

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

**POSOUZENÍ VLIVU STÁRNUTÍ NA TEPELNÉ CHARAKTERISTIKY
MASIVNÍHO A LEPENÉHO LAMELOVÉHO DŘEVA DUBU LETNÍHO**

Diplomová práce

Autor: Bc. Petr Horák

Vedoucí práce: Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Petr Horák

Dřevařské inženýrství

Název práce

Posouzení vlivu stárnutí na tepelné charakteristiky masivního a lepeného lamelového dřeva dubu letního

Název anglicky

Assessment of the effect of aging on the thermal characteristics of solid and glued laminated oak wood

Cíle práce

Cílem práce je analyzovat vliv přirozeného i umělého stárnutí na tepelnou vodivost, tepelnou difuzivitu a objemovou tepelnou kapacitu masivního a lepeného lamelového dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.). Zároveň bude posouzen i vliv povrchové modifikace dřeva penetračním prostředkem aplikovaným za účelem zlepšení kvality lepeného spoje.

Metodika

- 1) Zpracovat literární rešerši o dané dřevině, stárnutí dřeva, lepení dřeva a posuzovaných vlastnostech.
- 2) Připravit zkušební tělesa „paralelně“ po délce tak, aby byla eliminována v co největší míře „nehomogenita“ dřeva, a to i s ohledem na lepené a zároveň i modifikované (penetrované) vzorky.
- 3) Přístrojem ISOMET 2114 (s použitím plošné sondy) změřit tepelné charakteristiky na zkušebních těleších a poté provést jejich stárnutí. Následně opět realizovat měření tepelných charakteristik. Experimenty v každém případě zahrnují stanovení hustoty, a doporučuje se i zařazení měření barvy a lesku. Vzorky před jakýmkoliv měřením budou na-klimatizovány v prostředí klimatizační komory s relativní vlhkostí vzduchu 65 % a teplotou 20 °C.
- 4) Výsledky statisticky zpracovat a interpretovat v textové, tabelární a grafické podobě.
- 5) Analyzovat rozdíly v tepelných charakteristikách dřeva před a po stárnutí, i s ohledem na lepení a penetraci, jejich možné příčiny pro danou dřevinu, a to i z pohledu užitkových vlastností.

Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran (bez příloh)

Klíčová slova

dub letní, dřevo, stárnutí, lepený spoj, penetrační prostředek, tepelná vodivost, teplotní vodivost, objemová tepelná kapacita, variabilita vlastností

Doporučené zdroje informací

- BORŮVKA, V., BABIAK, M. (2016). Vlastnosti dřeva v příkladech, 1. vyd. Praha ČZU. 139 s.
- ČSN EN 12664. (2001). Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Suché a vlhké výrobky o středním a nízkém tepelném odporu.
- ČSN EN 12667. (2001). Tepelné chování stavebních materiálů a výrobků – Stanovení tepelného odporu metodami chráněné topné desky a měřidla tepelného toku – Výrobky o vysokém a středním tepelném odporu.
- HILL, C.A.S. (2006). Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes, John Wiley & Sons: London, UK. 260 s.
- KRÁNITZ, K., SONDEREGGER, W., BUES, C.T., NIEMZ, P. (2016). Effects of aging on wood: a literature review, Wood Sci Technol 50, 7–22.
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. (1997). Štruktúra a vlastnosti dreva, 2. vydání, Bratislava: Príroda. 485 s.
- REINPRECHT, L. (2016). Wood Deterioration, Protection and Maintenance, John Wiley & Sons, Oxford, United Kingdom. 376 s.
- ROHSENOW, W.M., HARTNETT, J.P., CHO, Y.I. (Ed.). (1998). Handbook of Heat Transfer, 3. vydání, McGraw-Hill Education: New York. 1520 s.
- TSOUMIS, G. (1991). Science and technology of wood – structure, properties, utilization. New York: Chapman and Hall. 497 s.
- ZOBEL, B. J., VAN BUITENEN, J. P. (1989). Wood variation, its causes and control. Springer-Verlag. Berlin. 363 s.
-

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Vlastimil Borůvka, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 3. 5. 2021

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2022

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci „Posouzení vlivu stárnutí na tepelné charakteristiky masivního a lepeného lamelového dřeva dubu letního“, jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetí osoby.

Jsem si vědom, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V.....dne.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat Ing. Vlastimilu Borůvkovi, PhD. za vedení během vypracovávání diplomové práce, panu Ing. Davidu Novákovi za pomoc při přípravě zkušebních vzorků a panu doc. Ing. Miloši Pánkovi, Ph.D. za seznámení s Xenontestem. Také bych chtěl poděkovat České zemědělské univerzitě v Praze za poskytnutí prostoru a vybavení k měření dat potřebných k vypracování této práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vlivem stárnutí na tepelné charakteristiky u masivního a lepeného lamelového dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.). Stěžejními posuzovanými vlastnostmi byla tepelná vodivost, tepelná difuzivita a objemová tepelná kapacita. Hodnocen byl mimo jiné také vliv stárnutí na povrchové vlastnosti jako jsou barva, lesk a drsnost. Stárnutí bylo prováděno třemi způsoby, a to přirozeně, uměle s vodním postřikem a uměle bez vodního postřiku. Změna vlastností byla měřena na zkušebních tělesech z masivního dřeva, lepeného lamelového dřeva a lepeného lamelového dřeva s penetračním prostředkem.

Výsledky této práce ukazují, že největší vliv na posuzované vlastnosti má především voda, sluneční záření, resp. UV záření a nečistoty obsažené v atmosféře. Změny tepelné vodivosti se projeví v závislosti na daném způsobu stárnutí. Zatímco tepelná difuzivita vlivem stárnutí vždy klesala, Objemová tepelná kapacita naopak rostla.

Statistické významnosti posuzovaných vlastností jsou v práci graficky vyobrazeny pomocí dvou-faktorové analýzy ANOVA a tepelná vodivost a difuzivita je navíc doplněna Duncanovým testem.

Klíčová slova: Dub letní, dřevo, stárnutí, lepený spoj, penetrační prostředek, tepelná vodivost, teplotní vodivost, objemová tepelná kapacita, variabilita vlastností.

Abstract

This diploma thesis deals with the influence of aging on the thermal characteristics of solid wood and glued laminated timber of the oak wood (*Quercus robur* L.). The key properties assessed were thermal conductivity, thermal diffusivity and volume heat capacity. Among other things, the effect of aging on surface properties such as colour, gloss and roughness, was evaluated. Aging was performed in three ways, naturally, artificially with water spray and artificially without water spray. The change in properties was measured on test specimens made of solid wood, glued laminated wood and glued laminated wood with a penetrating agent.

The results of this work show that the greatest influence on the assessed properties has mainly water, solar radiation, resp. UV radiation and impurities in the atmosphere. Changes in thermal conductivity varied depending on the aging method, while thermal diffusivity always decreased due to aging and volume heat capacity increased.

The statistical significance of the assessed properties is graphically represented in the diploma thesis using two-factor analysis ANOVA and the thermal conductivity and diffusivity are additionally supplemented by the Duncan test.

Keywords: oak, wood, aging, glued joint, penetrating agent, thermal conductivity, thermal diffusivity, volume heat capacity, variability of properties

Obsah

1. Úvod	11
2. Cíle	12
3. Teoretický rozbor problematiky	13
3.1. Charakteristika dubu letního.....	13
3.2. Fyzikální vlastnosti dřeva.....	14
3.2.1 Povrchové vlastnosti	14
3.2.2 Tepelné charakteristiky	16
3.3. Chemické složení dřeva.....	19
3.4. Stárnutí dřeva.....	20
3.5. Lepení dřeva	23
3.5.1. Polyuretany	26
4. Metodika	29
4.1. Příprava vzorků	29
4.2. Experimentální měření	32
4.3. Stárnutí	35
5. Výsledky a diskuze	39
6. Závěr	53
7. Použitá literatura	55
8. Přílohy	62

Seznam obrázků a tabulek

Obrázek 1. Dub letní (deti.vls.cz/ 2022).

Obrázek 2. Cévy dubu v příčném řezu (patricny.com/ 2022).

Obrázek 3. Fourierův zákon (<https://docplayer.gr> 2022).

Obrázek 4. Spektrum slunečního záření (<https://netcam.cz/> 2022).

Obrázek 5. Reakce diisokyanátu s polyolem za vzniku polyuretanu (Lebeau and Ferry 2015).

Obrázek 6. Schéma lepeného vzorku (s penetrací) (autor).

Obrázek 7. Schéma uložení vzorků ve fošně (autor).

Obrázek 8. Hydraulický lis se vzorky (foto autor).

Obrázek 9. Klimatizační komora se vzorky (foto autor).

Obrázek 10. Spektrofotometr Konica Minolta CM-700d (foto autor).

Obrázek 11. Spektrofotometr Konica Minolta CM-700d (foto autor).

Obrázek 12. Leskoměr KJS 268-F2 (foto autor).

Obrázek 13. Drsnoměr Taylor and Hobson (foto autor).

Obrázek 14. Drsnoměr Taylor and Hobson (foto autor).

Obrázek 15. ISOMET 2114 (foto autor).

Obrázek 16. Vzorky ve vnější expozici (foto autor).

Obrázek 17. Xenonová oblouková komora Q-SUN Xe-3 (foto autor).

Obrázek 18. Delaminace vzorku po umělém stárnutí s postřikem (foto autor).

Obrázek 19. Vzorek po umělém stárnutí bez postřiku (foto autor).

Obrázek 20. Vzorek po přirozeném stárnutí (foto autor).

Obrázek 21. Vzorek po umělém stárnutí s vodním postřikem (foto autor).

Tabulka 1. Tepelná vodivost vybraných materiálů (Brunecký 2009).

Tabulka 2. Třídy trvanlivosti lepidel (Tesařová et al 2014).

Tabulka 3. Rozdíl průměrných hodnot tepelných charakteristik, před a po stárnutí vyjádřen v procentech (%) (autor).

Tabulka 4. Rozdíl průměrných hodnot fyzikálních vlastností, před a po stárnutí vyjádřen v procentech (%) (autor).

Tabulka 5. Průměrné hodnoty tepelných charakteristik před a po stárnutí pro zkušební tělesa z masivního dřeva (autor).

Tabulka 6. Průměrné hodnoty tepelných charakteristik před a po stárnutí pro zkušební tělesa z lepeného lamelového dřeva (autor).

Tabulka 7. Průměrné hodnoty tepelných charakteristik před a po stárnutí pro zkušební tělesa z lepeného lamelového dřeva s penetrací (autor).

1. Úvod

Dub letní (*Quercus robur* L.) je dřevina, která se na našem území vyskytuje již od nepaměti. Jedná se o majestátný strom, jehož houževnaté dřevo si lidé vždy považovali a využívali jej na výrobu nejrůznějších předmětů od nábytkářství, přes bednářství až po železniční pražce. S postupem času si dubové dřevo stále získává na hodnotě a je vyhledáváno nejen pro svou estetičnost z pohledu designérů, vysokou odolnost a stálost při výrobě nábytku, ale také pro svou trvanlivost v exteriéru.

Dřevo vystavené působení povětrnostních vlivů však podléhá degradaci a dochází k jeho přirozenému stárnutí, které má povětšinou negativní vliv na řadu vlastností.

Tato diplomová práce se věnuje tepelným charakteristikám, potažmo jejich změnám ve vztahu ke stárnutí dřeva. Jelikož se ale v dnešní době hlavně pro stavební účely využívá lepené lamelové dřevo, tak zkušební tělesa pro tento výzkum netvoří pouze masivní dřevo, ale také dřevo lepené. Pro zlepšení adheze lepidla v lepené spáře je často využívána speciální penetrace. Z tohoto důvodu je část vzorků opatřena touto úpravou.

Napříč dřevařskými komoditami, a zejména ve stavebnictví, je však ve větší míře využíváno jehličnaté řezivo. Pochopitelně je tomu tak zejména kvůli pravidelným válcovitým tvarům jehličnatých dřevin, které se ideálně zpracovávají, ale také vzhledem ke složení našich lesů. Avšak z pohledu vzrůstající tendence výsadby smíšených lesů a růstu procentuálního zastoupení listnatých dřevin na našem území je na místě, aby byly listnáče stále více zařazovány jako vstupní suroviny pro dřevařskou produkci. Z těchto a mnoha dalších důvodů se tato práce zabývá posouzením vlivu stárnutí na tepelné charakteristiky u masivního dřeva, ale také lepeného lamelového dřeva a lepeného lamelového dřeva s použitím penetrace u dubu letního.

Věřím, že tento výzkum rozšíří databázi informací o změně zmíněných vlastností v čase u této dřeviny a bude tak alespoň malým přínosem ve velkém světě vědy.

2. Cíle

Cílem této diplomové práce je analyzovat vliv přirozeného a umělého stárnutí na tepelné charakteristiky (tepelná vodivost, tepelná difuzivita, objemová tepelná kapacita) u masivního a lepeného lamelového dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.). Zároveň bude na vybraných zkušebních tělesech z lamelového dřeva posouzen vliv penetračního prostředku aplikovaného na lepené plochy pro dosažení kvalitnějšího lepeného spoje. Dále bude analyzován také vliv přirozeného a umělého stárnutí na povrchové vlastnosti (barva, lesk, drsnost) dřeva dubu letního.

3. Teoretický rozbor problematiky

3.1. Charakteristika dubu letního

Dub letní, latinsky *Quercus robur* L. Jedná se o listnatou, kruhovitě pórovitou dřevinu, která dorůstá výšky 20-30 m (viz obrázek 1). Seskupení cév v letním dřevě tvoří světlé zvlněné radiální řady, takzvané plaménce (viz obrázek 2). Dub letní je jádrová dřevina, jejíž jádro je široké a má žlutohnědou až tmavě hnědou barvu. Běl je naopak úzká a je barvy světle hnědé. Dřevina má mohutné dřeňové paprsky, které jsou dobře viditelné na všech řezech.

Z mikroskopického hlediska je u dřeviny častý výskyt thyl, perforace cév je jednoduchá. Dřeňové paprsky jsou dvou odlišných vrstevnatostí, a to jednovrstvé nebo mnohovrstvé. Axiální parenchym je apotracheální, v krátkých tangenciálních řadách.

Dřevo dubu letního a zimního od sebe nelze rozeznat. Řadí se k našim dřevinám s nejmohutnějšími dřeňovými paprsky. Když je dřevo dubu čerstvé, má charakteristický nakyslý pach díky vysokému obsahu tříslovin. Dlouhodobým uložením ve vodě dochází k tmavnutí dřeva, které se, pokud úplně zčerná, obchoduje pod názvem „bahenní dub“.

Dub letní patří k našim nejodolnějším dřevinám vůči povětrnosti a biotickým činitelům. Jeho hustota se pohybuje okolo 720 kg/m^3 . $\lambda_L = 0,340 \text{ W/m.K}$, $\lambda_R = 0,173 \text{ W/m.K}$, $\lambda_T = 0,170 \text{ W/m.K}$. Používá se zejména pro výrobu nábytku, parket, schodů, dých, překližek atd. (Zeidler and Borůvka 2016)



Obrázek 1. Dub letní (deti.vls.cz/ 2022).

Obrázek 2. Cévy dubu v příčném řezu (patricny.com/ 2022).

3.2. Fyzikální vlastnosti dřeva

Fyzikální vlastnosti u dřeva lze většinou zjistit bez použití destruktivních metod zkoušení, či narušení celistvosti, nebo jeho chemického složení. Řadíme mezi ně hustotu, vlhkost (bobtnání a sesychání), tepelné vlastnosti (teplotní roztažnost dřeva, přenos tepla ve dřevě, výhřevnost dřeva, tepelná konduktivita, tepelná difuzivita atd.), elektrické a magnetické vlastnosti dřeva, akustické vlastnosti dřeva, optické/povrchové vlastnosti (barva, lesk, drsnost). (Požgaj et al. 1993)

3.2.1 Povrchové vlastnosti

Barva

Třísloviny, barviva a pryskyřice obsažené v lumenech a buněčných stěnách dřeva způsobuje zbarvení dřeva. Dřevo, jako většina jiných materiálů, je schopno pohlcovat a odrážet sluneční záření. To má za následek jeho fotodegradaci, a tudíž barevné změny. Dřevo může působením slunečních paprsků tmavnout, nebo při synergii povětrnostních vlivů, jako je slunce, voda a vítr (prach), dřevo šedne. Změna barvy u dřeva odráží jeho

chemické změny způsobující fotodegradaci (Temiz et al. 2007). Chemické složení se však v závislosti na odlišných druzích dřevin mění a často se liší i v rámci stejného druhu. Chemické složení je dáno organickými látkami, tj. celulózou, hemicelulózou a lignin. Dále dřevo obsahuje extraktivní látky, které většinou dodávají dřevu tmavší odstín. Dřevo bohaté na extraktivní látky mívá často charakteristický pach, barvu a další nemechanické vlastnosti (Feist a Hon 1984). Barva dřeva se mění především vlivem slunečního záření, tepla, různých mikroorganismů, nebo například kontaktem s kovy (vruty, hřebíky, atd.). Obvykle synergickým vlivem těchto faktorů dochází k chemickému narušení ligninu a extraktivních látek, které jsou následně působením srážkové vody ze dřeva vyplavovány (Tolvaj and Faix 1995; Pandey 2005).

Podle barvy rozdělujeme dřeva na skupiny:

- Bledých dřev (smrk, jedle, habr a jiné),
- hnědých dřev (dub, jasan, jilm, ořech a jiné),
- červených dřev (borovice, modřín, dub cerový, třešeň, olše a jiné),
- zelených dřev (akát a jiné). (Čunderlík 2009)

Barva dřeva se měří za pomoci přístrojů zvaných kolorimetry, nebo spektrofotometry. (Kafka 1989)

Lesk

Lesk dřeva přímo ovlivňuje struktura dřevních pletiv a dále také řezná plocha a kvalita opracování povrchu. Dřevo o vyšší hustotě má také vyšší lesk než dřevo s hustotou nižší, které je více pórovité. Dřevo má schopnost směrově odrážet viditelné spektrum slunečního záření. Největší schopnost odrážet světelný tok mají dřeňové paprsky. Dřeňové paprsky na radiálním řezu tvoří takzvaná „zrcátka“. Proto nejvyšší lesk pozorujeme na radiálním řezu. Naopak nejnižší lesk budeme pozorovat na řezu příčném, kde je také patrná největší pórovitost.

