

GDK 841.3 : 842.2 : 174.7 *Picea abies* (Karst.) : 174.7 *Abies alba* (Mill.)

PREPUSTNOST SISTEMA LES-PREMAZ ZA VODNO PARO PRI RAZLIČNIH PREMAZNIH SISTEMIH

Vekoslav MIHEVC*, Brane KNEHTL**, Robert ŽEPIČ***

Izvleček

Prispevek predstavlja raziskavo prepustnosti vzorcev lesa smreke/jelke za vodno paro. Vzorci so bili obdelani s petimi različnimi lazurnimi premaznimi sistemi. Za ugotavljanje vpliva staranja filma na prepustnost premaza smo uporabili test umetnega pospešenega staranja, za določevanje prepustnosti za vodno paro pa metodo s čašo (DIN 53122, DIN 52615). Med nestaranimi in staranimi vzorci smo ugotovili značilne razlike v prepustnosti filma premaza. Tudi med posameznimi tipi premazov obstajajo razlike v prepustnosti. Metoda je skupaj z merjenjem navlaževanja lesa med umetnim pospešenim staranjem uporabna za ocenjevanje zaščitne sposobnosti in kakovosti premaznih sistemov.

Ključne besede: površinska zaščita lesa, prepustnost premaza, vodna para, akrilni lazurni premaz, alkidni lazurni premaz, umetno pospešeno staranje

WATER-VAPOUR PERMEABILITY OF THE WOOD-COATING SYSTEM OF DIFFERENT SURFACE COATING SYSTEMS

Abstract

The article presents a research of water-vapour permeability of the spruce and fir specimens finished with five different exterior wood film-forming pigmented coating systems based on the Cup method. The samples have been weathered by an accelerated weathering device for over 500 hours. The results of the measurements of water-vapour permeability before and after ageing have shown a decrease in permeability of all the samples tested. Some major differences in permeability between some types of coating systems have been found. The method, when used together with the water uptake measurement during accelerated weathering, enables qualitative correlations of the coating protection functions of different coating systems.

Key words: exterior wood finishing, water-vapour permeability, acrylic film-forming stains, alkyd film-forming stains, accelerated artificial weathering

* Prof., dr., mag., dipl. ing. les., - Biotehniška fakulteta, odd. za lesarstvo, Ljubljana, Rožna dolina, Cesta VIII./34, SLO

** Višji predavatelj, mag., dipl. ing. les., - Biotehniška fakulteta, odd. za lesarstvo, Ljubljana, Rožna dolina, Cesta VIII./34, SLO

*** Dipl. ing. les., mladi raziskovalec, - Biotehniška fakulteta, odd. za lesarstvo, Ljubljana, Rožna dolina, Cesta VIII./34, SLO

KAZALO

1	UVOD	179
2	MATERIAL IN METODE DELA	181
2.1	PRIPRAVA VZORCEV.....	181
2.2	MERJENJE PROPUSTNOSTI ZA VODNO PARO.....	181
3	REZULTATI IN RAZPRAVA	183
3.1	PREPUSTNOST ZA VODNO PARO.....	183
3.2	STATISTIČNA OBDELAVA SPREMEMBE PREPUSTNOSTI	186
4	SKLEPI	187
	SUMMARY	188
	VIRI	190

1 UVOD

Les kot organski material na prostem propada zaradi vremenskih vplivov, zračnih polutantov in mikroorganizmov, ki v kombinaciji ta pojav še stopnjujejo. UV in IR svetloba ter kisli depoziti povzročajo bolj ali manj le površinsko degradacijo lesa, medtem ko vlaga in mikroorganizmi lahko zavzamejo pri daljši obremenitvi celoten presek lesenega elementa. Spremembe v vlažnosti lesa spremljajo še krčenje, nabrekanje, zvijanje in razpoke (AHOLA 1991). Les lahko zaščitimo pred vplivi vlage na več načinov. Navlaževanje lesa lahko omeji dobra konstrukcijska zasnova izdelka. Impregnacija lesa z vodoodbojnimi snovmi pozitivno vpliva na preprečevanje navlaževanja in s tem na dimenzijsko stabilnost lesa, posebno na prečnih prerezih, kjer je hitrost vpijanja vode najintenzivnejša. Premazi na lesu blažijo spremembe vlažnosti lesa ob spreminjajoči se zračni vlagi in ščitijo les pred padavinami. Trajnost premaza, še posebno pa lesa pod njim, je neposredno odvisna od prepustnosti utrjenega filma premaza za vodo in vodno paro (SCHMITZ / EMMERICH 1969).

