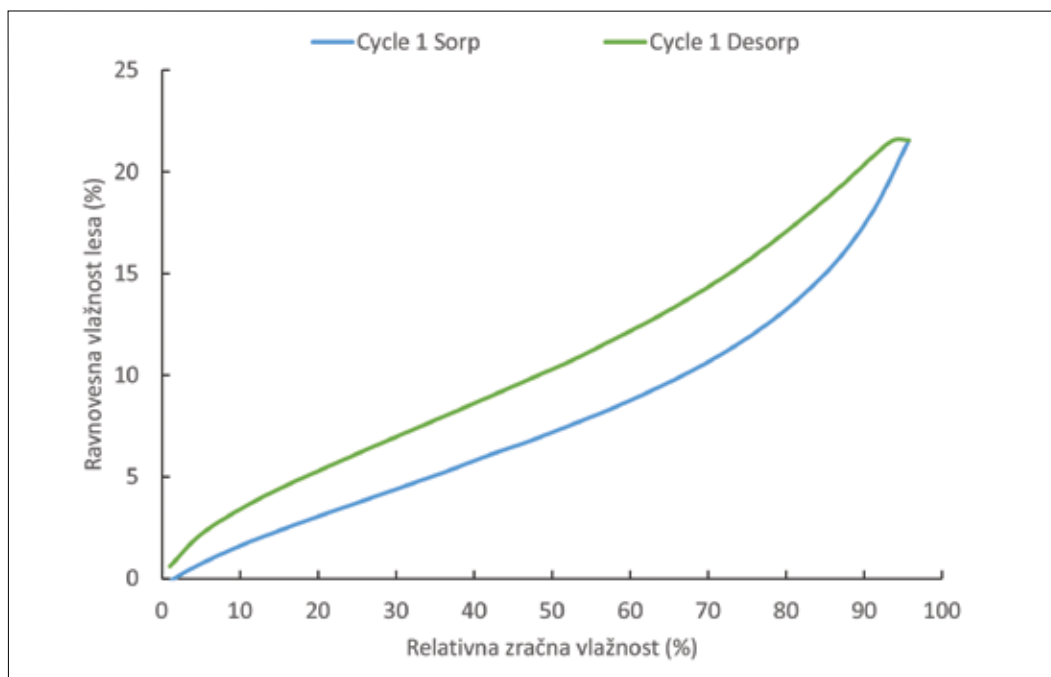
Tedni izpostavitve									
T (°C)	RZV (%)	3	4	5	6	7	8	9	10
Delež površine vzorcev, ki so ga prerastle glive plesni (%)									
25	75	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5
	79	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	83	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,5
	93	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,5	3,5	4,5
	98	1,0	5,6	5,8	6,4	8,9	11,8	12,7	14,3
20	74	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	82	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	2,5	3,0
	98	9,5	23,0	26,5	37,5	40,2	58,0	72,5	75,5



Slika 2: Rast plesni na površini lesa  
 Figure 2: Growth of staining fungi on the surface of the wood

Slika 3 prikazuje povezanost med vlažnostjo lesa in relativno zračno vlažnostjo. Ta povezava je znana. Z večjo relativno zračno vlažnostjo (RZV) se večja tudi vlažnost lesa. Pri RZV 95 % znaša vlažnost lesa 21,5 %, pri RZV 90 % je bila vlažnost lesa 18,3 %, pri RZV 85 % smo določili 15,8 % vlažnost lesa in pri RZV 75 % je vlažnost lesa znašala 12,5 %. Podatki povsem sovpadajo s podatki iz literature (npr. Simón in sod., 2017). Kakorkoli, tudi pri RZV 95 % je vlažnost smrekovega lesa prenizka, da bi se na lesu razvile glive

razkrojevalke. Iz literaturnih podatkov je mogoče razbrati, da so mejne vlažnosti v največji meri odvisne od vrste glive. Na primer Schmidt (2006) poroča, da je minimalna vlažnost za razkroj lesa pri glivah *Fibroporia vaillantii* in *Gloeophyllum trabeum* 30 %, pri glivah *Coniophora puteana* in *Serpula lacrymans* so te vrednosti nekoliko nižje. Na podlagi meritev vlažnosti lesa v realnih objektih smo ugotovili, da se za mejno vlažnost nemodificiranega lesa uporablja meja 25 % (Kržišnik in sod. 2018).