Lesk dřeva se měří pomocí leskoměru, který měří lesk pod různými úhly dopadu, obvykle 20°, 60°, 80°. (Kafka 1989, Čunderlík 2009)

Drsnost

Drsnost je chápána jako míra nerovnosti povrchu (Hiziroglu 1996). Vlivem stárnutí, a tudíž působením UV záření a vody, se drsnost povrchu dřeva zvyšuje (Feist 1990). Následkem fotodegradace jsou vyplaveny malé částičky, zejména lignin. Toto vyplavování z povrchu dřeva způsobuje zvýšení jeho drsnosti. Působení vlhkosti způsobuje zdvihání vláken, nebo nerovnoměrnou erozi jarního a letního dřeva kvůli rozdílné hustotě. Tím pak také drsnost povrchu narůstá (Williams and Feist 1999). Dále pak vlivem bobtnání a sesychání, nebo vlivem rozdílných teplot (např. mrznutím) mohou vznikat trhliny, které mají taktéž za následek vyšší drsnost povrchu (Feist 1990; Ozgenc et al. 2013).

Drsnost povrchu je samozřejmě také ovlivněna stupněm opracování povrchu dřeva (Aslan et al. 2008).

Drsnost povrchu se měří drsnoměrem, který může být kontaktní (hrotový), nebo optický.

3.2.2 Tepelné charakteristiky

Přenos tepla ve dřevě

Přenos tepla ve dřevě se může vyskytovat ve třech základních formách, jimiž jsou vedení, proudění a sálání. Vedení tepla (kondukce) je způsob, kdy dochází k přenosu energie hmotným prostředím, jehož objemové elementy zůstávají v klidu. U proudění tepla (konvekce) dochází k přenosu energie v hmotném prostředí, kde ale objemové elementy vykonávají translační pohyb. Sálání tepla neboli radiace je tvořena vyzařováním nebo přijímáním energie, která má formu záření. Při tomto druhu přenosu tepla není na přenos energie mezi dvěma tělesy potřebné hmotné prostředí a radiace může probíhat i ve vakuu. Při přenosu tepla ve dřevě je však podíl konvekce a radiace velmi malý, proto se celý přenos popisuje spíše jako vedení tepla a do korekcí přenosových charakteristik na dané podmínky jsou zahrnuty případné odchylky. Pokud by se však jednalo o speciální případy, jako například přenos tepla ve vakuu, tak by se mohly tyto dva typy přenosu projevit významněji. (Borůvka and Babiak 2016)

Vedení tepla je popsáno Fourierovým zákonem (viz obrázek 3), který nám říká, že teplo se šíří z místa o větší teplotě do místa, kde je teplota nižší. Vektor hustoty

tepelného toku q má stejný směr ale opačnou orientaci jako vektor tepelného gradientu. Tepelný gradient je přímo úměrný hustotě tepelného toku. Matematicky ho lze vyjádřit pomocí Fourierova zákona (viz vzorec 1). (Kupilík 2006)

$$q = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Kde jsou:

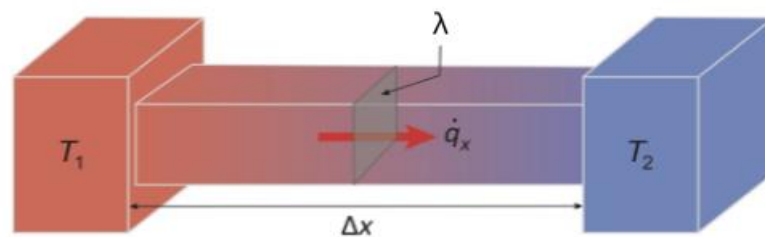
q - rychlost přenosu tepla [W/s],

λ - tepelná vodivost materiálu [W/m.K]

A - plocha průřezu, ze které prochází teplo [m²]

ΔT - teplotní rozdíl mezi teplou a studenou stranou [K]

Δx - tloušťka materiálu mezi horkou a studenou stranou [m].



Obrázek 3. Fourierův zákon (<https://docplayer.gr> 2022).

Tepelná vodivost

Nebo také součinitel tepelné vodivosti. Značí se λ . Udává schopnost materiálu/látky vést teplo. Jedná se o číselné vyjádření množství tepla, procházející v ustáleném tvaru jednotkovým průřezem látky, při jednotkovém teplotním gradientu za jednotku času (<https://ceg.fsv.cvut.cz/> 2022). Koeficient vyjadřuje schopnost materiálu vyrovnávat teplotní rozdíly (viz tabulka 1). Je patrné, že dřevo je relativně dobrým tepelně izolačním materiálem, a to zejména ve směru kolmo na vlákna. Za dobrými tepelně izolačními vlastnostmi stojí, mimo jiné, také pórovitost dřeva, jelikož suchý vzduch, který je v pórech, je velmi dobrým izolantem. Díky těmto hodnotám mají dřevěné konstrukční prvky vysokou odolnost vůči ohni. Relativně dlouhá doba, potřebná

ke změně teploty v objemu dřeva společně s měrným teplem, činí ze dřeva ideální materiál pro tlusté obvodové zdi. (Brunecký 2009)

Součinitel tepelné vodivosti λ je definován Fourierovým zákonem (viz vzorec 1).

Tabulka 1. Tepelná vodivost vybraných materiálů (Brunecký 2009).

Materiál	Koeficient tepelné vodivosti λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
dřevo \perp ($w = 12\%$)	0,12–0,18
dřevo \parallel ($w = 12\%$)	0,25–0,45
dřevní substance \perp	0,44
dřevní substance \parallel	0,88
vzduch	0,024
voda	0,59
cihla	0,70
beton	0,93
sklo	1,05
kámen	1,80
ocel	20,0
hliník	202,0
měď	396,0

Objemová tepelná kapacita

Značíme ji c_p , nebo c_{ob} a vyjadřuje množství tepla, které je zapotřebí k ohřátí 1 m^3 látky o teplotě $1\text{ }^\circ\text{C}$. Vyjadřuje tedy akumulační vlastnosti m^3 daného materiálu. Vypočítá se jako měrná tepelná kapacita vynásobena hustotou.

Měrná tepelná kapacita udává, jaké množství tepla je potřeba ke zvýšení teploty jednoho kilogramu látky o jeden stupeň Celsia nebo Kelvina (<https://ceg.fsv.cvut.cz/> 2022). Pro absolutně suché dřevo při teplotě $0\text{ }^\circ\text{C}$ se průměrná hodnota měrného tepla uvádí cca $1,45\text{ kJ/kg.K}$. Měrné teplo však závisí na teplotě a vlhkosti dřeviny. (Brunecký 2009)

Tepelná difuzivita

Nebo také součinitel teplotní vodivosti. Značí se α . Vyjadřuje schopnost látky vyrovnávat rozdílné teploty při neustáleném šíření tepla vedením v homogenním prostředí. Je rovna podílu tepelné konduktivity a součinu její objemové hmotnosti a měrné tepelné kapacity při stálém tlaku. (<https://ceg.fsv.cvut.cz/> 2022)

Tyto veličiny jsou svázány následujícím vztahem.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad (2)$$

Kde jsou:

α - součinitel teplotní vodivosti [m^2/s]

λ - součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$]

ρ - objemová hmotnost [kg/m^3]

c - měrná tepelná kapacita materiálu [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$].

3.3. Chemické složení dřeva

Vliv extraktivních látek na trvanlivost dřeva

Z pohledu trvanlivosti vůči degradačním činitelům má největší vliv chemické složení dřevin, jelikož zasahuje do všech vyšších strukturálních hladin. Dřevo je tvořeno zejména celulózou, hemicelulózami a ligninem. V závislosti na druhu dřeviny se procentuální zastoupení jednotlivých složek liší, ale z hlediska trvanlivosti jsou rozdíly takřka zanedbatelné. Podstatnou složkou, která má naopak na trvanlivost dřeva velký vliv, je podíl extraktivních látek. Ten není procentuálně vysoký, avšak složení se u jednotlivých dřevin značně liší, a to nejen mezi odlišnými druhy, ale také v rámci jedné dřeviny podle podloží, místa a podmínek, ve kterých strom roste. Chemické složení může ovlivnit trvanlivost dřeviny jak pozitivně, tak i negativně, například když dřevina obsahuje větší podíl látek bílkovinného charakteru nebo jednoduché cukry, které pak podporují růst dřevokazných hub. Ve většině jsou ale extraktivní látky složkou, jejichž přítomností je degradace dřeviny omezena a zpomalena. Trvanlivost nejvíce prodlužují

toxické látky, jako jsou například alkaloidy. Důležitá je především jejich koncentrace ve dřevě, přičemž právě dub letní, kterým se tato práce zabývá, má z našich dřevin obsah tříslovin nejvýznamnější. Právě tmavší jádro dřevin obsahuje větší podíl extraktivních látek. (Reinprecht and Pánek 2016)

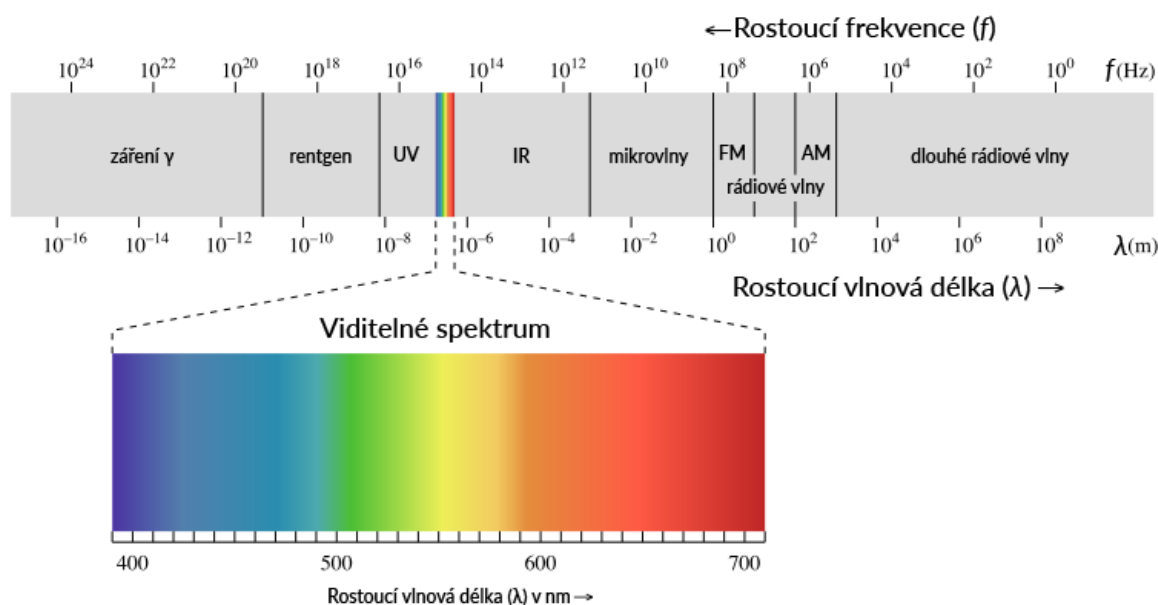
3.4. Stárnutí dřeva

Přirozené stárnutí

Tento způsob stárnutí modifikuje molekulární strukturu dřeva prostřednictvím komplexních kombinací chemických, mechanických, biologických a světlem indukovaných změn, které působí synergicky (Feist 1992). Stárnutí dřeva je zapříčiněno povětrnostními vlivy při vnější expozici. Na dřevo tak působí abiotičtí činitelé, kteří způsobují jeho degradaci. Míra degradace se odvíjí od hustoty, obsahu extraktiv, ligninu, orientace letokruhů, nebo podílu jarního a letního dřeva (Williams 2005). Atmosferická degradace ale nezpůsobuje hloubkové poškození dřeva a neovlivňuje tak nijak zásadně důležité mechanické vlastnosti a životnost dřevěného prvku (Gobakken et al. 2011). Přestože abiotičtí činitelé nezpůsobují degradaci dřeva v celém objemu, ale spíše jen v řádech několika milimetrů od povrchu (Evans 2008), kvůli vyplavování extraktiv, šedivění, zvyšování vlhkosti a tvorbě trhlin (Ozgenc et al. 2012) se pak dřevo stává méně odolným vůči činitelům biotickým, jako je hmyz, dřevokazné houby, hniloby a plísně (Reinprecht 2012). Na rozdíl od interiéru, kde je hlavním degradačním činitelem především sluneční záření, v exteriéru je činitelů více (sluneční záření, vlhkost, vítr, teplota, nečistoty atd.). Zatímco vlivem slunečních paprsků probíhají v povrchových vrstvách dřeva fotochemické reakce, které zapříčiňují rozklad ligninu, a tím pádem jeho tmavnutí, vlivem srážek se pak lignin vyplavuje a dřevo následně světlá. Vlivem proudění vzduchu a vznosu nečistot, které se mohou usazovat v povrchových prasklinách a pórech dřeva, se pak barva opět mění a dřevo zešedne (Gupta et al. 2001, Tolvaj and Faix 1995, Pandey 2005, Evans 2008).

Nejvíce se o atmosférickou degradaci a fotochemické procesy zaslouhuje sluneční záření, jehož vlivem dochází k rychlému zežloutnutí, nebo až zhnědnutí dřeva (Tolvaj and Faix 1995, Hon and Shiraishi 2001, Müller et al. 2003). U světlejších dřevin dochází k jejich ztmavnutí a u tmavších dřevin je tomu naopak (Dawson et al. 2008). Sluneční

záření je projevem elektromagnetického vlnění, které má několik odlišných vlnových délek. Základní rozdělení čítá tři skupiny, jimiž jsou: ultrafialové záření, které má vlnovou délku menší než 390–400 nm, viditelné záření s vlnovou délkou 390–760 nm a infračervené záření, které má vlnovou délku větší než 750–4000 nm (viz obrázek 4). Větší energii je schopné generovat záření o kratších vlnových délkách. Nejpodstatnějším zářením pro degradaci dřeva je ultrafialové (UV), které, byť je ve spektru zastoupeno jen pouhými 5 %, způsobuje 95 % degradace dřeva. Na degradaci se ale podílí i záření viditelné a infračervené (Tolvaj and Mitsui 2005).



Obrázek 4. Spektrum slunečního záření (<https://netcam.cz/> 2022).

Množství dopadajícího záření se liší v závislosti na několika faktorech, jako je například roční období, denní doba, oblačnost, nadmořská výška, nebo ozonová vrstva (Ulbrichová 2015). Dřevo absorbuje sluneční záření, a jak již bylo řečeno, záření je forma elektromagnetického vlnění, které generuje jisté množství energie. Dřevo vystavené slunečnímu záření pak tuto energii absorbuje a pokud je energie větší, než jsou schopny snést chemické vazby ve dřevě, dochází k jejich narušení a následné degradaci (Ranby and Rábek 1975). Záření proniká do hloubky pouze několika μm až mm (Williams 2005), přesto však dochází vlivem řetězových reakcí k degradaci ve větších hloubkách, než je dosah záření (Kataoka and Kiguchi 2001). Mnohem větší vliv na degradaci dřeva má UV záření v synergii s vodou, která vyplavuje z povrchu částičky po fotochemické degradaci a vlivem následných trhlin se může záření dostat hlouběji než dříve (Anderson et al. 1991). Voda může působit buď přímo jako voda srážková, nebo ve formě vlhkosti.

Dřevo vlivem vlhkostních změn bobtná a sesychá, a tím může docházet ke vzniku trhlin, které jsou následnou vstupní bránou pro biotické činitele a iniciují tak další stupně degradace. Na vzniku trhlin se spolu se změnou vlhkosti dřeva podílí také teplota, která může zapříčinit buď rychlé vysychání (a tedy následný vznik trhlin), a nebo naopak změnu vody z kapalného skupenství na pevné (led), který při svém zvětšení objemu způsobuje takzvané mrazové trhliny (Oberhofnerová 2018).

Dalším činitelem atmosférické degradace je vítr, který svým prouděním unáší různé prachové částice, působící na dřevo jako abrazivum (Oberhofnerová 2018). Jak se dřevo působením ostatních degradačních faktorů rozkládá, vítr také přispívá k odtrhávání a odnášení dřevních částic. Vzniká tak vlivem rozdílné hustoty jarního a letního dřeva plastická struktura, a to zejména u jehličnatých dřevin (Williams and Feist 1999). Úbytek hmoty vždy závisí na podmínkách, kterým je dřevo vystaveno a je-li nějakým způsobem chráněno či ošetřeno.

Dalším degradačním faktorem mohou být například kyselé deště nebo smog. Kyselé deště obsahují kyselinu, jejímž působením jsou rozkládány zejména hemicelulózy a amorfni složky celulózy ve dřevě (Raczkowski 1980). Ovzduší zatížené vysokou koncentrací smogu má pak za následek zachytávání tmavých částic v porézní struktuře dřeva a jeho následné zešedivění (Hon and Chang 1984).