SELL 1985 je ugotovil, da prepustnost premaza za vodno paro pri zunanjih smrekovih elementih debeline 2 do 4 cm zelo malo vpliva na povprečne vlažnosti lesa, pač pa se zelo močno izraža v nihanju ravnovesne vlažnosti in s tem s precejšnjimi dimenzijskimi spremembami lesa. Premaz z nizko prepustnostjo varuje les pred navlaževanjem. Po drugi strani pa tak premaz preprečuje difuzijo ali premikanje vode v nasprotni smeri in s tem zadržuje izsuševanje lesa. Premazni sistemi za gradbeni in stavbni les naj bi imeli čim višjo konstanto prepustnosti zaradi hitrejšega prehajanja povečane vlage iz lesa v atmosfero. S primerjavo vrednosti koeficientov nestaranih in starih vzorcev, obdelanih s premaznimi sistemi, je mogoče podati tudi oceno o trajnosti premazov (HORA / BÖTTCHER 1994).

Prve podrobnejše objave o tej problematiki segajo v sedemdeseta leta, ko sta WASSIPPAUL / JANOTTA 1972 raziskovala prepustnost različnih premazov. Z metodo čaše (Cup Method) sta določila vrednosti konstante prepustnosti P za oljne, alkidne, poliuretanske, epoksidne in druge premaze. Problematiko

prepustnosti lazurnih premazov za les so obširno opisali še VERMEULEN et al. 1973. Študije, ki jih je opravil SELL 1976 na premazanih lesnih substratih pri izpostavitvi na prostem kažejo, da je upadanje prepustnosti premaza v prvem letu izpostavitve manjše, vendar pa se kasneje poveča.

PERERA 1980 je z meritvami na prostih filmih premazov ugotovil, da se prepustnost omočenih premazov zmanjša zaradi znižanja koeficienta topljivosti in ekstrakcije vodotopnih substanc in komponent z majhno molekulsko maso. HULDÉN / HANSEN 1985 sta pri raziskavah vzorcev premazov na borovini zaznala precejšen padec prepustnosti zaradi staranja. Opazna je bila tudi razlika med prepustnostjo pravkar utrjenega filma in filma premaza, starega 23 mesecev, kar pomeni, da je potrebno rezultate "svežih" premazov upoštevati z določeno mero previdnosti. BODNER et al. 1989 so pri raziskavah vpliva staranja na prepustnost alkidnih in akrilnih lazurnih premazov med njimi ugotovili očitne razlike, odvisne predvsem od pigmentacije in načina staranja premaza. Pri proučevanju razlik v prepustnosti filmov za vodno paro je AHOLA 1991 izmeril za okoli 15% višje vrednosti masnega transporta vodne pare pri vzorcih, obdelanih z akrilnimi lazurnimi sistemi v primerjavi z alkidnimi premazi.

Večina veziv, ki določajo bistvene lastnosti premazov kaže rast stopnje zamreženja polimera pod vplivi staranja, o čemer poročajo številni raziskovalci, med njimi tudi HULDÉN / HANSEN 1985. Nekateri raziskovalci so opazili tudi začasno rast prepustnosti po nekaj sto urah umetnega pospešenega staranja, kar pa pripisujejo učinku plastifikacije veziva zaradi absorbirane vode. Eden pomembnejših problemov, povezanih s kakovostjo zunanjih premazov, je pojav razpok - pokanja, po določeni periodi staranja. Vsekakor upor proti prepustnosti premaza za vodno paro pada z naraščanjem pokanja premaznega filma. Vplivi pokanja in končno luščenja lahko daleč presežejo pojav upadanja prepustnosti zaradi sprememb v samem vezivu premaza. To dejstvo potrjujejo tudi raziskave, ki jih je opravil SELL 1976 na lesnih substratih, izpostavljenih zunanjim vplivom. Prepustnost nekaterih premazov se je zmanjšala po prvih 12 mesecih izpostavitve, po 32 mesecih pa je pri vseh znatno narasla.