Slika 3: Adsorpcijska in desorpcijska krivulja smrekovega lesa

Figure 3: Adsorption and desorption isotherms for spruce wood

Preglednica 2: Število in delež meritev z relativno vlažnostjo (RZV) in temperature nad določeno mejno vrednostjo  
Table 2: Number and percentage of measurements when the relative humidity (RH) or temperature (t) were above a specific threshold.

RZV (%)	Število meritev RZV nad mejno vrednostjo	Delež meritev RZV nad mejno vrednostjo (%)	t (°C)	Število meritev t nad mejno vrednostjo	Delež meritev t nad mejno vrednostjo (%)
75	882	56	10	905	57
79	581	37	15	685	43
83	128	8	20	469	30
93	1	0	25	144	9
98	0	0	30	0	0

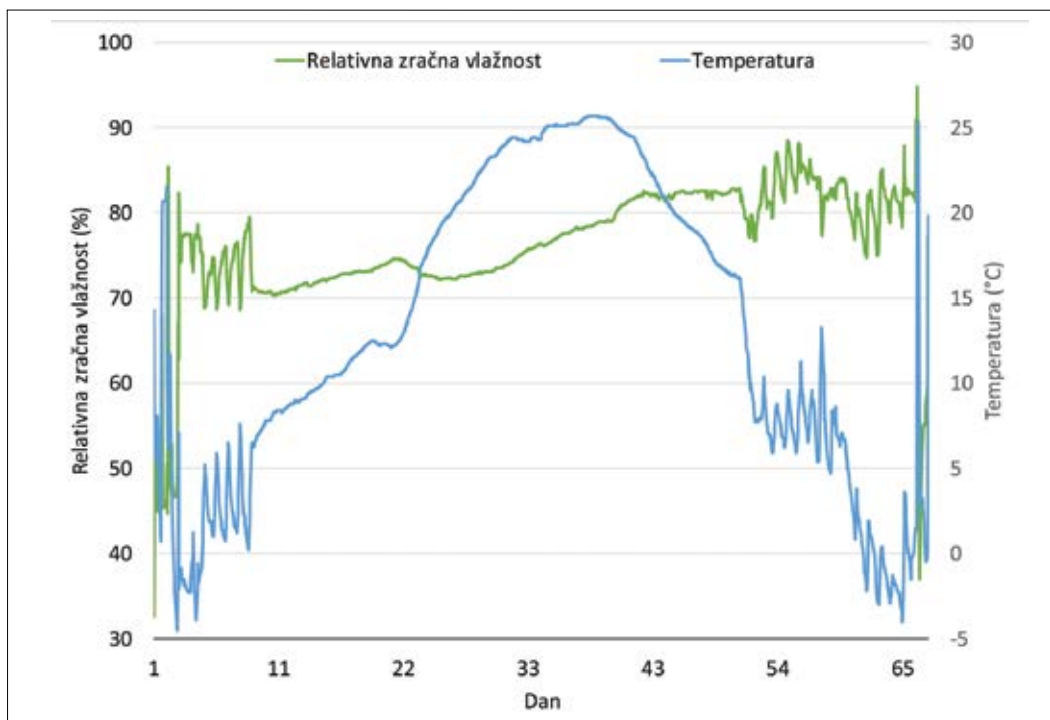
Gibanje relativne zračne vlažnosti in temperature v kontejnerju med transportom je razvidno iz preglednice 2 in slike 3. Iz gibanja temperature je razvidno, da je kontejner potoval iz zimskih razmer v toplejše in se vrnil na sever v zimske razmere. V kontejnerju smo zabeležili najnižjo temperaturo  $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ki smo jo zabeležili na začetku poti. Najvišja temperatura ( $25,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) je bila zabeležena 37. dan transporta. Upoštevati je treba, da je ladja potovala po morju, tako da je temperatura morja blažila temperaturna nihanja. Iz podatkov je mogoče razbrati, da je bila temperatura nad  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  57 % časa poti. Ta čas vključuje nočne in tudi dnevne temperature. Skoraj tretjino časa je bila temperatura višja od  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Za razliko od temperature se je relativna zračna vlažnost počasi večala ves čas poti. Na primer: v prvi tretjini poti je bila RZV 70,5 %, v drugi 76,9 % v zadnji pa 80,5 % (Preglednica 2, Slika 4). Ker je bil kontejner zapolnjen s tehnično sušenim lesom, z izhodiščno vlažnostjo okoli 12 %, predvidevamo da je les služil kot neke vrste blažilec razlik. Les je absorbiral vodo in tako blažil klimatske razmere