Umělé stárnutí

Tento způsob stárnutí se aplikuje vystavením zkušebních vzorků vlivům simulujícím vnější prostředí. Provádí se v komorách, kde na vzorky působí UV záření, změna teploty, vlhkost a vodní postřik. Problémem tohoto přístupu je stanovení synergických efektů a interakcí mezi jednotlivými degradačními parametry. Stěžejním parametrem pro urychlení stárnutí je UV záření, které ideálně simuluje sluneční záření. Zkoušky umělých povětrnostních vlivů a urychlení stárnutí umožňují odhad potenciální dlouhodobé použitelnosti materiálu a pomáhají vědcům při výzkumu pochopit chemické změny a reakce probíhající během degradace dřeva (Feller 1994). Některé povětrnostní vlivy a podmínky lze simulovat v laboratoři pomocí klimatických zkušebních komor pro urychlení procesu stárnutí. Pokud jde o dřevo, nejčastěji se testuje odolnost vůči UV záření, změny teplot a vlhkosti, které simulují suchá a vlhká

období, tak jako se vyskytují v přírodě. (Yildiz et al. 2013, Cogulet et al. 2016, Liu et al. 2017)

3.5. Lepení dřeva

Jedná se o proces, při kterém dochází k trvalému spojení stejných, případně různých materiálů pomocí lepidel, nebo adheziv. V ideálním případě je vyžadováno, aby byla pevnost lepeného spoje vyšší než pevnost samotného lepeného materiálu. Pokud dojde k porušení, tak ve dřevě a nikoli v lepidle. S ohledem na druh dřeviny by lepený spoj měl odolat zatížení 5-11 MPa. (Osten 1986)

Smáčivost

Důležitou vlastností z pohledu lepení je smáčivost lepidla. Jedná se o schopnost lepidla, jak „ochotně“ se rozprostře po lepeném materiálu. Pro určení smáčivosti se měří kontaktní úhel, který svírá lepidlo a lepená plocha. Oba parametry jsou pak nepřímo úměrné, tudíž čím menší úhel je, tím větší je smáčivost. Pokud je kontaktní úhel příliš velký, znamená to, že je špatná smáčivost. Pakliže kontaktní úhel přesáhne 90° hovoříme o odpudivosti.

Další vlastnost, která přímo souvisí se smáčivostí, je povrchové napětí, a to jak lepidla, tak lepeného povrchu a jejich polarita. Protože lepidla mají skupiny, které jsou schopné reakce, jsou jejich molekuly orientovány jednostranně a jsou proto polární. Lepidla dobře smáčejí polární povrchy jako dřevo, papír, jiné deriváty celulózy, ale i kovy nebo sklo. Lepidlo však špatně smáčí nepolární materiály, jakými jsou například některé druhy plastů, nebo vosky. Takové materiály se ale dají před lepením upravit například oxidací a materiály se tak stanou polárnější. (Boublík, 1966, Ülker 2016)

Teorie lepení

Lepení je proces spojování dvou ploch stejného, nebo různého typu za použití lepidla, které musí být, pro zajištění dokonalého přilnutí k lepenému materiálu, v kapalném stavu. Na pevnost lepeného spoje mají vliv čtyři parametry, 1) adheze-přilnavost lepidla k lepenému povrchu, 2) koheze-soudržnost lepící hmoty, 3) smáčivost

lepeného povrchu kapalným lepidlem, 4) pevnost lepeného materiálu. (Boublík 1966, Kovačič 1980)

Vzhledem k tomu, že lepidla se používají k mnoha různým aplikacím na dřevo a taktéž jsou na lepené spoje kladeny rozdílné nároky, existuje relativně široká paleta jejich typů a použití (Vick 1999). Z chemického hlediska by se dala lepidla rozdělit podle původu na organická a anorganická. Rozdělení lepidel může být následující.

Podle původu:

1. Lepidla z přírodních obnovitelných zdrojů

a) živočišného původu

- glutinový kliš (kostní, kožní),
- kaseinový kliš (z mléčné bílkoviny),
- albuminový kliš (z krve jatečných zvířat),
- rybí kliš,

b) rostlinného původu

- škroby, kaučuky, deriváty celulózy, algináty, přírodní pryskyřice, rostlinné gumy, mouky, pektiny,

c) maltoviny (s minerálními pojivy)

- cementy, vodní sklo, asfalt, sádra.

2. Syntetická lepidla

a) termoreaktivní (termosetická, reaktoplastická)

- močovinoformaldehydová,
- melaminoformaldehydová,
- fenolformaldehydová,
- rezorcinolformaldehydová,
- epoxidová,
- polyuretanová,
- izokyanátová,

b) termoplastická

- disperzní vodou ředitelná,

-
- vinylová,
 - akrylátová,
 - tavná,

c) nereaktivní syntetická lepidla

- Roztoková,
- tlakově citlivá.

(Sedliačik and Sedliačik 1998)

Podle použité teploty při zpracování:

- za studena (20 až 30 °C),
- za zvýšené teploty (30 až 100 °C),
- za horka (nad 100 °C).

(Liptáková and Sedliačik 1989)

Podle způsobu vytvrdnutí spoje:

- odpařením vody, rozpouštědla;
- oddifundováním rozpouštědla;
- chemickou reakcí (iniciace reakce katalyzátorem, teplem nebo jejich kombinací)
- změnou skupenství (tavná lepidla)
- působením tepla, vzdušné vlhkosti apod.;
- zářením (UV, infračervené, mikrovlnné);
- tlakem (tlakocitlivá lepidla). (Tesařová et al 2014)

Podle vodovzdornosti:

- vysoce vzdorné (odolnost vůči studené i vařící vodě),
- vodovzdorné (odolnost vůči studené vodě),
- nevodovzdorné.

(Liptáková and Sedliačik 1989)

Dnes se pro lepení dřeva ve dřevařském průmyslu používají převážně lepidla syntetická. Dala tak vzniknout mnohým materiálům jako například vrstvené dřevo, třískové desky, lepené nosníky a další.

Syntetická lepidla mají na rozdíl od lepidel přírodního původu lepší vlastnosti, a to zejména voděodolnost, tepelnou odolnost, pevnost spoje, ale třeba také odolnost vůči bakteriím a plísním (Eisner a Berger 1958). Ve dřevozpracujícím průmyslu patří mezi nejpoužívanější lepidla disperzní, tavná, polyvinylacetátová (PVAc), polyuretanová, formaldehydová lepidla, močovinová lepidla a jejich kombinace. Disperzní lepidla se řadí do tříd D1-D4, a to podle trvanlivosti a reakci na vodu dle normy ČSN EN 204 (viz tabulka 2) (Tesařová et al. 2014). Mají velmi široké využití. Lepidla tavná se využívají například k olepování hran. Na nenáročné plošné lepení jsou využívána lepidla močovino formaldehydová (UF). Pro výrobu sendvičových panelů, konstrukčních spojů, CLT panelů a lepeného lamelového dřeva se využívá ve velké míře polyuretanové lepidlo (PUR). (Lear 2010)

Tabulka 2. Třídy trvanlivosti lepidel (Tesařová et al. 2014).

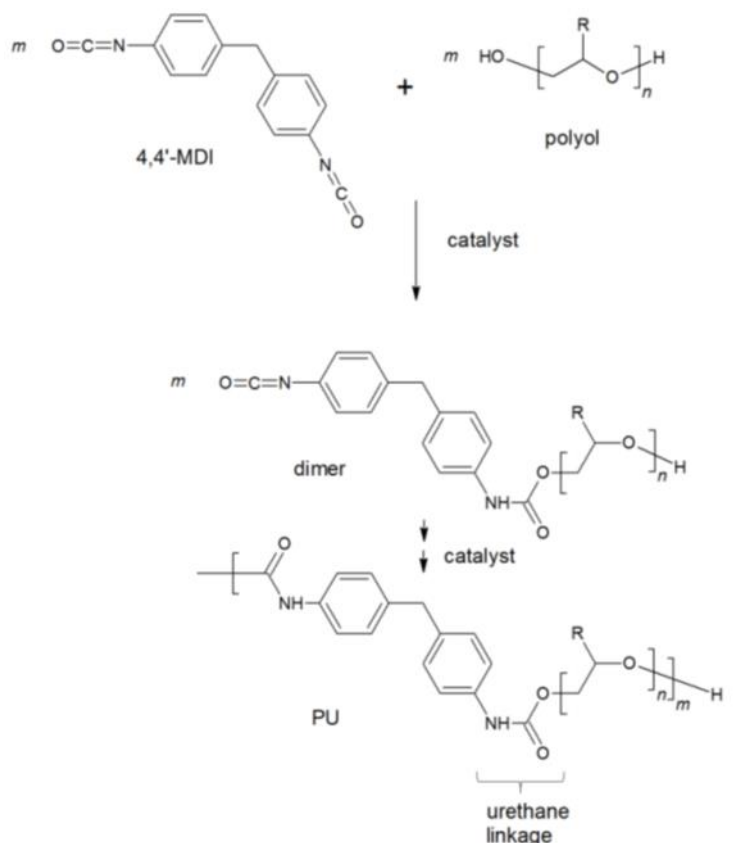
Třída trvanlivosti	Příklady klimatických podmínek a oblastí použití
C1–D1	Interiér, kde teplota překročí pouze příležitostně a krátkodobě 50 °C a vlhkost dřeva je maximálně 15 %
C2–D2	Interiér s příležitostným krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo občasnou vysokou vlhkostí vzduchu, jestliže nárůst vlhkosti dřeva nepřesáhne 18 %
C3–D3	Interiér s častým krátkodobým působením tekoucí nebo kondenzované vody a/nebo dlouhodobým působením vysoké vlhkosti vzduchu; exteriér chráněný před působením povětrnosti
C4–D4	Interiér s častým silným působením tekoucí nebo kondenzované vody; exteriér vystavený povětrnosti, který je opatřen přiměřenou povrchovou úpravou

3.5.1. Polyuretany

Polyuretany (PUR) byly objeveny profesorem Dr. Otto Bayerem ve 30. letech 19. století, který nechal reagovat vícesytné alkoholy (polyoly) s isokyanáty. Od 50. let 19. století pak polyuretany zaujímaly širokou škálu aplikací a staly se tak nejužívanějšími polymerními látkami na světě. (Joseph et al. 2018) Jejich složení je velice variabilní a záleží na jejich finálním využití, od kterého se pak odvíjí jejich formulace. Polyuretany

lze vidět ve formě pevných materiálů, pěn, vláken, nátěrových látek, anebo právě pro nás podstatných lepidel. (Lebeau and Ferry 2015)

Polyuretany vznikají reakcí diisokyanátů s polyoly v přítomnosti katalyzátoru (viz obrázek 5). Tento obrázek znázorňuje reakci běžného diisokyanátu s obecným polyolem (většinou se jedná o polyether nebo polyester) za vzniku polyuretanu.



Obrázek 5. Reakce diisokyanátu s polyolem za vzniku polyuretanu (Lebeau and Ferry 2015).

Rozdělení PUR lepidel

Jednosložková polyuretanová adheziva

Tato lepidla jsou nejvíce využívána u lepeného lamelového dřeva pro konstrukční účely (lepené lamelové dřevo, glulam). Jsou využívána jak pro šířkové lepení „na tupo“, tak pro délkové spájení na ozubové spoje. Jelikož na rozdíl od dvousložkových lepidel není potřeba míchání a příprava lepicí směsi, je jejich aplikace a používání velmi jednoduché. Jejich výhodou je také možnost lepení dřeva s vyšším obsahem vlhkosti

(nad 20 %). Naopak nevýhodou jsou jejich špatné lepicí vlastnosti při lepení dřeva s vlhkostí pod 8 %. (Beaud et al. 2006)

Dvousložková polyuretanová adheziva

Jak název napovídá, tato lepidla jsou tvořena dvěma složkami, jimiž jsou polyol a izokyanát. Tyto složky se musejí míchat v přesném poměru, což bývá často považováno za nevýhodu a je tudíž nahrazováno lepidly jednosložkovými, které jsou pro přípravu a aplikaci praktičtější při zachování stejných vlastností. Tato lepidla jsou proto využívána především ve velkých provozech, kde se lepicí směs míchá po větších várkách a příprava se tak vyplatí (Beaud et al. 2006).

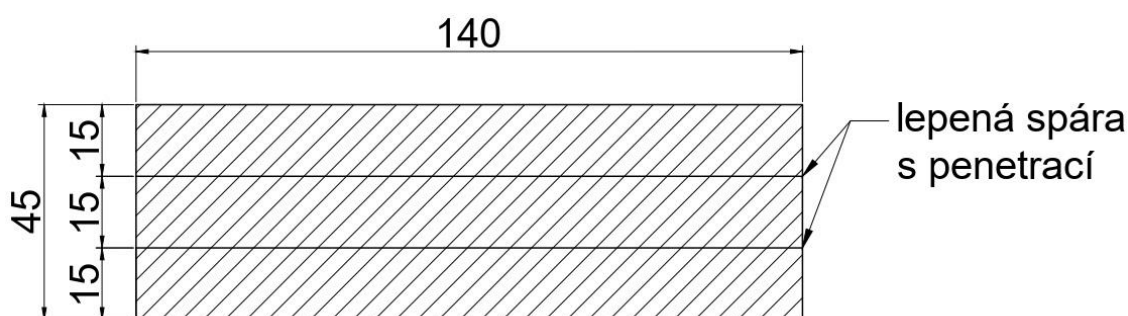
Termoplastická polyuretanová lepidla

Jedná se o polymery vykazující dvoufázovou mikrostrukturu, vznikající důsledkem chemické nekompatibility měkkého a tvrdého segmentu. Tvrdý tuhý segment se segreguje do sklovité nebo semikrystalické domény a polyolové měkké segmenty tvoří amorfní nebo gumovité matrice, ve kterých jsou tvrdé segmenty rozptýleny. TPU jsou používána například v automobilovém průmyslu, nebo v obuvnictví. (Baudrit et al. 2006)

4. Metodika

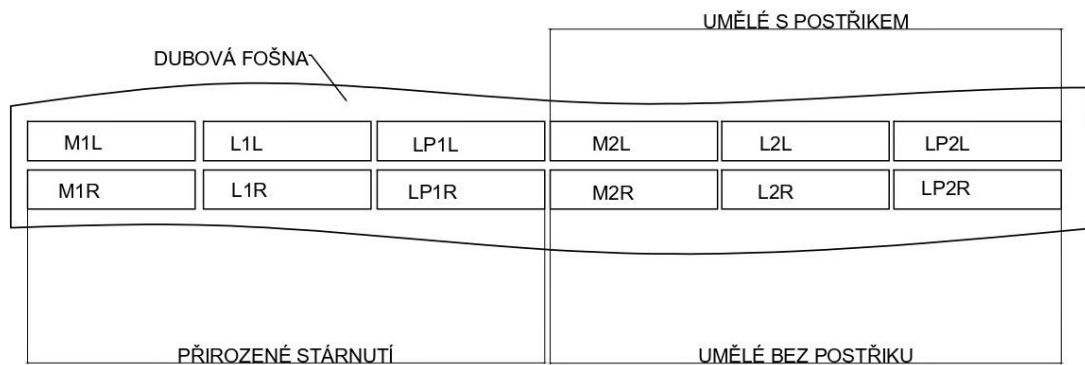
4.1. Příprava vzorků

Vzorky byly vyrobeny ze dřeva dubu letního (*Quercus robur* L). Z vysušené radiální fošny o rozměrech 4000x600x60 mm se vymanipulovalo 12 přířezů s nadmírou pro další opracování, přičemž rozměry finálních vzorků jsou 600x140x45 mm. Vzorky byly z fošny vymanipulovány podle schématu (viz obrázek 7), kde vzorky s počátečním písmenem M jsou vzorky masivní z jednoho kusu dubu. Vzorky začínající písmenem L jsou vzorky z lepených lamel, které byly z přířezu vymanipulovány a děleny tak, aby byla, pokud možno, co nejvíce zachována shodnost a návaznost s masivními vzorky. Snažili jsme se proto o minimalizaci řezné spáry mezi jednotlivými lamelami. Jednotlivé lamely jsou tlusté 15 mm. Další kategorií jsou vzorky značené LP, což znamená lepený lamelový vzorek s penetrací v lepené spáře (viz obrázek 6). Lepená spára byla ošetřena penetračním prostředkem „Soudal Hloubková penetrace interiéru/exteriéru“.



Obrázek 6. Schéma lepeného vzorku (s penetrací) (autor).

Základní rozměry přířezů byly nařezány na formátovací pile, následně byly přířezy rovnané na srovnávací frézce. Na konečné rozměry byly vzorky protaženy tloušťkovací frézku a egalizovány na širokopásé brusce o drsnosti papíru 180. Vzorky sestávající se z lepených lamel měly povrch lepené spáry pouze protažen tloušťkovací frézku pro lepší adhezi lepidla. Po slepení byl jejich povrch broušen rovněž širokopásou brusku.



Obrázek 7. Schéma uložení vzorků ve fošně (autor).

Penetrace

Povrch lepené spáry u penetrovaných vzorků byl opatřen penetračním prostředkem „SODAL Hloubková penetrace“. Jedná se o penetraci na akrylátové bázi, po zaschnutí ji lze odstranit pouze mechanicky, a proto je vhodná jak do interiéru, tak do exteriéru. Penetrace zajišťuje jednotnou savost porézních podkladů a v našem případě byla aplikována především z důvodu zlepšení adheze jednosložkového polyuretanového lepidla, které mohlo mimo jiné díky zvýšení vlhkosti lepeného povrchu také lépe zesítovat a vytvořit tak pevnější lepený spoj.

Penetrace byla nanášena štětcem na obě lepené plochy, a jelikož je dřevo relativně savý materiál, byla aplikována v neředěném stavu. Další specifikace produktu jsou popsány v technickém listu (viz příloha 12).

Lepení

Lamelové vzorky byly lepeny jednosložkovým polyuretanovým lepidlem ICEMA R 145/12 (technický list produktu viz příloha 13), které vytvrzuje působením vlhkosti. Dostačující je vlhkost obsažena ve vzduchu, popřípadě v lepené spáře. Pro urychlení reakce lze povrch potříit nebo postříkat vodou. Bez postříku je otevřená doba lepení 15 min., s postříkem 7 min. Lepidlo bylo nanášeno jednostranně v množství 200 g/m² a roztíráno stěrkou. Následně byl soubor lamel lisován ve vyhřívaném hydraulickém lisu pod tlakem 110 Barů (viz obrázek 8). Po vytvrzení byly lamelové vzorky rovněž protaženy a broušeny na jmenovité rozměry vzorku.



Obrázek 8. Hydraulický lis se vzorky (foto autor).

Klimatizace

Připravené vzorky byly kondicionovány v prostředí klimatizační komory ClimeEvent C/2000/40/3 (Weiss Umwelttechnik GmbH, Reiskirchen, Německo). V komoře byly parametry vzduchu nastaveny tak, aby výsledná absolutní vlhkost dřeva byla cca 12 %. Proto se kondicionování zkušebních těles provádělo až do ustálení rovnovážné vlhkosti dřeva v řízeném prostředí s teplotou vzduchu 20 ± 2 °C a relativní vlhkostí 65 ± 5 % (viz obrázek 9).