Cilj te raziskave je predvsem objektivna ocena razlik v prepustnosti za vodno paro pri različnih lazurnih premaznih sistemih na akrilni in alkidni osnovi ter analiza soodvisnosti preučevanih lastnosti z navlaževanjem lesa med umetnim pospešenim staranjem.

2 MATERIAL IN METODE DELA

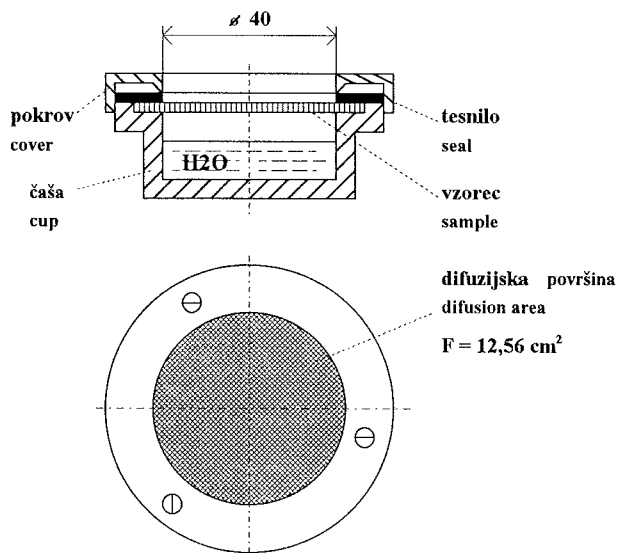
2.1 PRIPRAVA VZORCEV

Pripravo vzorcev in sisteme površinske obdelave so podrobno opisali MIHEVC / KNEHTL / ŽEPIČ 1994. Vzorce za merjenje prepustnosti za vodno paro smo izdelali iz večjih deščic (250 x 100 x 20 mm) iz lesa smreke in jelke z gostoto $0,44 \text{ g/cm}^3$ z vlažnostjo 12-15%. Pretežno radialne, 2 mm debele krožne vzorce smo hranili teden dni v klimatiziranem prostoru pri temperaturi 20°C in relativni zračni vlažnosti 65%. Za vsak tip premaza smo izdelali 3 vzorce. Meritve smo opravili na:

- a) nestaranih vzorcih in
- b) vzorcih, ki so bili prej izpostavljeni umetnemu pospešenemu staranju - UPS v trajanju 500 ur.

2.2 MERJENJE PREPUSTNOSTI ZA VODNO PARO

Za merjenje prepustnosti smo uporabili modificirano metodo s čašo (Cup Method) po DIN 53122 in DIN 52615.



Grafikon 1: Čaša za določanje prepustnosti premazov za vodno paro
 Fig. 1: Water-vapour permeability test cup

Vzorci smo stehali pred vstavitvijo v čaše na desettisočinko grama natančno in jim izmerili debelino z mikrometrom. V čaše smo injicirali ca. 5 ml destilirane vode, vstavili površinsko obdelan vzorec lesa ter pritrdili pokrov s tesnilom. Poskuse smo izvajali v klimatiziranem prostoru s temperaturo 23°C in relativno zračno vlažnostjo 65%. V ta prostor smo postavili stekleno komoro z nasičeno vodno raztopino soli - natrijevega nitrita NaNO₂, nad katero se pri konstantni temperaturi vzpostavi tlak vodne pare, ki ustreza relativni zračni vlažnosti 65%; vanjo smo namestili čaše z vzorci. V komori se je pri konstantni temperaturi vzpostavila relativna zračna vlažnost 65%, v čaši z vzorcem pa približno 100%.