v kontejnerju. Vlažnost lesa po koncu transporta se je povečala za dve odstotni točki. Na srečo je takšna vlažnost še vedno prenizka za razkroj ali glivno obarvanje lesa. Zato obstaja verjetnost, da bi se v primeru daljše poti ali ob transportu manj odpornega lesa na lesu pojavilo plesenje. Po drugi strani ta podatek nakazuje, da je tehnično sušenje žaganega lesa pred transportom smiselno in je to učinkovit način zaščite lesa med transportom.

#### 4 ZAKLJUČKI

#### 4 CONCLUSIONS

Mikroklimatske razmere (relativna zračna vlažnost in temperatura) v ladijskem kontejnerju na poti med Slovenijo in Japonsko niso bile ugodne za razvoj gliv modrvik in plesni. Relativna vlažnost zraka je bila pod kritično mejo 83 % veliko večino časa (91 %). Med transportom se je relativna zračna vlažnost počasi večala, zato obstaja verjetnost, da bi se v primeru daljšega transporta razmere še poslabšale, kar bi se lahko odrazilo v plesenju lesa.



Slika 4: Gibanje temperature in relativne zračne vlažnosti v kontejnerju z lesom

Figure 4: Changes of the temperature and relative air humidity in container with wood during transport.

## 5 SUMMARY

Wood is one of the most important materials and, as such, part of global trade. For example, forest products, as a group, the 8th most valuable transported goods, following fuels, transport equipment, office and telecom equipment, chemicals, iron and steel, and clothing (FAO 2007), what clearly indicates the importance of the wood trade. Wood, as bulk material, is frequently transported by ship, either in containers or in the hold of a general cargo vessel. During the transport wood is susceptible to staining and moulding fungi. From the literature, it can be resolved, that growth of the moulds was studied on growth on stored and blocked wood, on piled wood chips, within buildings, on wallpapers, silicone in bathrooms ... Generally, moulding is favoured by high substrate moisture (water activity 0.9 – 1.0), high air humidity around 95%, warmth and insufficient ventilation. Critical relative humidity for the development of moulds on Scots pine sapwood as well as spruce wood is between 75% and 80%.

Experiment was performed on Norway spruce wood (*Picea abies*). All specimens were made from the single oven dry plank. Wood was technically dry with initial MC of 12%. Parallel specimens (were positioned in a polyethylene container with defined climate at different predefined temperatures. Growth of the fungi was regularly monitored. In parallel a Scantronik Thermofox data logger, equipped with RH and temperature sensors (Thermo - Hygro - Sensor) was placed in a ship container between the spruce wood specimens. The container travelled from the port of Koper (Slovenia) to Tomakomai (Japan) for 66 days.

Results clearly indicates that the microclimatic conditions (RH and temperature) in a container traveling from Slovenia to Japan were unfavourable for the moulds development on spruce wood. RH was below 83% for 91% of the transport time. But if did RH in the container increased over time; it is likely that a longer transport time would result in moulding, as indicated from laboratory trials. Further test on containers over longer transport periods, during warmer seasons should be performed in the future.