Obrázek 9. Klimatizační komora se vzorky (foto autor).

4.2. Experimentální měření

Referenční měření

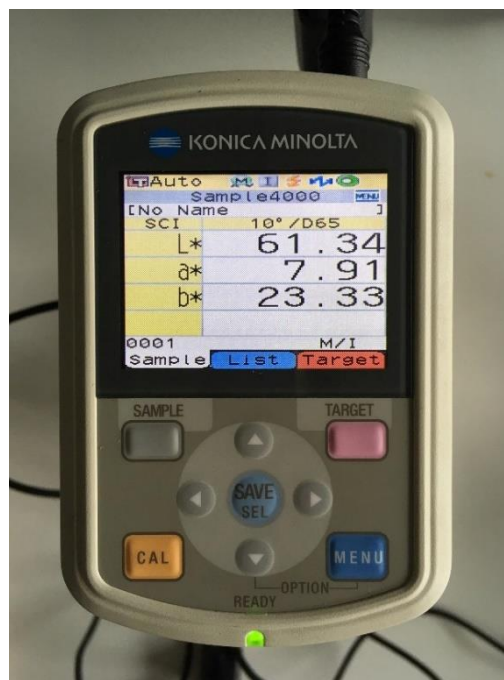
Po naklimatizování vzorků bylo provedeno naměření referenčních hodnot, přičemž se měřila hustota, barva, lesk, drsnost a tepelné charakteristiky jako tepelná konduktivita, tepelná difuzivita a objemová tepelná kapacita.

Hustota vzorku byla stanovena klasickou gravimetrickou metodou za použití digitálního posuvného měřítka s přesností na setiny mm a váhy s přesností na setiny g.

Standardní měření barvy (CIEL*a*b*) bylo provedeno na vzorcích pomocí spektrofotometru CM-700d (viz obrázky 10 a 11) v souladu s ČSN EN ISO 11664-4 a ČSN EN ISO 11664-6. Celkový barevný rozdíl dřeva vůči bílé barvě před a po stárnutí byl určen kolorimetrickým parametrem ΔE^* , který se vypočítá jako druhá odmocnina ze součtu druhých mocnin dílčích rozdílů (ΔL^* je rozdíl na ose jasu, Δa^* je rozdíl na ose zelená-červená a Δb^* je rozdíl na ose modro-žlutá (viz vzorec 3). Vyjadřuje tedy nejkratší vzdálenost mezi souřadnicemi standardu, v tomto případě bílou barvou a vzorkem v barevném prostoru.

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

Měření bylo prováděno na vybraných a následně vyznačených deseti místech (pět na každé straně) rovnoměrně rozmístěných po obou stranách vzorku.



Obrázek 10, 11. Spektrofotometr Konica Minolta CM-700d (foto autor).

Lesk byl měřen pomocí leskoměru MG268-F2 (viz obrázek 12) v souladu s ČSN EN ISO 2813, na osmi rovnoměrně rozmístěných místech na každém vzorku (4 z každé strany) pod úhly 20°, 60° a 85°, přičemž za směrodatné jsou považovány výsledky při úhlu 60°.

Dále byla stanovena hustota kondicionovaných zkušebních těles podle postupu popsaného v ČSN 49 0108. Jednotlivé zkušební vzorky byly zváženy pomocí laboratorních vah Kern PCB 2500-2 s přesností na 0,01 g. Rozměry zkušebních těles byly měřeny posuvným měřítkem Kinex 6040-27-150 s přesností na 0,01 mm. Pro výpočet hustoty ρ_w (kg/m³) byl použit obecný vzorec:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (4)$$

kde m_w (kg) je hmotnost vlhkého dřeva při absolutním obsahu vlhkosti w (%) a V_w (m³) je objem vlhkého dřeva při absolutním obsahu vlhkosti w (%), který se vypočítá podle následujícího vzorce založeného na ČSN 49 0103. Kde m_w (kg) je hmotnost vlhkého dřeva a m_0 (kg) je hmotnost absolutně suchého dřeva.

$$w = \frac{m_w - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (5)$$



Obrázek 12. Leskoměre KJS 268-F2 (foto autor).

Dalším doplňkovým měřením bylo měření drsnosti, které bylo prováděno na deseti místech na každém vzorku, a to ve směru kolmo na vlákna. Měřenými parametry byly R_a , R_z , RS_m a R_c . Kde R_a je střední aritmetická odchylka (μm), R_z je střední vzdálenost mezi pěti nejvyššími a pěti nejnižšími body zjištěného profilu od jeho střední čáry v délce měřeného úseku (μm), R_c udává průměrnou výšku prvků profilu v měřeném úseku (μm) a RS_m je pak průměrná šířka prvků profilů v měřeném úseku (μm). Drsnost povrchu byla měřena kontaktním drsnoměrem Taylor and Hobson (viz obrázek 13, 14).



Obrázek 13, 14. Drsnoměr Taylor and Hobson (foto autor).

Stěžejními měřenými vlastnostmi byly tepelná vodivost ($\text{W/m}\cdot\text{K}$), tepelná difuzivita (m^2/s) a objemová tepelná kapacita ($\text{J}/\text{m}^3\cdot\text{K}$). (Všechny tyto charakteristiky byly měřeny v tangenciálním směru). Pro stanovení těchto vlastností byl použit přístroj ISOMET 2114 (Applied Precision Ltd., Bratislava, Slovensko) aplikující dynamickou metodu měření, která umožňuje kratší časy měření ve srovnání s metodami měření v ustáleném stavu. Princip měření je založen na analýze teplotní odezvy analyzovaného materiálu při působení pulzů tepelného toku, přičemž tepelný tok je vybuzen elektrickým ohřevem odporového ohříváče vloženého do sondy, která je v přímém tepelném kontaktu s testovaným vzorkem. Přístroj tedy umožňuje současné měření

všech tří veličin metodou nestacionárního zdroje. Mezi těmito veličinami existuje vztah, viz vzorec 2.

K přístroji byla připojena povrchová sonda kalibrovaná pro rozsah tepelné vodivosti od 0,04 do 0,30 W/m.K; kde bylo provedeno pět měření na každé měřené ploše vzorku s časovým zpožděním 100 sekund a teplotním rozdílem 10,0 K. Příklad přístroje spolu se sondou a její umístění na vzorku je znázorněno na obrázku 15. (www.appliedp.com 2022)



Obrázek 15. ISOMET 2114 (foto autor).

Všechna jednotlivá měření byla označena a okódována pro jejich nezaměnitelnost a zopakování měření na tomtéž konkrétním místě po stárnutí vzorků.

4.3. Stárnutí

Pro proces stárnutí byly vybrány dvě metody, a to stárnutí přirozené a umělé. Pro variantu přirozeného stárnutí, které bylo aplikováno na polovinu zkušebních těles, byly vzorky vystaveny povětrnostním vlivům ve vnější expozice a sice na střeše Fakulty

lesnické a dřevařské. Vzorky byly uchyceny na střeše tak, že jedna strana směřovala na jih a druhá na sever. Vzájemně byly vzorky provázány přilepením k lištám, které zajišťovaly větší stabilitu při vystavení větru. Vzorky byly umístěné na stojato (viz obrázek 16).



Obr. č.: 16 Vzorky ve vnější expozici (foto autor)

Ve vnější expozici probíhalo stárnutí přesně 6 měsíců. Po sundání ze střechy byly odříznuty ze spojovacích hranolů tak, aby došlo, pokud možno, k co nejmenšímu úběru materiálu. Poté se řezy začistily brusným papírem a vzorky byly opět naklimatizovány při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %.

Druhá polovina vzorků byla vystavena umělé simulaci povětrnostních vlivů, které zajistila Xenonová oblouková komora Q-SUN Xe-3 (viz obrázek 17). Toto zařízení reprodukuje poškození způsobené celospektrálním slunečním zářením a deštěm. Během několika dní nebo týdnů dokáže tester Q-SUN reprodukovat poškození, ke kterému dochází po měsících nebo letech venku. Tester Q-SUN Xe-3 je komora pro světlostálost, barevnou stálost a fotostabilitu. Využívá tři samostatné xenonové výbojky pro velkou kapacitu. Má také volitelnou schopnost duálního spreje. To umožňuje nastříkat na zkušební vzorky druhou kapalinu, jako je kyselý déšť nebo mýdlové roztoky (www.q-lab.com 2022).

Uvnitř komory byly, vzhledem ke kapacitě prostoru, uloženy pouze 3 vzorky najednou. Na vzorky uvnitř komory působil vodní postřik, proudění vzduchu, změny

vlhkosti a UV záření. Jednotlivé cykly se střídají několikrát během dne. Aby umělé stárnutí, pokud možno co nejlépe korespondovalo s půlroční vnější expozicí, byla doba uložení vzorků odhadnuta na 720 hodin. „Black panel“ (podložka, na které jsou uloženy vzorky) byl nastaven na teplotu 80 °C, teplota vzduchu na 45 °C a relativní vlhkost na 30 %. Jelikož jsou vzorky uloženy na desce a xenonové lampy ozařují vzorky pouze shora, bylo třeba celý cyklus po 720 hodinách opakovat znovu, s tím, že vzorky byly otočeny.

Po aplikaci umělého stárnutí na první polovinu vzorků jsme se rozhodli, při druhé várce vynechat vodní postřik, a to proto, že po vyjmutí byly vzorky značně poničené. Vyskytovaly se četné hloubkové praskliny, lepené vzorky byly částečně delaminovány a zkrouceny (viz obrázek 18). Vyhodnotili jsme proto nastavené parametry jako příliš „drsné“ a druhá polovina vzorků byla vystavena umělému stárnutí v komoře již bez vodního postřiku. Ostatní nastavení zůstalo zachováno.



Obrázek 17. Xenonová oblouková komora Q-SUN Xe-3 (foto autor).



Obrázek 18. Delaminace vzorku po umělém stárnutí s postřikem (foto autor).

Měření po stárnutí

Po uplynutí šesti měsíců, kdy byla polovina vzorků vystavena vnějším vlivům a uběhnutí všech cyklů nastavených v Xenon testu, byla opět zkušební tělesa podrobena měření. Opakovalo se jak měření tepelných charakteristik, tak měření doplňkových vlastností.

Zpočátku byla všechna tělesa zvážena a změřena pomocí digitálních vah s přesností na 0,01 g a digitálního posuvného měřítka s přesností na 0,01 mm. Následně byla gravimetrickou metodou podle vzorce č. 4 zjištěna hustota jednotlivých vzorků, případně jejich rozdíl.

Data a výsledky studovaných vlastností byly zpracovány v grafické a tabulkové podobě pomocí programu STATISTICA verze 14.0.0.15. Základní popisné statistiky a dvou-faktorová analýza rozptylu (ANOVA) byly použity v programu STATISTICA k demonstraci trendů studovaných vlastností a charakteristik. Pro vícenásobné srovnání změn hodnocených vlastností a charakteristik v závislosti na způsobu stárnutí byl použit Duncanův test. Pro všechny statistické analýzy byla použita jednotná hladina významnosti = 0,05.

Před faktorovou analýzou ANOVA byla provedena analýza normality naměřených dat.

5. Výsledky a diskuze

Procentuální změny všech sledovaných charakteristik jsou uvedeny v tabulkách 3 a 4. Tabulky představují procentuální rozdíl před a po jednotlivých způsobech stárnutí. Tabulka 3 uvádí změny tepelných charakteristik a v tabulce 4 jsou uvedena procenta změn pro povrchové vlastnosti a hustotu dřeva. Změna hodnot jednotlivých sledovaných veličin vlivem stárnutí byla vztažena k hodnotám před stárnutím a prostřednictvím znaménka mínus byla vyjádřena jako pokles, respektive nárůst hodnoty v procentech.

Tabulka 3. Rozdíl průměrných hodnot tepelných charakteristik, před a po stárnutí vyjádřen v procentech (%). (autor).

	REF/ přirozené	REF/ umělé bez postřiku	REF/umělé s postřikem
Tepelná konduktivita	2,0	-4,5	-0,3
Tepelná difuzivita	-3,1	-5,9	-26,4
Objemová tepelná kapacita	5,2	1,5	26,5

Tabulka 4. Rozdíl průměrných hodnot fyzikálních vlastností, před a po stárnutí vyjádřen v procentech (%). (autor).

	REF/ přirozené	REF/ umělé bez postřiku	REF/umělé s postřikem
Světlost	13,4	-2,5	18,2
Barevný parametr a	-34,2	33,9	-64,5
Barevný parametr b	-25,5	24,7	-28,2
Lesk pod uhlem 60°	40,5	18,2	18,5
Ra	12,4	1,8	62,0
Rz	9,5	-3,1	55,4
Rc	7,3	-6,8	56,2
Hustota	0,3	-1,4	0,4

V tabulkách 5, 6 a 7 jsou uvedeny průměrné hodnoty pro jednotlivé skupiny zkušebních těles z pohledu úpravy. Statistická významnost rozdílů středních hodnot v závislosti na způsobu stárnutí a úpravě zkušebních těles je pak pro tepelnou vodivost a tepelnou difuzivitu znázorněna v příloze 10 a 11 prostřednictvím Duncanových testů.

Tabulka 5. Průměrné hodnoty tepelných charakteristik před a po stárnutí pro zkušební tělesa z masivního dřeva (autor).

Masiv			
	tepelná vodivost [W/m.K]	tepelná difuzivita 10^6 [m^2/s]	objemová tepelná kapacita 10^{-6} [$J/m^3 \cdot K$]
REF	0,141	0,861	0,164
přirozené stárnutí	0,143	0,750	0,173
umělé bez postřiku	0,134	0,817	0,164
umělé s postřikem	0,144	0,620	0,234

Tabulka 6. Průměrné hodnoty tepelných charakteristik před a po stárnutí pro zkušební tělesa z lepeného lamelového dřeva (autor).

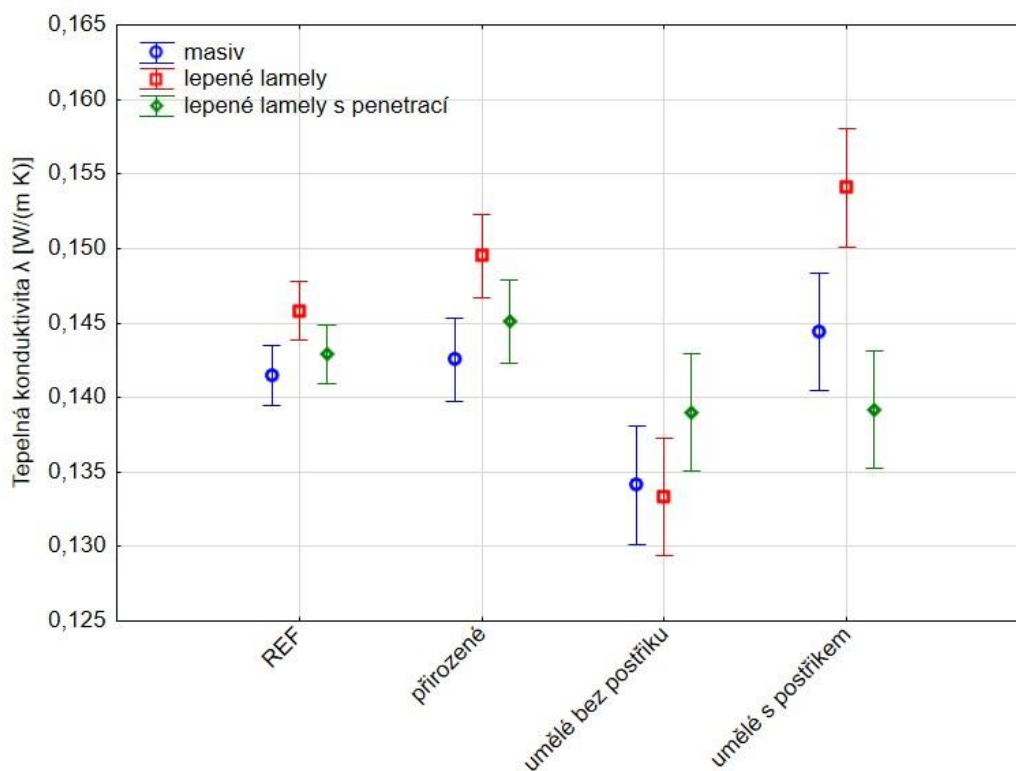
Lepené lamely			
	tepelná vodivost [W/m.K]	tepelná difuzivita 10^6 [m^2/s]	objemová tepelná kapacita 10^{-6} [$J/m^3 \cdot K$]
REF	0,146	0,883	0,165
přirozené stárnutí	0,150	0,788	0,173
umělé bez postřiku	0,133	0,799	0,167
umělé s postřikem	0,154	0,675	0,229

Tabulka 7. Průměrné hodnoty tepelných charakteristik před a po stárnutí pro zkušební tělesa z lepeného lamelového dřeva s penetrací (autor).

Lepené lamely s penetrací			
	tepelná konduktivita [W/m.K]	tepelná difuzivita 10^6 [m ² /s]	objemová tepelná kapacita 10^{-6} [J/m ³ .K]
REF	0,143	0,873	0,164
přirozené stárnutí	0,145	0,796	0,174
umělé bez postřiku	0,139	0,845	0,165
umělé s postřikem	0,139	0,640	0,218

Podrobné znázornění pro každou veličinu zvlášť je vyobrazeno v grafických výstupech výsledků faktorové analýzy ANOVA. Na jednotlivých grafech je vyobrazena změna sledované charakteristiky v závislosti na způsobu stárnutí, a to pro každou typovou skupinu vzorků zvlášť.