Zaradi razlike parnih tlakov (980 Pa) je prišlo do difuzije vodne pare skozi dvoslojni vzorec - les/premaz. Vodna para je preko vzorca prodirala iz čaše z višjo relativno vlažnostjo zraka v komoro z nižjo vlažnostjo zraka. Poskus je trajal 7 dni. V prvih 4 dneh se je vzpostavil stalen difuzijski tok vodne pare. Po tem času smo določevali maso čaše na laboratorijski tehtnici. Tehtanje smo

ponovili trikrat v razmiku 24 ur. Iz izmerjenih podatkov smo izračunali maso difundirane vodne pare v času poskusa. Pri izračunih smo upoštevali naslednje vrednosti debeline premazov:

Preglednica 1: Debeline nestaranih in staranih filmov premazov

Table 1: *Thickness of the unweathered and weathered films*

Premazni sistem <i>Coating system</i>	A	B	C	D	E
	Debelina filma premaza [μm] <i>Coating film thickness</i>				
Nestarani vzorci <i>Unweathered samples</i>	94.8	108.4	98.0	114.4	90.0
Starani vzorci <i>Weathered samples</i>	81.2	93.2	96.4	104.8	74.4

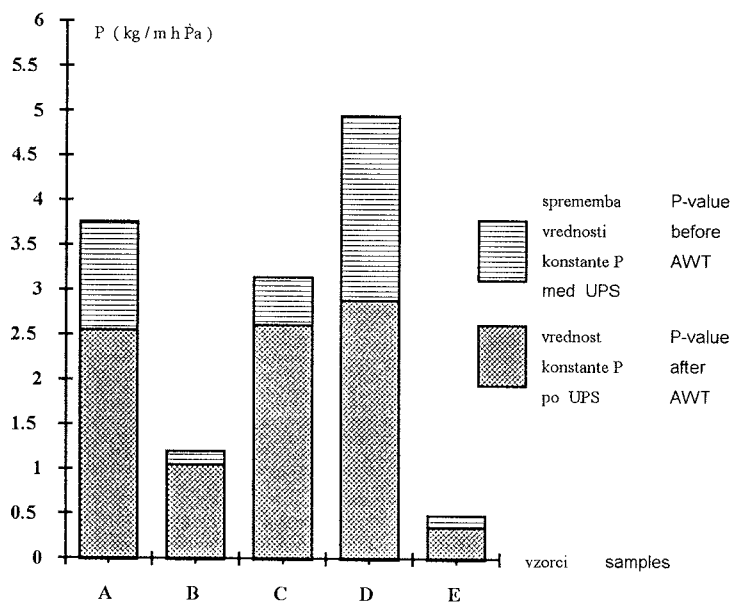
Določili smo konstante prepustnosti P (DIN 53122, DIN 52615) za posamezen tip nestaranega in staranega premaznega sistema.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 PREPUSTNOST ZA VODNO PARO

Meritve prepustnosti vzorcev za vodno paro, ki smo jih izvedli na nestaranih in umetno pospešeno staranih vzorcih, so pokazale velike razlike med vodnimi akrilnimi lazurami, predvsem pa med omenjenimi premazi A, B, C ter E - alkidno lazuro na osnovi topil. Vrednosti konstante prepustnosti so se med UPS zmanjšale, povečanje bi bilo pričakovati, glede na ugotovitve ostalih avtorjev, šele po 750 do 1000 urah umetnega pospešenega staranja.

Povprečna vrednost konstante prepustnosti treh akrilnih lazur pred UPS je $2.7 \cdot 10^{-10}$ kg / m h Pa in je 5.6 krat večja od vrednosti konstante prepustnosti alkidne lazure, to razmerje v primerjavi s premazom A pa je skoraj 8. Zanimivo je, da je imel premaz A pred UPS trikrat večjo konstanto prepustnosti kot premaz B in 1.2 krat večjo kot premaz C, po UPS pa je to razmerje 2.4 in 1.