## 6 ZAHVALA

## 6 ACKNOWLEDGMENTS

Prispevek je rezultat več med seboj povezanih projektov, ki jih je sofinancirala Agencija za raziskovalno dejavnost RS: L4-7547 – Obnašanje lesa in lignoceluloznih kompozitov v zunanjih razmerah, 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 0481-09). Del raziskav je potekal tudi v okviru projektov Razvoj verig vrednosti v okviru razpisov Strategije pametne specializacije; TIGR4smart (C3330-16-529003) in Woolf.

## 7 LITERATURA

## 7 REFERENCES

- Baecker, A. A. W.; Behr, M.; Shelver, G.D. 1995. Anti-bluestain treatment developed for log cargoes stacked in subtropical conditions for export on logging ships. *The International Research Group for Wood Protection*. Stockholm, Sweden. IRG/WP 95-30081
- EN 350 2016. 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, Bruselj, Belgija
- FAO. 2007. Global wood and wood products flow trends and perspectives. FAO Advisory Committee on Paper and Wood Products. Shanghai, China, 13 p.
- Fung, F.; Clark, R. F. 2004. Health Effects of Mycotoxins: A Toxicological Overview. *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology* 42(2):217–234
- Humar, M. 2010. Pregled registriranih biocidnih pripravkov za zaščito lesa na slovenskem tržišču. *Les* 62(3/4): 105–108.
- Humar, M.; Vek, V.; Bučar, B. 2008. Properties of blue-stained wood. *Drvena industrija* 59(2):75–79.
- Johansson, P.; Ekstrand-Tobin, A.; Svensson, T.; Bok, G. 2012. Laboratory study to determine the critical moisture level for mould growth on building materials. *International Biodeterioration & Biodegradation* 73:23–32.
- Kaarik, A. 1980. Fungi causing sap stain in wood. Swedish University of Agriculture Science, Department of Forest Products, 114
- Khan, A.A.H.; Karuppaiyil, S.M. 2012. Fungal pollution of indoor environments and its management. *Saudi Journal of Biological Sciences* 19:405–426.

- Kržišnik, D.; Lesar, B.; Thaler, N.; Humar, M. 2018. Influence of natural and artificial weathering on the colour change of different wood and wood-based materials. *Forests* 9(8): 1–22.
- Kržišnik, D.; Lesar, B.; Thaler, N.; Humar, M. 2018. Micro and material climate monitoring in wooden buildings in sub-Alpine environments. *Construction & building materials* 166: 188–195.
- Palumbo, M.; Lacasta, A.M.; Navarro, A.; Giraldo, M.P.; Lesar, B. 2016. Improvement of fire reaction and mould growth resistance of a new bio-based thermal insulation material. *Construction and Building Materials* 139:531–539.
- Schmidt, O. 2006. *Wood and Tree Fungi*. Springer-Verlag, Berlin
- Simón, C.; García Fernández, F.; García Esteban, L.; de Palacios, L.; Hosseinpourpia, R.; Mai, C. 2017. Comparison of the saturated salt and dynamic vapor sorption methods in obtaining the sorption properties of *Pinus pinea* L. *European Journal of Wood and Wood Products*. doi:10.1007/s00107-016-1155-6
- Troya De, M.T.; Navarrete, A.M.; Relano, E. 1990. Analysis of the degradation of carbohydrates by blue-stain fungi. The International Research Group on Wood Protection, Stockholm, IRG/WP 90-1457, 13
- Unger, A.; Schniewind, A.P.; Unger, W. 2001. *Conservation of Wood Artifacts*, a handbook. Springer, Berlin
- Viitanen, H.; Ritschkoff, A.C. 1991. Mould Growth in Pine and Spruce Sapwood in Relation to Air Humidity and Temperature. Report no 221, Swedish University of Agricultural Sciences
- Welling, J.; Lambertz, G. 2008. Environmentally friendly temporary anti-mould treatment of packaging material before drying. *Maderas. Ciencia y tecnología* 10(1):25–33.