Na grafu 1 je graficky znázorněna tepelná konduktivita a její změny v závislosti na stárnutí vztaženy k jednotlivým úpravám zkušebních těles. Jak můžeme vidět již u referenčního měření, vzorky z lepených lamel statisticky významně převyšují svou tepelnou vodivostí zbylé dvě varianty, což uvádí také Vay et al. (2015). Vyšší tepelná vodivost u lepeného lamelového dřeva je s největší pravděpodobností způsobena obsahem polyuretanového lepidla v lepené spáře, přičemž vzorky bez penetrace byly ochotny přijmout více lepidla než vzorky ošetřené penetračním prostředkem. Pro referenční hodnoty vycházela v průměru tepelná vodivost 0,141 W/mK (viz tabulka 5). Hodnota 0,152 W/mK, kterou uvádí Vay et al. (2015) pro dub v tangenciálním směru se spíše blíží tepelné konduktivitě po přirozeném stárnutí pro lepené lamely, což byla průměrně nejvyšší tepelná vodivost (viz tabulka 6).



Graf 1. Tepelná vodivost v závislosti na způsobu stárnutí (autor).

Dále je z grafu patrné, že po přirozeném stárnutí se tepelná vodivost zvýšila a v případě masivního a lepeného lamelového dřeva statisticky významně. Tento rozdíl je detailněji znázorněn v příloze 1. Vzhledem ke vzniku trhlin a předpokládanému úbytku hmotnosti vlivem stárnutí, by bylo na místě předpokládat pokles vodivosti zkušebních těles, neboť vzduch obsažený v nově vzniklých trhlinách, jakožto dobrý tepelný izolant, by mohl tepelnou vodivost snížit. Podle naměřených dat tomu je ale naopak. Pravděpodobně tento nárůst nastal proto, že vzorky vystavené vnější expozici nevzdorují jen vodě a změně teplot, ale v nově vzniklých trhlinách se usazuje prach a nečistoty obsažené ve vzduchu. Právě tento fakt mohl zapříčinit, že se tepelná vodivost zvýšila. Vay et al. (2015) uvádí až 0,174 W/m.K, ale v tomto případě se jedná o měření v radiálním směru a zde lze přičíst rozdíl struktury dřeva na mikroúrovni, zejména orientaci celulózových mikrofibril, které silně ovlivňují tepelnou energii. (Eitelberger and Hofstetter 2011; Vay et al. 2013)

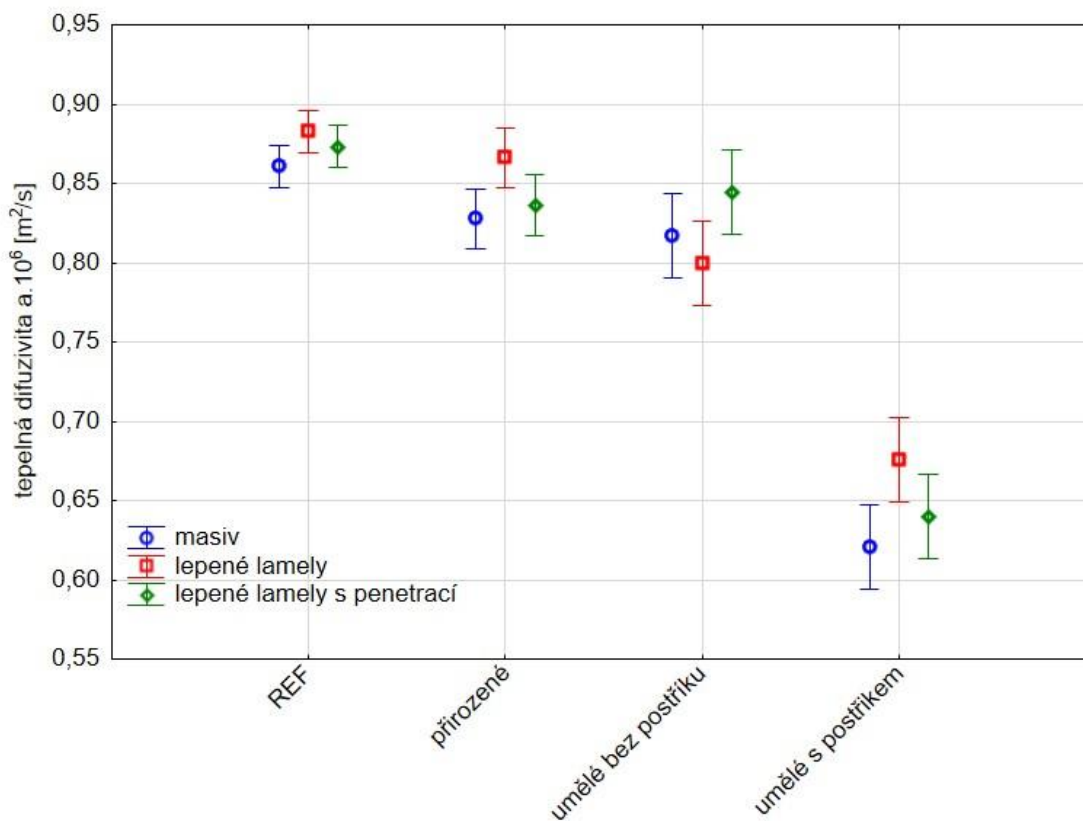
U umělého stárnutí bez vodního postřiku je výsledek přesně opačný, než tomu bylo u stárnutí přirozeného. Tato konkrétní změna je detailněji znázorněna v příloze 4. V tomto případě do procesu nevstupovala voda a výsledky měření mají ve všech případech opačný trend od zbylých variant. Na vzorky působilo pouze UV záření

a docházelo u nich tak k fotodegradaci. Pravděpodobně právě vlivem UV záření mohlo dojít k narušení chemických vazeb ve dřevě a narušením řetězových reakcí mohlo dojít k poklesu tepelné vodivosti. Ve všech případech byl pokles statisticky významný.

V případě umělého stárnutí s vodním postřikem je více vypovídající grafické znázornění v příloze 7, kde je patrné, že ani v jednom z případů nedochází ke statisticky významným změnám a hodnoty se extrémně nezměnily. Po nastalých změnách u předešlých případů, by se tak dalo říci, že tepelnou vodivost nemohl navýšit prach a částice obsažené v atmosféře, jako tomu bylo u stárnutí přirozeného a zároveň do procesu vstupovala také voda a nejednalo se pouze o fotodegradaci, jako u případu bez vodního postřiku. Nutno však podotknout, že se jedná o vodu destilovanou.

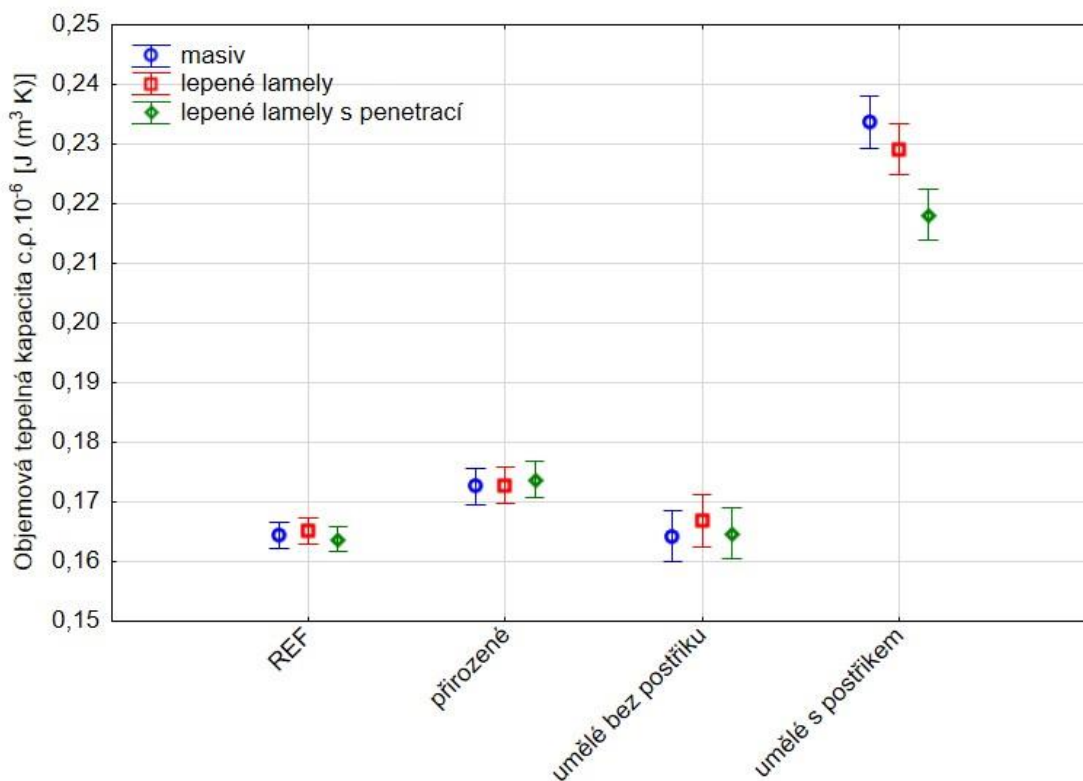
Můžeme vidět, že u umělého stárnutí s postřikem nastává mezi jednotlivými skupinami vzorků podstatně větší rozptyl než u předešlých typů stárnutí. Navíc lepené vzorky nabývají klesajícího trendu, jak ukazuje příloha 7. Toto je pravděpodobně zapříčiněno rozlepením vzorků (viz obrázek 18). Vzorky byly při měření stahovány po celé ploše truhlářskými svorkami, aby byl vliv delaminace co nejméně promítnutý do tepelných charakteristik. Dřevo má ale velkou sílu a stažení pravděpodobně nebylo dokonalé. Mezi jednotlivými lamelami se mohla vyskytovat vzduchová mezera a vzduch, jakožto dobrý tepelný izolant, mohl tepelnou vodivost snížit. Všechny statistické významnosti a vícenásobné porovnání je znázorněno v Duncanově testu (viz příloha 10).

No grafu 2 je grafické znázornění faktorové analýzy tepelné difuzivity pro referenční naměřené hodnoty vzorků a jejich hodnoty po daném způsobu stárnutí. Jak je možné vidět, referenční měření pro jednotlivé druhy vzorků se rozbíhá podobným způsobem, jako je tomu u tepelné vodivosti (viz graf. 1). Tento rozdíl bude pravděpodobně zapříčiněn množstvím lepidla ve spáře, které bude nejspíše vyšší u lepeného lamelového dřeva než u lepených lamel s penetračním prostředkem.



Graf 2. Tepelná difuzivita v závislosti na způsobu stárnutí (autor).

Jak je patrné z grafu, stárnutím se součinitel teplotní vodivosti snižuje. Jednotlivě vztažené způsoby stárnutí jsou lépe viditelné v přílohách 2, 5, 8, přičemž se prakticky vždy jedná o statisticky významný rozdíl. Dále můžeme vidět, že přirozené stárnutí způsobilo nejnižší pokles tepelné difuzivity a dalo by se tedy předpokládat, že větší vliv na tuto tepelnou charakteristiku měla fotodegradace materiálu, která byla výraznější u umělého stárnutí bez postřiku i s postřikem. Nejradiálnější pokles tepelné difuzivity je pak patrný u umělého stárnutí s vodním postřikem, kde byly ale vzorky vystaveny extrémní zátěži. Jak již bylo zmíněno, u zkušebních těles došlo k výrazné delaminaci, a i přes snahu stáhnout všechny lamely do původního stavu, se mezi nimi mohly vyskytovat vzduchové mezery, které difuzivitu jistě ovlivnily. Vlivem stárnutí také mohlo dojít k narušení celulózových vláken ve dřevě, která, jak uvádí Vay et al. (2015); Eitelberger and Hofstetter (2011), mají vysokou vodivost a možná i to může být jedním z důvodů, proč došlo k poklesu teplotní vodivosti. Všechny statistické významnosti a vícenásobné porovnání je znázorněno v Duncanově testu (viz příloha 11).



Graf 3. Objemová tepelná kapacita v závislosti na způsobu stárnutí (autor).

Na grafu 3 je zachycena objemová tepelná kapacita zkušebních těles ve vztahu k jednotlivým způsobům stárnutí, respektive k referenčnímu měření, s rozdělením vzorků do tří typových skupin podle úpravy.

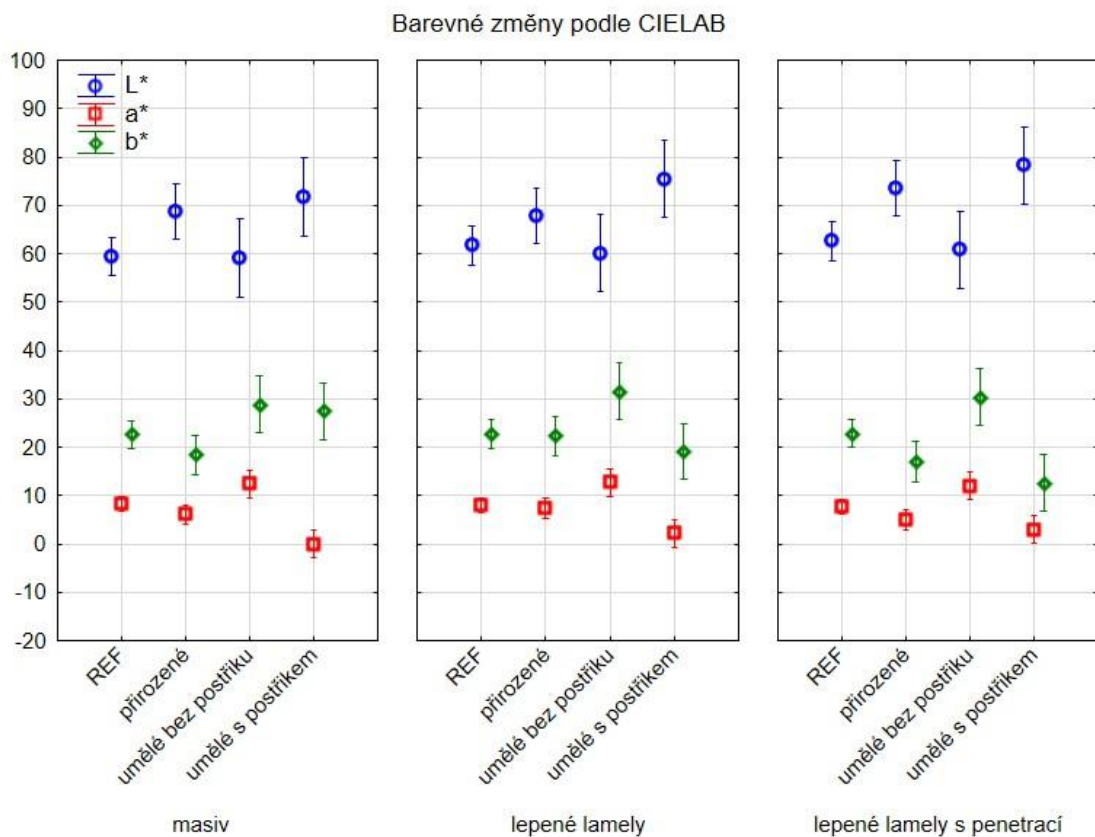
U referenčního měření lze vidět, že narozdíl od tepelné konduktivity a tepelné difuzivity, objemovou tepelnou kapacitu způsob úpravy vzorků (tedy lepené spáry a nátěr penetračním prostředkem) statisticky významně neovlivňuje.

Změna hodnot mezi referenčními hodnotami a přirozeným stárnutím, je konkrétně zobrazena v příloze 3, kde je patrný statisticky významný nárůst. Pokud se ale podíváme na vztah referenčních hodnot s umělým stárnutím bez postřiku (který je vyobrazen v příloze 6), vidíme, že hodnoty se navýšily jen nepatrně oproti zbylým variantám stárnutí a nedá se zde hovořit o statisticky významných změnách.

Naopak u umělého stárnutí s vodním postřikem, které lze vidět v konkrétním grafu (viz příloha 9), je nárůst opět nejradikálnější a bezesporu statisticky významný. Vzhledem k těmto výsledkům, by se pravděpodobně dalo tvrdit, že největší vliv na změnu objemové tepelné kapacity má voda, která do procesu vstupuje. Působení

vody bylo nejvýznamnější u umělého stárnutí s postřikem a nárůst hodnot objemové tepelné kapacity je tomu také odpovídající. Vzhledem k tomu, že objemová tepelná kapacita je matematicko-fyzikálně provázána s tepelnou konduktivitou a difuzivitou z předešlých grafů 1 a 2, musel se i zde projevit vliv delaminace vzorků vystavených umělému stárnutí s vodou. K nárůstu mohlo také dojít vzhledem k předpokládané změně sorpce dřeva vlivem stárnutí, a tak mohlo dojít i přes naklimatizování ke změně vlhkosti, která má vliv na měrnou tepelnou kapacitu potažmo objemovou tepelnou kapacitu, jak zmiňuje Brunecký (2009). Zároveň lze předpokládat, že prachové částice v atmosféře, které se v pórech a prasklinách dřeva usazují, zřejmě nijak zásadně tuto vlastnost neovlivnily. Stejně tak je pravděpodobné, že narušení chemických vazeb ve dřevě, které jsou způsobeny fotodegradací dřeva, jako tomu je v případě umělého stárnutí bez vodního postřiku, nijak významně neovlivnilo objemovou tepelnou kapacitu dubového dřeva.

Graf 4 znázorňuje barevné změny v závislosti na stárnutí. Pozorujeme na něm změny světlosti L, změnu na barevné ose a (zelená-červená) a změnu na ose b (modrá-žlutá).



Graf 4. Změna barvy v závislosti na způsobu stárnutí (autor).

U všech typů vzorků pozorujeme totožný trend ve změnách a lze tedy uvažovat, že úprava vzorku na tuto vlastnost z logiky věci nemá vliv, neboť se jedná o vlastnost povrchovou. Co je možné předpokládat je, že se stárnutím dřeva, se bude zvyšovat jeho světlost, případně bude šednout, tak jako zmiňují Gupta et al. (2001), Pandey (2005), nebo Evans (2008). Tento předpoklad je podložen výsledky měření, neboť světlost se se stárnutím zvyšuje. Ovšem není tomu tak u vzorků, které byly vystaveny umělému stárnutí bez vodního postřiku, kde dochází pouze k fotodegradaci. Jak popisují Tolvaj and Faix (1995), Hon and Shiraishi (2001) a Müller et al. (2003), dřevo žloutne až hnědne kvůli rozkladu extraktivních látek. Ty ale v tomto případě nejsou vyplavovány vodou, a tak dřevo na světlosti nezískává, ba naopak, světlost klesá. Tento fakt potvrzují i hodnoty v grafu 4. Zhnědnutí vzorku je zachyceno na obrázku 19. Lze jej porovnat se vzorkem zachyceným na obrázku 20, který je naopak světlejší po přirozeném stárnutí.