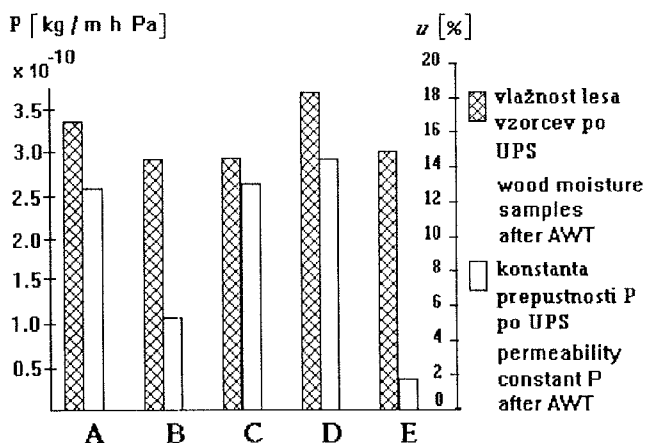


Grafikon 2: Konstante prepustnosti filmov premazov za vodno paro pred in po 500 h umetnega pospešenega staranja

Fig. 2: Water-vapour permeability constants of coating films before and after 500 hours of AWT (Accelerated Weathering Test)

Pri meritvah navlaževanja lesa s tekočo vodo smo izmerili precejšnje razlike med premazoma A in C, pri prepustnosti za vodno paro pa jih po UPS praktično ni, kar kaže na to, da neposredna korelacija med učinkovitostjo preprečevanja navlaževanja in prepustnostjo premaza C ne obstaja. Povprečna vrednost konstante prepustnosti

vzorcev A, B in C po UPS znaša okoli $2.1 \cdot 10^{-10}$ kg / m h Pa, kar pomeni zmanjšanje prepustnosti za 23%, temu ustrezno zmanjšanje pri premazu E pa je skoraj 27%. Medtem ko je bilo razmerje med konstantama prepustnosti vzorcev A in D pred staranjem okoli 1.3, pa se je po UPS zmanjšalo na okoli 1.1. To potrjuje domneve o kemijskih spremembah v filmu premaza D zaradi interakcij sestavin alkidne smole na osnovi topil in vodne akrilne smole. Relativno zmanjšanje prepustnosti zaradi staranja pri tem premazu je bilo največje - preko 40%. Vzrok je verjetno v zapoznili utrditvi premaznega sistema pod vplivom višje temperature (do 60°C) med UPS.



Grafikon 3: Primerjava končne vlažnosti lesa po 500 ciklusih UPS in konstant prepustnosti P po UPS med vzorci A, B, C, D in E

Fig.3: Comparison of wood moisture after 500 cycles of AWT and permeability constant P after AWT between the samples A, B, C, D and E

3.2 STATISTIČNA OBDELAVA SPREMEMBE PREPUSTNOSTI PREMAZNIH SISTEMOV

Opravili smo analizo variance parov vrednosti prepustnosti vzorcev pred umetnim pospešenim staranjem in po njem in ugotovili, da je razlika v prepustnosti med staranimi in nestaranimi vzorci premazov statistično značilna na stopnji tveganja $\alpha=0.001$. Primerjave med sredinami vrednosti prepustnosti med posameznimi premazi ni bilo mogoče izvesti zaradi premajhnega števila podatkov (3 podatki na premaz).

Vrednosti prepustnosti UPS vzorcev se pri vseh 5 premazih razlikujejo od vrednosti nestaranih vzorcev. Prepustnost vzorcev premazov A, B, C in D se po velikosti razlikuje od vrednosti prepustnosti premaza E za 3 do 10 krat. Med premazi A, B, C in D ima značilno nižjo vrednost le premaz B, D pa nekaj višjo. Največja relativna sprememba je pri premazu D, najmanjša pri B. Največje absolutno zmanjšanje prepustnosti smo izmerili pri premazu D, najmanjše pa pri premazih E in B.

Preglednica 2: Primerjava sredin izmerjenih podatkov in sprememb prepustnosti vzorcev pred in po UPS

Table 2: Comparison of mean data values and changes of water-vapour permeability before and after AWT

Premazni sistem <i>Coating system</i>	Konstanta prepustnosti [kg/mhPa] <i>Permeability constant</i>		Sprememba <i>Change</i> %[%]
	Nestarani vzorci <i>Unweathered sampl.</i>	Starani vzorci <i>Weathered samples</i>	
A	$3.76 \cdot 10^{-10}$	$2.55 \cdot 10^{-10}$	32.2
B	$1.20 \cdot 10^{-10}$	$1.05 \cdot 10^{-10}$	12.5
C	$3.14 \cdot 10^{-10}$	$2.61 \cdot 10^{-10}$	16.9
D	$4.95 \cdot 10^{-10}$	$2.88 \cdot 10^{-10}$	41.8
E	$0.48 \cdot 10^{-10}$	$0.35 \cdot 10^{-10}$	26.8
		Povprečna vrednost <i>Mean value</i>	26.0