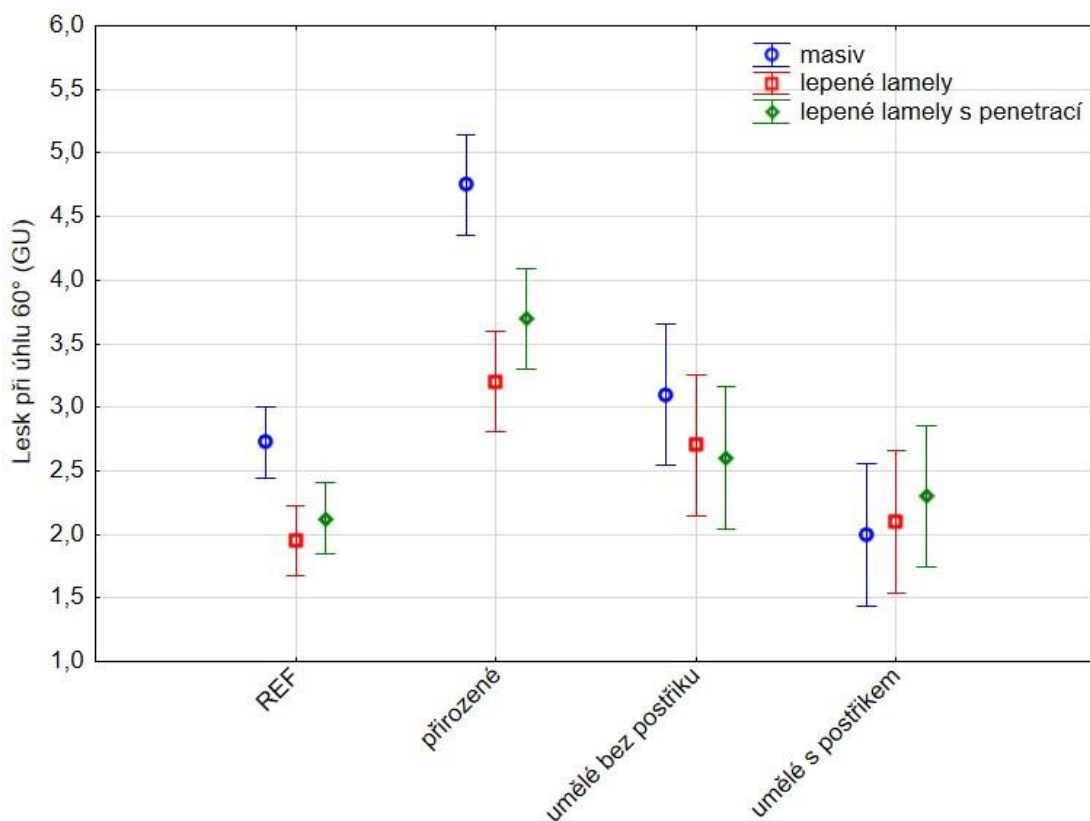


Obrázek 19. Vzorek po umělém stárnutí bez postřiku (autor).



Obrázek 20. Vzorek po přirozeném stárnutí (autor).

Na grafu 5 je grafické zobrazení jedné z dalších doplňkových měřených vlastností, a tou je lesk. Konkrétně se jedná o lesk pod úhlem 60°. U referenčního měření a přirozeného stárnutí můžeme sledovat o něco vyšší lesk u masivních vzorků. Tento výsledek bych ale považoval spíše za možné nepřesnosti přístroje a měření, a to z důvodu, že se jedná opět o povrchovou vlastnost dřeva a není pravděpodobné, že by lepení lamel, či nanesení penetrace na lepené plochy, jakkoliv ovlivnilo míru lesku povrchu. Ostatně v dalších způsobech stárnutí se od sebe míra lesku statisticky významně neliší ve vztahu k typům vzorků.



Graf 5. Změna lesku v závislosti na způsobu stárnutí (autor).

Co je ale z tohoto grafu vypovídající je, že lesk se zvýšil po umělém stárnutí bez působení vody a ještě více po stárnutí přirozeném. Tuto změnu má patrně na svědomí viditelné zvýraznění dřeňových paprsků tzv. „zrcátek“, která můžeme pozorovat na obrázcích 19 a 20. Jak píše Kafka (1989) a Čunderlík (2009) právě tato „zrcátka“ mají největší schopnost odrážet světelný tok paprsků.

Naopak po stárnutí umělém s působením vody se lesk nijak významně nezvýšil. V případě masivního dřeva došlo dokonce k poklesu. Nutno podotknout, že při tomto způsobu stárnutí byly vzorky uloženy na podložce a při vyplavování extraktivních látek

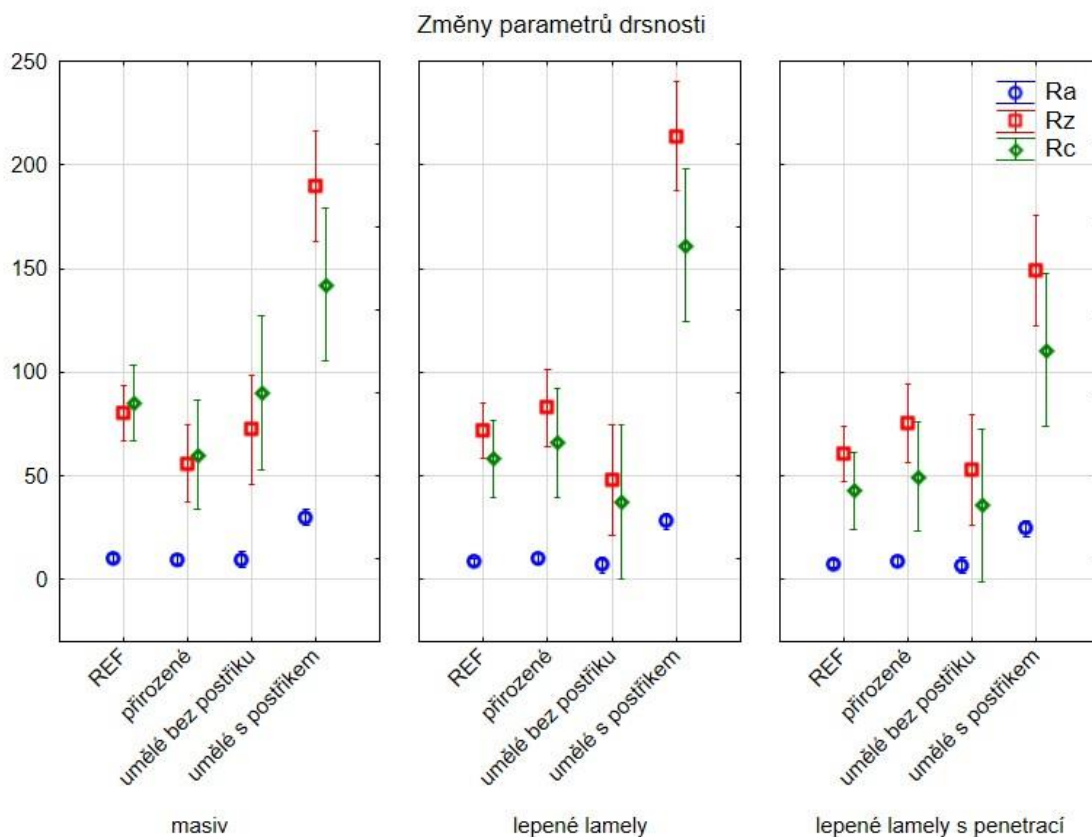
pod nimi zůstávala pravděpodobně „kaluž“, ve které vzorky do konce procesu ležely, a tak se na jejich povrchu vytvořily skvrny a „mapy“, jak lze vidět na obrázku 21.

Na vzorkách po tomto způsobu stárnutí nepozorujeme žádná zrcátka a vidíme také změnu barvy, kde tmavá reprezentuje nevyplavená extraktiva a světlý zbytek naopak část odkud se extraktivní látky vyplavily.



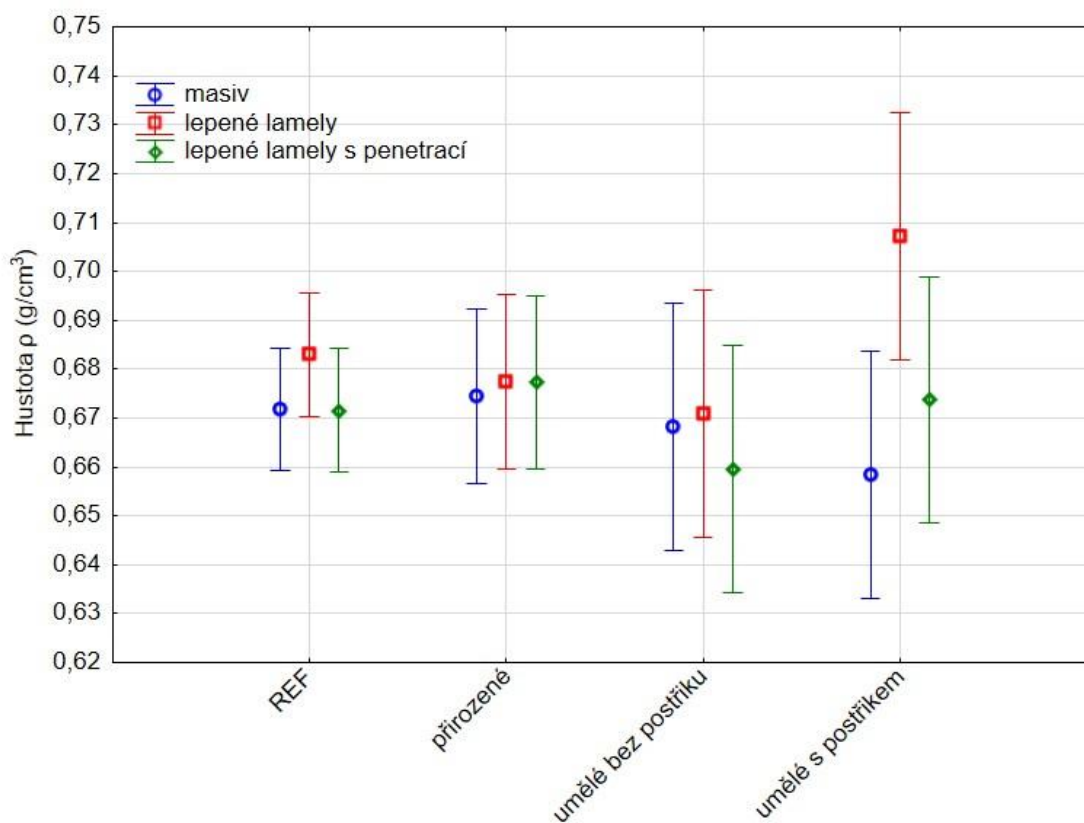
Obrázek 21. Vzorek po umělém stárnutí s vodním postřikem (autor).

Graf 6 vyobrazuje vybrané parametry drsnosti povrchu. Na první pohled se hodnoty pohybují mimo předpoklad. Jak zmiňuje Feist (1990), vlivem fotodegradace a vyplavování (zejména extraktiv), by mělo docházet ke zvýšení drsnosti. Stejně tak vlivem vlhkosti a zdvíhání vláken, jak uvádí Williams and Feist (1999), nebo vlivem bobtnání a sesychání a vzniku mrazových trhlin, jak píše Feist (1990); nebo Ozgenc et al. (2013), by se předpokládal nárůst drsnosti.



Graf 6. Změna drsnosti v závislosti na způsobu stárnutí (autor).

Ovšem v tomto případě, jak vykazuje graf 6, tomu tak ne vždy je. Vesměs lze tvrdit, že ke zvyšování drsnosti jistě dochází a případné odchylky mohou být způsobené například nepřesným kopírováním měřeného místa před a po stárnutí. Za nejvíce směrodatné hodnoty lze považovat Rc (průměrná výška profilu) a Ra (střední aritmetická odchylka). Hodnoty Ra ukazují na grafu předpokládaný nárůst a je patrné, že naměřené hodnoty nemají prakticky žádný, nebo jen minimální rozptyl. Statisticky významné zvýšení drsnosti nastalo u umělého stárnutí s postřikem, kde se ale vzorky vystavené extrémní zátěži částečně rozlepily a po zkroucení postranních lamel (v případě lepených vzorků) vytvořily tvar U na měřených plochách (viz obrázek 18) a z tohoto důvodu nemohl být po celou dobu měření ideální přítlak jehly přístroje na povrchu. Tento způsob stárnutí také vykazuje nejvyšší hodnoty drsnosti pro všechny měřené parametry.



Graf 7. Změna hustoty v závislosti na způsobu stárnutí (autor).

Na grafu 7 vidíme hustoty pro jednotlivé typy vzorků při referenčním měření a po všech způsobech stárnutí. Hned při referenčních hodnotách si lze všimnout, že vzorky z lepených lamel mají o málo vyšší hustotu než ostatní. Toto bych přisuzoval lepidlu obsaženému v lepených spárách vzorků. Dalo by se předpokládat, že vyšší hustotu budou mít také vzorky s penetrací, neboť jsou také lepeny. Možná ale právě kvůli penetračnímu prostředku se lepidlo nevstřebalo do takové hloubky a je ho tudíž ve vzorku menší podíl. I tak jsou ale změny zanedbatelné a nejedná se o statisticky významný rozdíl.

Ve většině případů můžeme vidět mírný nárůst hustoty u vzorků po přirozeném stárnutí. Zde by se dal předpokládat spíše úbytek hustoty, ale jelikož se jedná o vnější expozici, tak se ze dřeva sice vyplavují mikročástice způsobené degradací, ale stejně tak na vzorku ulpívá prach, složky obsažené v dešťové vodě a jiné částice poletující ve vzduchu. Proto se hustota nijak výrazně nezměnila, ba naopak lehce vzrostla, avšak nikoliv statisticky významně.

Zkušební tělesa vystavena umělému stárnutí bez působení vody svou hmotnost ve všech případech ztratila, ačkoliv nelze hovořit o statistické významnosti. Dalo by se tedy říci, přestože nemohlo dojít k vyplavování částic a rozložených chemických složek ze vzorků, pravděpodobně fotodegradace způsobila tento nepatrný úbytek hmotnosti, resp. hustoty.

Rovněž u umělého stárnutí s vodním postřikem došlo ve většině případů k poklesu hustoty. Pravděpodobně z důvodu, že působením UV záření docházelo k fotodegradaci, rozkladu ligninu a následně byly vodou vyplavovány extraktivní látky. U lepených lamelových vzorků pozorujeme nárůst hustoty, který mohl být způsoben změnou sorpce zkušebních těles způsobenou stárnutím, a navíc jejími extrémními podmínkami.

6. Závěr

Primárním cílem této diplomové práce bylo posoudit vliv stárnutí na tepelnou vodivost, tepelnou difuzivitu a objemovou tepelnou kapacitu u dřeva dubu letního (*Quercus robur* L.). Dále byla také zkoumána případná změna barvy, lesku, drsnosti a hustoty dřeva. Všechny uvedené vlastnosti byly měřeny na zkušebních tělesech, která byla sestavena ze vzorků masivního dřeva, lepeného lamelového dřeva a lepeného lamelového dřeva s penetračním prostředkem pro zvýšení kvality lepeného spoje. Na těchto vzorcích se provedla měření referenčních hodnot a následně byly vzorky podrobeny procesu stárnutí. To probíhalo různými způsoby, a to přirozeně na střeše fakulty a uměle v xenonové obloukové komoře. Umělý způsob stárnutí byl dále rozdělen na umělé stárnutí s působením vody a bez ní.

Výsledky práce dokazují, že tepelná vodivost se zvyšovala při způsobech stárnutí, do kterých vstupovala voda. Naopak u umělého stárnutí, kde působilo na dřevo jen UV záření, se tepelná vodivost snížila. Procentuálně se u přirozeného stárnutí zvýšila vodivost o 2 % a u umělého stárnutí bez vodního postřiku došlo k poklesu o 4,5 %. U umělého stárnutí s působením vody se vyskytla značná variabilita mezi jednotlivými typy zkušebních těles, způsobená delaminací lepených vzorků. To zapříčinilo průměrný pokles o 0,3 %, ačkoliv k poklesu vodivosti došlo pouze u lepeného lamelového dřeva s penetrací. U masivního a lepeného lamelového dřeva bez penetračního prostředku se tepelná vodivost vlivem stárnutí zvýšila.

Tepelná difuzivita se degradací dřeva snižovala ve všech případech bez výjimky. Nejvýznamnější pokles difuzivity byl naměřen u umělého stárnutí s vodou, a to o 26,4 %. Ovšem v případě této charakteristiky byl výraznější pokles i u umělého stárnutí bez vodního postřiku (5,9 %), než u stárnutí přirozeného (3,1 %).

Objemová tepelná kapacita se nejvýrazněji zvedla u umělého stárnutí s vodním postřikem, a to v průměru o 26,5 %, v případě přirozeného stárnutí o 5,2 % a nejmenší nárůst byl zaznamenán po umělém stárnutí bez vodního postřiku, který činil 1,5 %.

Díky odlišným způsobům stárnutí lze určit, že u tepelné vodivosti a objemové tepelné kapacity byly změny vyvolány působením vody, zatímco tepelnou difuzivitu více ovlivňovala fotodegradace, která byla nejslabší u přirozeného stárnutí. Na povrchové vlastnosti se projevil vliv stárnutí jako prediktivní, a tak výsledky potvrzují zvýšení

drsnosti. S vyplavováním extraktiv docházelo k růstu světlosti. U působení UV záření bez vodního postřiku došlo vlivem rozkladu ligninu naopak ke ztmavnutí. Lesk se navyšoval u přirozeného a umělého stárnutí bez působení vody, ale u umělého stárnutí s postřikem nikoliv.

Ke změnám, byť nepatrným, došlo také z pohledu hustoty vzorků, kde zkušební tělesa vlivem stárnutí změnila své sorpční vlastnosti a hustota se tak zvedla u přirozeného stárnutí o 0,3 % a u umělého stárnutí s postřikem o 0,4 %. U umělého stárnutí bez postřiku došlo naopak k mírnému poklesu o 1,4 %.

Pozoruhodným poznatkem tohoto výzkumu je fakt, že docházelo v mnoha případech ke statisticky významným změnám i po relativně krátké době stárnutí, která činila v přirozeném prostředí půl roku. Přestože stárnutí má na všechny studované vlastnosti vliv, předpokládáme, že z principu se vliv stárnutí týká pouze povrchových vrstev ve struktuře dřeva. Pro potvrzení této predikce by se nabízel výzkum založený na sledování změn vlivem stárnutí na tělesech s měnicí se tloušťkou, který by potvrdil, do jaké míry jsou tepelné charakteristiky ovlivněny stárnutím ve vztahu k tloušťce materiálu. V případě, že by došlo k vnitřním trhlinám, by bylo vhodné provést CT skenování vzorků pro jejich odhalení a zahrnutí do výpočtů výsledků.

Z experimentu je patrné, že lepené vzorky, na které byla v lepené spáře aplikována penetrace, vykazují vyšší stabilitu vlastností a blížily se svými hodnotami více masivnímu dřevu než lepené lamelové dřevo bez penetrace. Tento výsledek považuji za přínosný a aplikovatelný v praxi, kde by se při výrobě lepeného lamelového dřeva jistě vyplatilo penetraci na tyto báze používat.

Na závěr věřím, že tato diplomová práce je mimo jiné také přínosem pro vědu, a to nejen z důvodu, že experiment je součástí rozsáhlého komplexního projektu TAČR, ale také proto, že rozšířila obzory v doposud ne příliš probádané oblasti vlivu stárnutí na tepelné charakteristiky dřeva. Již známé skutečnosti byly potvrzeny a nové poznatky budou přinejmenším dalším „malým krůčkem“ v nekonečném světě vědy.

7. Použitá literatura

1. ANDERSON, E. L.; PAWLAK, Z.; OWEN, N.L.; FEIST, W.C. Infrared studies of wood weathering. Part I: Softwoods. *Applied spectroscopy*. 1991, vol. 45, no. 4, s. 641-647.
2. ASLAN, S.; COŞKUN, H.; KILIÇ, M. The effect of the cutting direction, number of blades and grain size of the abrasives on surface roughness of Taurus cedar (*Cedrus Libani* A. Rich.) woods. *Building and Environment*. 2008, vol. 43, no. 5, s. 696-701.
3. BAUDRIT, J.; BAÑÓN, V.; VÁZQUEZ, P.; MARTÍNEZ, J. Addition of nanosilicas with different silanol content to thermoplastic polyurethane adhesives. *International Journal of Adhesion and Adhesives* [online]. 2006, vol. 26, no. 5 [cit. 2022-03-13]. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0143749605000904>>. ISSN 0143-7496.
4. Beaud, F., Niemz, P., & Pizzi, A. (2006). Structure–property relationships in one-component polyurethane adhesives for wood: Sensitivity to low moisture content. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 4181-4192.
5. BORŮVKA, V., BABIAK, M. *Vlastnosti dřeva v příkladech*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2016 ISBN 978-80-213-2618-7.
6. BOUBLÍK, V. *Lepidla a jejich příprava*. II. vydání. Praha: Státní nakladatelství technické literatury Praha, 1966. 192 s. ISBN 04-952-66.
7. BRUNECKÝ, Petr. *Zpracování dřeva: materiály – výrobky – konstrukce - technologie: technická příručka pro truhláře, nábytkáře, stavební tesaře, projektanty, konstruktéry, technology a zpracovatele dřeva*. Praha: Dashöfer, c2009-2009. ISBN 9771803890006
8. COGULET, A.; BLANCHET, P.; LANDRY, V. Wood degradation under U.V. irradiation: A lignin characterization. *J. Photochem. Photobiol. Biol.* 2016, 158, 184–191.
9. ČUNDERLÍK, I. *Štruktúra dreva*. Technická univerzita vo Zvolene, 2009 ISBN 978-80-228-2061-5

-
10. DAWSON, B. S.; SINGH, A. P.; KROESE, H. W., SCHWITZER, M.A.; GALLAGHER, S.; RIDDIOUGH, S. J.; WU, S. Enhancing exterior performance of clear coatings through photostabilization of wood. Part 2: coating and weathering performance. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2008, vol. 5, no. 2, s. 207.
 11. EISNER, K., BERGER, V. *Lepidla v dřevařském průmyslu*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1958, 193 s.
 12. EITELBERGER, J., HOFSTETTER K. (2011) Prediction of transport properties of wood below the fiber saturation point a multiscale homogenization approach and its experimental validation part 1: thermal conductivity. *Compos Sci Technol* 71:134–144
 13. EVANS, P. D. *Weathering and photo-degradation of wood. Development of Wood Preservative Systems*, ACS Symposium Series, American Chemical Society. 2008, s. 69-117. ISBN: 0-8412-3951-7
 14. FEIST, W. C. Outdoor wood weathering and protection. In: *Archaeological wood: properties, chemistry, and preservation*. Advances in Chemistry Series 225. Proceedings of 196th meeting of the American Chemical Society. 1990. p. 25-28.
 15. FEIST, W. C.; HON, D. N. S. *Chemistry of weathering and protection. The chemistry of solid wood*. 1984, s. 401-451.
 16. FEIST, W.C. Natural weathering of wood and its control by water-repellent preservatives. *Am. Paint. Contract*. 1992, 69, 18–25.
 17. FELLER, R.L. *Accelerated Ageing—Photochemical and Thermal Aspects*; Berland, D., Ed.; Edwards Bros.: Ann Arbor, MI, USA, 1994; ISBN 0-89236-125-5.
 18. GOBAKKEN, L. R.; HØIBØ, O. A. Aesthetic service life of coated and uncoated wooden cladding-influencing factors and modelling. In: *The 42nd Annual Meeting of IRG. International Research Group on Wood Protection IRG/WP*. 2011, s. 11- 20470.
 19. GUPTA, B. S.; JELLE, B. P.; HOVDE, P. J.; RÜTHER, P. Studies of wooden cladding materials degradation by spectroscopy. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*. 2001, vol. 164, no. 6, s. 329-340.

-
20. HIZIROGLU, S. Surface roughness analysis of wood composites: a stylus method. *Forest Products Journal*. 1996, vol. 46, no. 7,8 , s. 67.
 21. HON, D.N.S.; CHANG, S.T. Surface degradation of wood by ultraviolet light. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 1984, vol. 22, no. 9, s. 2227-2241.
 22. HON, D.N.S.; SHIRAIISHI, N. *Wood and cellulosic chemistry*. 2nd ed., rev. And expanded. New York: Marcel Dekker, c2001. ISBN 0824700244.
 23. JOSEPH, J., R. M. PATEL, A. WENHAM a J. R. SMITH. Biomedical applications of polyurethane materials and coatings. *Transactions of the IMF [online]*. 2018, 96(3), 121-129 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0020-2967. Dostupné z: doi:10.1080/00202967.2018.1450209
 24. KAFKA, E.: *Dřevařská příručka 1 + 2*. SNTL Praha, 1989, 986 s. ISBN 80-03-00009-2.
 25. KATAOKA, Y.; KIGUCHI, M. Depth profiling of photo-induced degradation in wood by FT-IR microspectroscopy. *Journal of Wood Science*. 2001, vol. 47, no. 4, s. 325.
 26. KOVAČIČ, L. *Lepenie kovov a plastov*. Bratislava: 1980 Alfa. Edícia chemickej literatúry. ISBN 63-05-79.
 27. KUPILÍK, V. *Stavební konstrukce z požárního hlediska*, Grada Publishing, Praha, 2006, ISBN 80-247-1329-2
 28. LEBEAU, D., FERRY, M. Direct characterization of polyurethanes and additives by atmospheric solid analysis probe with time-of-flight mass spectrometry (ASAP-TOF-MS). *Analytical and Bioanalytical Chemistry [online]*. 2015, 407(23), 7175-7187 [cit. 2022-04-07]. ISSN 1618-2642. Dostupné z: doi:10.1007/s00216-015-8881-1
 29. LIPTÁKOVÁ, E., SEDLIAČIK, M. *Chémia a aplikácia pomocných látok v drevárskom priemysle*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 519 s.
 30. LIU, R.; PANG, X.; YANG, Z. Measurement of three wood materials against weathering during long natural sunlight exposure. *Meas. J. Int. Meas. Confed.* 2017, 102, 179–185.

-
31. MÜLLER, U.; RÄTZSCH, M.; SCHWANNINGER, M.; STEINER, M.; ZÖBL, H. Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2003, vol. 69, no. 2, s. 97-105.
 32. OBERHOFNEROVÁ, E. Barevné změny a povrchové degradace vybraných druhů dřeva po expozici v exteriéru Česká zemědělská univerzita v Praze 2018
 33. OSTEN, M. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha1: SNTL, 1986. 285 s.
 34. OZGENC, O., OKAN, O.T.; YILDIZ, U.C.; DENIZ, I. Wood surface protection against artificial weathering with vegetable seed oils. *BioResources*. 2013, vol. 8, no. 4, s. 6242-6262.
 35. OZGENC, O.; HIZIROGLU, S.; YILDIZ, U. C. Weathering properties of wood species treated with different coating applications. *BioResources*. 2012, vol. 7, no. 4, s. 4875-4888.
 36. PANDEY, K. K. A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer degradation and stability*. 2005, vol. 87, no. 2, s. 375-379.
 37. POŽGAJ, A.; CHOVANEC, D.; KURJATKO, S.; BABIAK, M. *Štruktúra a vlastnosti dreva.*, 1. vyd. Bratislava: Priroda: Bratislava, 1993. ISBN 80-0700960-4.
 38. RACZKOWSKI, J. Seasonal effects on the atmospheric corrosion of spruce micro-sections. *Holz als roh-und werkstoff*. 1980, vol. 38, no. 6, s. 231-234.
 39. RANBY, B. G.; RABEK, J. F. *Photodegradation, photo-oxidation, and photostabilization of polymers. Principles and Applications*. London: John Wiley and Sons, NY. 1975, s. 50-76.
 40. REINPRECHT, L. *Ochrana dreva*. 2. vydání, Technical University in Zvolen-Slovakia. 2012, s. 453. ISBN: 978-80-228-2351-7.
 41. REINPRECHT, L., PÁNEK, M., *Trvanlivost a ochrana dřeva*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2016, ISBN 978-80-213-2660-6
 42. ROWELL, R.M. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*; Taylor & Francis: Madison, WI, USA, 2005; ISBN 0849315883.
 43. SEDLIAČIK, M., SEDLIAČIK, J. *Chemické látky v dřevárskom priemysle*. 1. vyd. Zvolen: Technická univerzita, 1998, 286 s. ISBN 80-228-0745-1.

-
44. TEMIZ, A.; TERZIEV, N.; EIKENES, M.; HAFREN, J. Effect of accelerated weathering on surface chemistry of modified wood. *Applied Surface Science*. 2007, vol. 253, no. 12, s. 5355-5362.
 45. TESAŘOVÁ, D. a kol. Povrchové úpravy dřeva: [lakování, moření, lazurování a lepení]. 1.vyd. Praha: Grada, 2014, 134 s. ISBN 978-80-247-4715-6.
 46. TOLVAJ, L.; FAIX, O. Artificial ageing of wood monitored by DRIFT spectroscopy and CIE L* a* b* color measurements. 1. Effect of UV light. 1995.
 47. TOLVAJ, L.; MITSUI, K. Light source dependence of the photodegradation of wood. *Journal of wood science*. 2005, vol. 51, no.5, s. 468-473.
 48. ÜLKER, O. Wood Adhesives and Bonding Theory. RUDAWSKA, Anna, ed. Adhesives - Applications and Properties [online]. InTech, 2016, 2016-11-23 [cit. 2022-04-07]. ISBN 978-953-51-2783-3. Dostupné z: doi:10.5772/65759
 49. VAY O, OBERSRIEBING M, MULLER U, KONNERTH J, GINDL-ALTMUTTER W (2013) Studying thermal conductivity of wood at cell wall level by scanning thermal microscopy (SThM). *Holzforschung* 67(2):155–159
 50. VAY, O., DE BORST, K., HANSMANN, C. et al. Thermal conductivity of wood at angles to the principal anatomical directions. *Wood Sci Technol* 49, 577–589 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00226-015-0716-x>
 51. VICK, C.B. (1999). Adhesive bonding of wood materials. In: *Wood Handbook: Wood as an Engineering Material*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, chap. 9.
 52. WILLIAMS, R. S.; FEIST, W. C. Water repellents and water-repellent preservatives for wood. Forest Products Laboratory, 1999, s.12.
 53. WILLIAMS, R.S. EDITED BY ROGER M. ROWELL. *Handbook of wood chemistry and wood composites*. 2nd ed. Boca Raton, Fla: CRC, 2005. ISBN 1439853800.
 54. YILDIZ, S.; TOMAK, E.D.; YILDIZ, U.C.; USTAOMER, D. Effect of artificial weathering on the properties of heat treated wood. *Polym. Degrad. Stab.* 2013, 98, 1419–1427.

-
55. ZEIDLER, A.; BORŮVKA, V. Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin – podklady pro cvičení. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2016. s. 30, 31. ISBN 978-80-213-2674-3

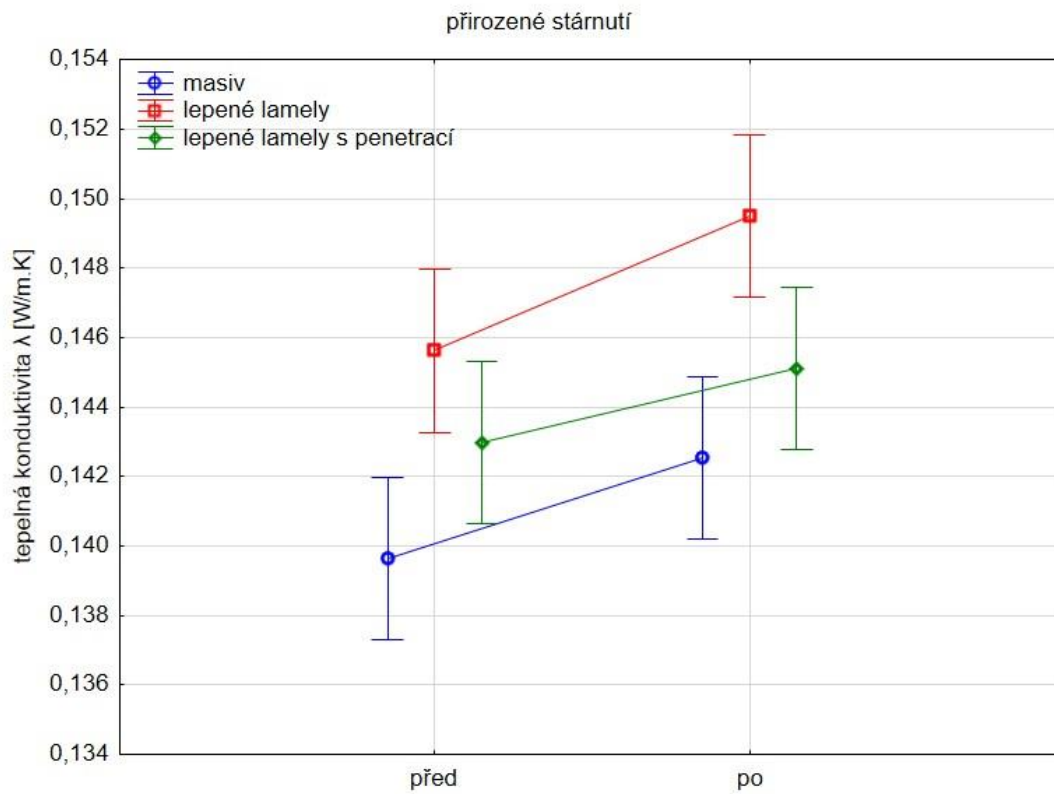
INTERNETOVÉ ZDROJE:

56. <https://ceg.fsv.cvut.cz> (cit. 2022-03-20) Dostupné online: <https://ceg.fsv.cvut.cz/vyuka/podklady-pro-studenty/definice-parametru/tepelne-vlastnosti>
57. <https://deti.vls.cz> (cit. 2022-03-05) Dostupné online: <https://deti.vls.cz/cz/tipy-do-lesa/zivot-v-lese/stromy/dub-letni-kremelak>
58. <https://docplayer.gr> (cit. 2022-03-16) Dostupné online: <https://docplayer.gr/107717281-Fainomena-metaforas-mazas-thermotitas.html>
59. <https://netcam.cz/> [cit. 2022-02-23] Dostupné online: <https://netcam.cz/encyklopedie-ip-zabezpeceni/denni-a-nocni-videni.php>
60. LEAR, a. s. Lepidla na dřevo a nábytek [online]. Brno: LEAR, a. s., 2010 [cit. 2022-03-10]. Dostupné online: <http://www.lear.cz/lepidla-vyroba/na-drevo-a-nabytek/>
61. ULBRICHOVÁ. Elektronická skripta. [cit. 2022-01-20]. 2015. Dostupné online: http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesazareni/slunecnizareni.htm
62. www.appliedp.com [cit. 2022-01-20]. Dostupné online: <https://www.appliedp.com/product/isomet/>
63. www.patricny.com (cit. 2022-03-05) Dostupné online: <https://www.patricny.com/dub/>
64. www.q-lab.com [cit. 2022-01-20]. Dostupné online: <https://www.q-lab.com/products/q-sun-xenon-arc-test-chambers/q-sun-xe-3>