4 SKLEPI

V nalogi smo raziskovali prepustnost za vodno paro pri različnih lazurnih premaznih sistemih na akrilni in alkidni osnovi, nanešenih v dveh slojih na lesu smreke/jelke ter njene soodvisnosti z navlaževanjem lesa med umetnim pospešenim staranjem. Ti lastnosti sta pomembna kazalca zaščitne sposobnosti premaznih sistemov tudi v praksi. Z analizo rezultatov smo ugotovili naslednje:

V skladu z dognanji ostalih avtorjev se je konstanta prepustnosti pri vseh premazih med umetnim pospešenim staranjem zmanjšala (HULDÉN / HANSEN 1985, SELL 1972). Do povečanja prepustnosti filmov premazov za vodno paro bi prišlo verjetno šele po daljši izpostavitvi UPS. Akrilni vodni premazni sistemi so se izkazali z dobro prepustnostjo in njeno manjšo relativno spremembo v primerjavi z alkidnim sistemom, kar kaže na dobro fizikalno-kemijsko stabilnost filmov med staranjem. Neposredne korelacije med učinkovitostjo preprečevanja navlaževanja med UPS in prepustnostjo za vodno paro razen pri vzorcu D nismo ugotovili, kar je v skladu z ugotovitvami o različnem delovanju fizikalnih mehanizmov transporta vode v kapljevinskem in plinskem stanju pri sistemu les/premaz (HORA / BÖTTCHER 1994). Kombinacija alkidne impregnacijske ter pokrivne akrilne lazure se je v tem primeru pokazala kot manj ustrezna, saj so ti vzorci dosegali najvišje vsebnosti vlage med UPS. Prepustnost kombiniranega sistema alkidne impregnacijske in pokrivne akrilne lazure pred staranjem je bila največja in se je nato relativno in absolutno največ zmanjšala. Premazni sistem B z 2.5 krat manjšo prepustnostjo od premaznega sistema C ima kljub vsemu trikrat večjo prepustnost kot alkidni premazni sistem. Večja prepustnost premaznega sistema C pomeni tudi hitrejši vpliv spreminjajoče se zračne klime na ravnovesno vlažnost lesa in njegovo krčenje in nabrekanje. To povzroča velike oscilirajoče napetosti v filmu premaza, predvsem na mejah med ranim in kasnim lesom, kar v končni fazi pomeni večjo verjetnost pokanja premaza in s tem pospešene degradacije lesa zaradi klimatskih in bioloških dejavnikov.

Izsledke laboratorijske raziskave teh premaznih sistemov je potrebno preveriti še v pogojih naravnega staranja, kar pa je predmet nadaljnjih raziskav v sodelovanju s proizvajalci premaznih sistemov.

SUMMARY

In the research carried out at the Department of Wood Science and Technology, Biotechnical Faculty in Ljubljana, the differences between the samples finished with 5 different exterior pigmented stains with regard to the water-vapour permeability of the cured untreated and weathered films were determined. The spruce/fir (*Picea abies/Abies alba*) wood pieces were finished with two coats as follows:

- A - acrylic latex impregnating and film-forming stain(type 1)
- B - acrylic latex impregnating and film-forming stain(type 2)
- C - acrylic latex impregnating and film-forming stain(type 3)
- D - alkyd impregnation stain (solvent base) and acrylic latex film-forming stain (type 1)
- E - alkyd impregnation stain and alkyd film-forming stain (both on solvent base)

The specimens with a diameter of 50mm, approximately 2mm thick, were made from the finished unweathered samples and the samples that were tested before in the accelerated weathering device for 500 hours which corresponds to a year's outdoor exposure.

The testing procedure used was the Cup Method in accordance with DIN 53122 and DIN 52615, modified to suit the conditions at the Laboratory for Wood finishing. The specimens placed into metal cups were put into the climate chamber, where an air humidity of 65% and a temperature of 23°C were established by means of a saturated NaNO₂ water solution.

The difference between partial water pressures under and above the specimen caused diffusion in the direction from higher air humidity (app. 100%) to air with lower humidity (65%). After a few days the steady-state diffusion took place. The weight of the cup was measured every 24 hours. The permeability coefficient of a single film was calculated.

The statistical analysis of the data confirmed the differences between the untreated and weathered specimens with regard to their water-vapour permeability. All the specimens showed a decrease in permeability in the period of 500 hours of accelerated weathering, which corresponds to the research of HULDÉN / HANSEN 1985 and SELL 1976. The decrease of permeability of the acrylic films was comparatively lower than the decrease of alkyd and the combined type D. Relations between water-vapour permeability and water uptake during the accelerated weathering test can be found only by samples D. The best characteristics, such as low water uptake during weathering and relatively high (compared to the alkyd type E) water-vapour permeability, were found at acrylic films B and C with more than a two times higher permeability coefficient of the type C. When considering the fact that the durability of exterior finishes is determined also by the relation between the permeability of unweathered and weathered films (HORA / BÖTTCHER 1994), it is possible to characterise the acrylic type surface coating B as appropriate. The relatively high permeability of C samples means larger dimensional changes of wood and the wood-coating system due to the stronger influence of the changing climate. Finally this can lead to deterioration of the film by cracking.

Zahvala

Raziskavo je poleg Biotehniške fakultete, Oddelka za lesarstvo, sodelavcev Katedre za pohišstvo, omogočilo tudi podjetje Color iz Medvod z vzorci premaznih sredstev. Za strokovno pomoč se zahvaljujemo tudi mag. Vladimirju Puhku in Borutu Kričejju.

VIRI

- AHOLA, P., 1991. Moisture transport in wood coated with joinery paints. - Holz als Roh- und Werkstoff 49, s. 428-432.
- BODNER, J. / JANOTA, O. / INDOME, G.H., 1989. Physikalische Abbauvorgänge bei Aussenanstrichen auf Wasser- und Lösungsmittelsbasis. - Holzforschung und Holzverwertung, 4, s. 59-62.
- HORA, G., / BÖTTCHER, P., 1994. Einfluß eines Anstrichsystems auf den Feuchtehaushalt von Fachwerkholz. - WKI-Mitteilung 606/1994, s. 1-4 .
- HULDÉN, M. / HANSEN, C.M., 1985. Water Permeation in Coatings. - Progress in Organic Coatings, 13, s. 171-194.
- MIHEVC, V. / KNEHTL, B. / ŽEPIČ, R., 1994. Vpliv vrste lazurnega premaznega sredstva na staranje sistema les - premaz. - Zbornik gozdarstva in lesarstva, 43, s. 209-224.
- PERERA, D. Y., 1980. Hygric Aspects of Coated Porous Building Materials. - Progress in Organic Coatings, 2, s. 183-206.
- SCHMITZ, G. / EMMERICH, D., 1969. Eigenschaften und Anwendung von Produkten für die transparente Oberflächenbehandlung von Holzfenstern. - Holz-Zentralblatt, 136, s.2089-2091.
- SELL, J., 1976. Zeitliche Änderung der Wasserdampfdurchlässigkeit von wetterbeanspruchten Holzaußenanstrichen. - Farbe und Lack, 10, s. 902 - 905.
- SELL, J., 1985. Physikalische Vorgänge in wetterbeanspruchten Holzbauteilen. -Holz als Roh- und Werkstoff 43, s. 259-267.
- VERMEULEN, J.R., EIKENAAR, J.J., VAN DER LEEUW, F.,1973. Wasserdampfdurchlässigkeit transparenter Anstrichmittel auf Holz in Fassaden. - Holz-Zentralblatt, 99, s. 1753-1756.
- WASSIPPAUL, F. / JANOTTA, O., 1972. Die Wasserdampfdurchlässigkeit von Anstrich-mitteln. 1.Teil, Holzforschung und Holzverwertung, 4, s.74-80.