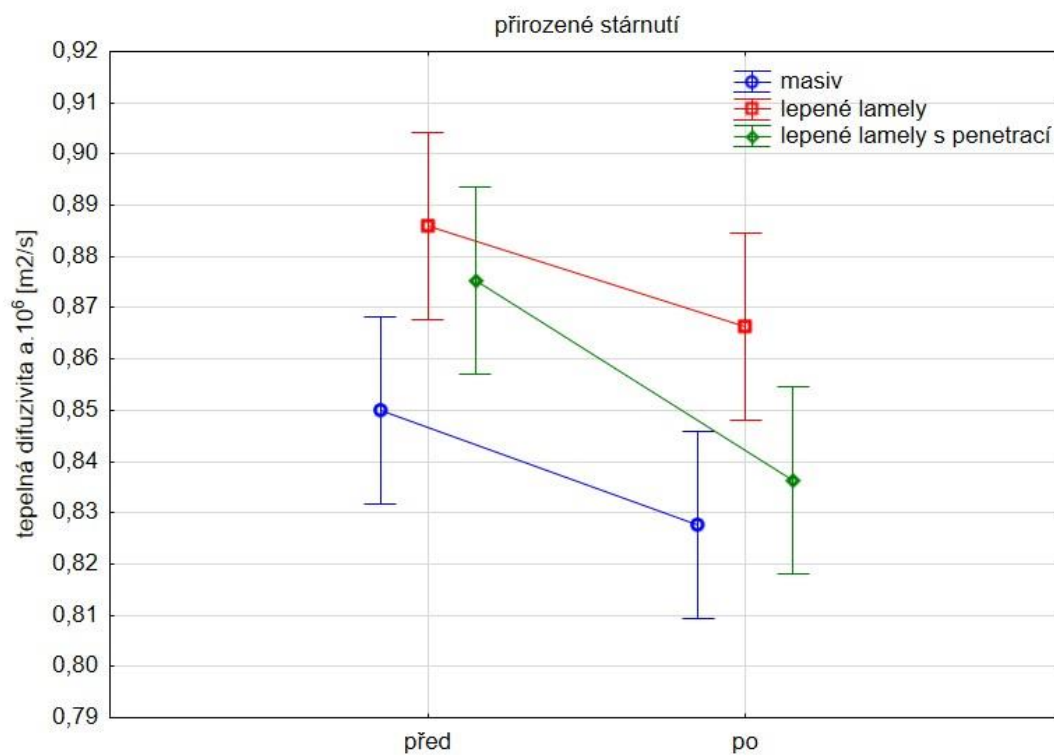
Seznam příloh:

- Příloha 1. Změna tepelné konduktivity po přirozeném stárnutí (autor).
- Příloha 2. Změna tepelné difuzivity po přirozeném stárnutí (autor).
- Příloha 3. Změna objemové tepelné kapacity po přirozeném stárnutí (autor).
- Příloha 4. Změna tepelné konduktivity po umělém stárnutí bez postřiku (autor).
- Příloha 5. Změna tepelné difuzivity po umělém stárnutí bez postřiku (autor).
- Příloha 6. Změna objemové tepelné kapacity po umělém stárnutí bez postřiku (autor).
- Příloha 7. Změna tepelné konduktivity po umělém stárnutí s postřikem (autor).
- Příloha 8. Změna tepelné difuzivity po umělém stárnutí s postřikem (autor).
- Příloha 9. Změna objemové tepelné kapacity po umělém stárnutí s postřikem (autor).
- Příloha 10. Duncanův test tepelná konduktivita (autor).
- Příloha 11. Duncanův test tepelná difuzivita (autor).
- Příloha 12. Technický list hloubková penetrace Soudal
- Příloha 13. Technický list ICEMA R 45/12

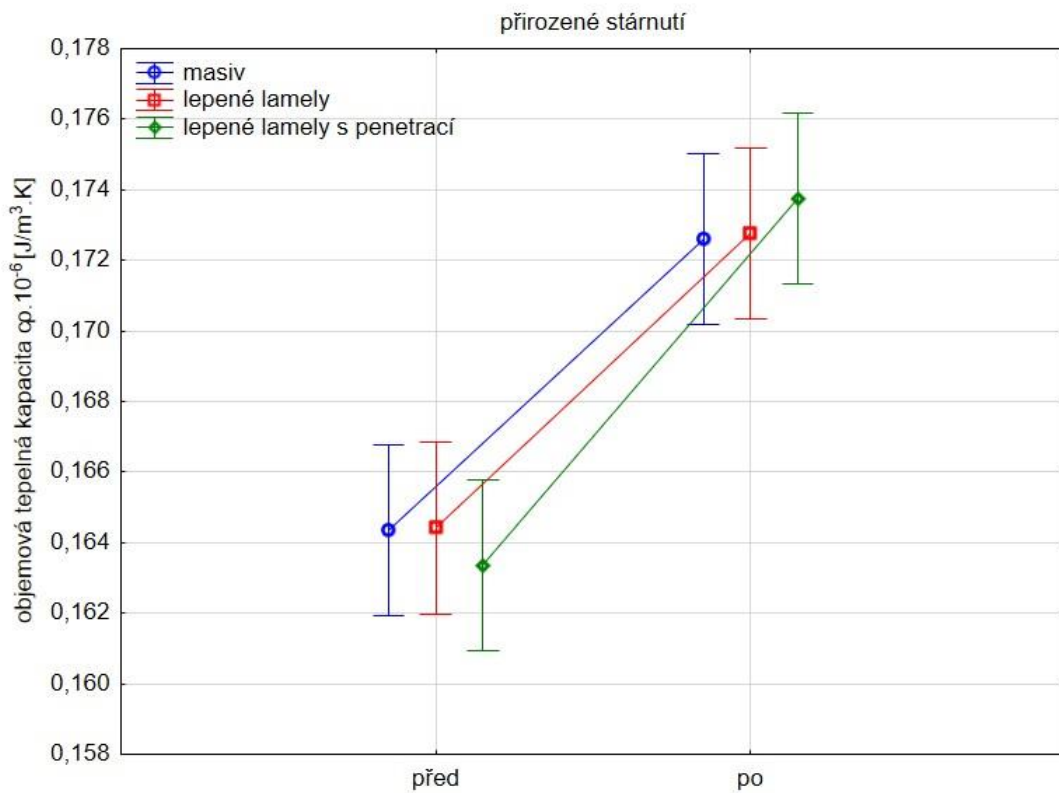
8. Přílohy



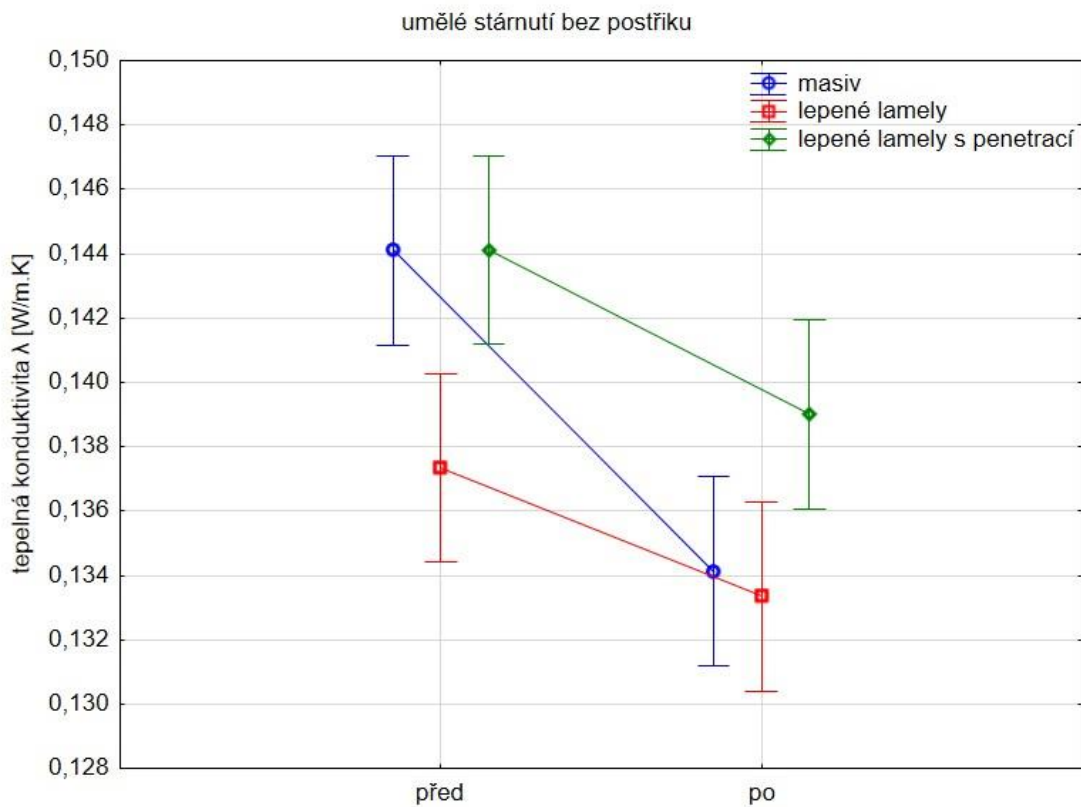
Příloha 1. Změna tepelné vodivosti po přirozeném stárnutí (autor).



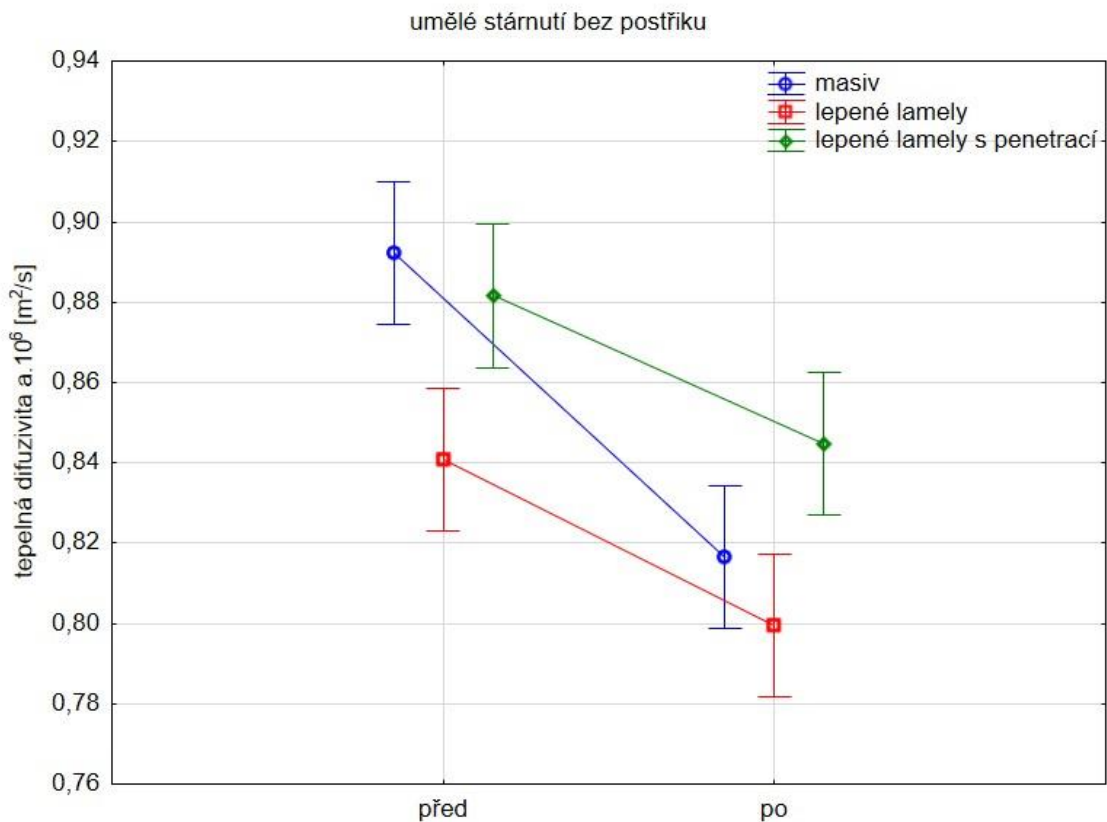
Příloha 2. Změna tepelné difuzivity po přirozeném stárnutí (autor).



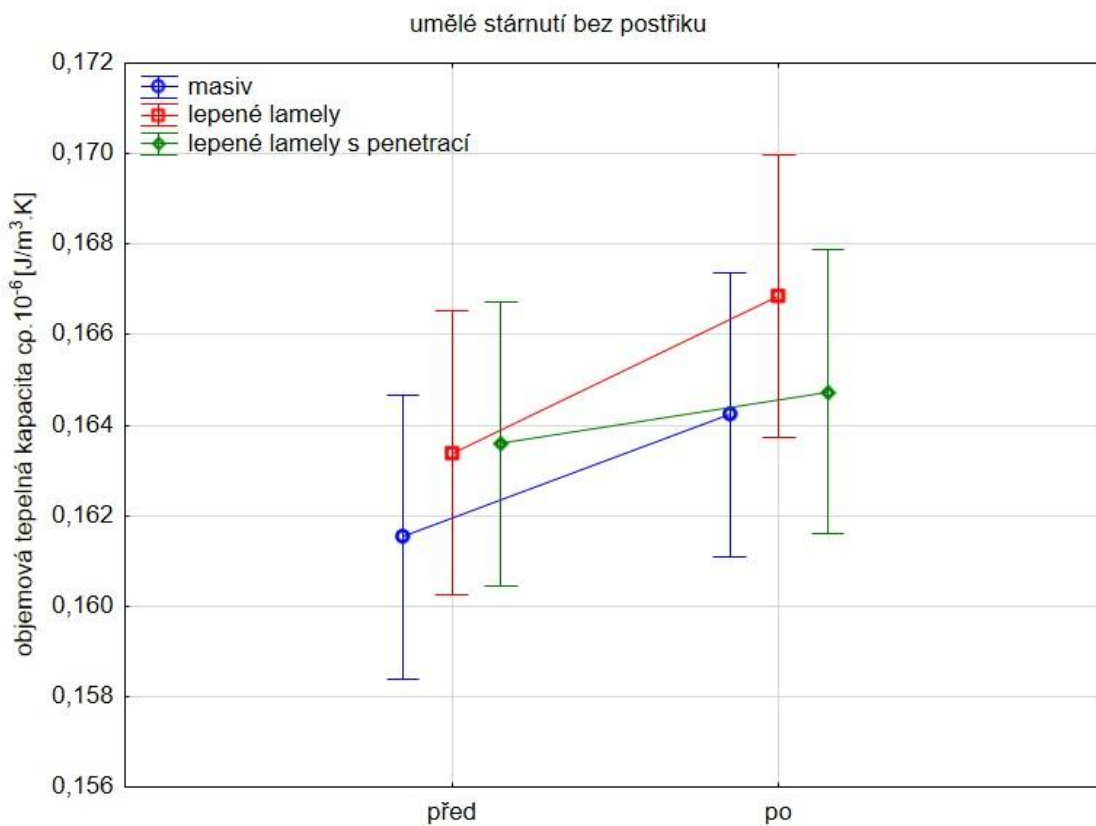
Příloha 3. Změna objemové tepelné kapacity po přirozeném stárnutí (autor).



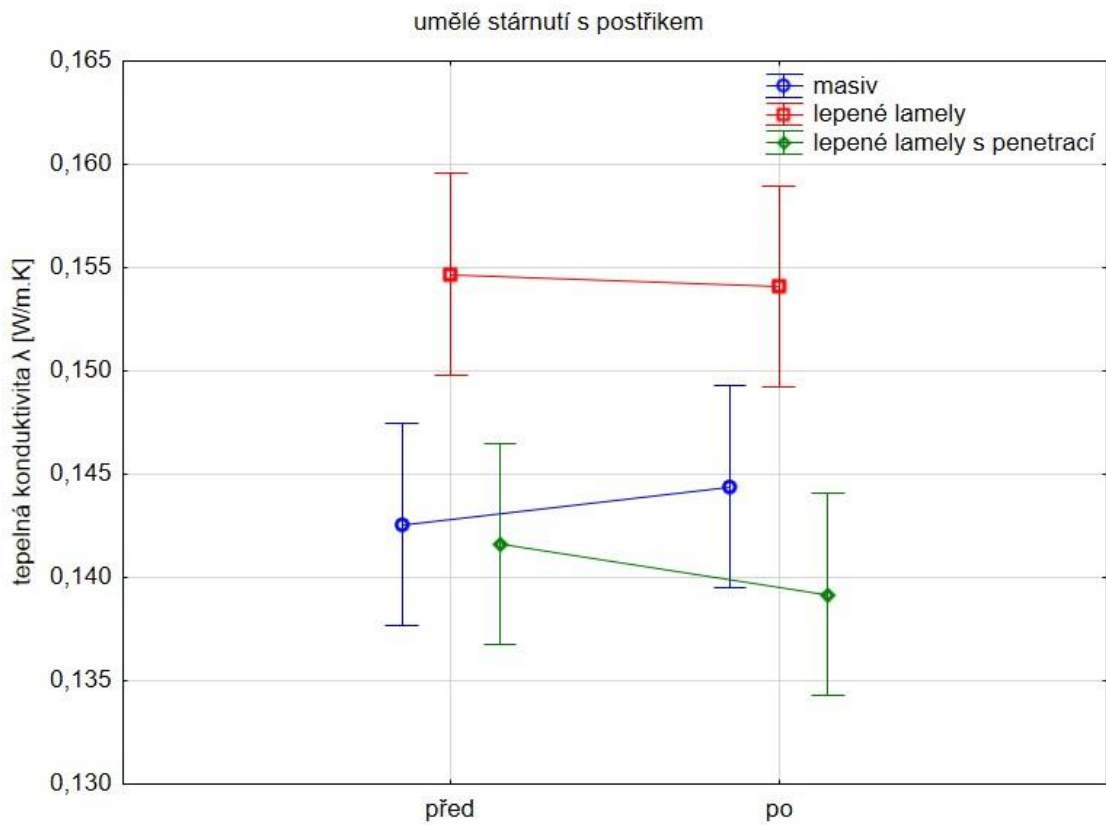
Příloha 4. Změna tepelné konduktivity po umělém stárnutí bez postřiku (autor).



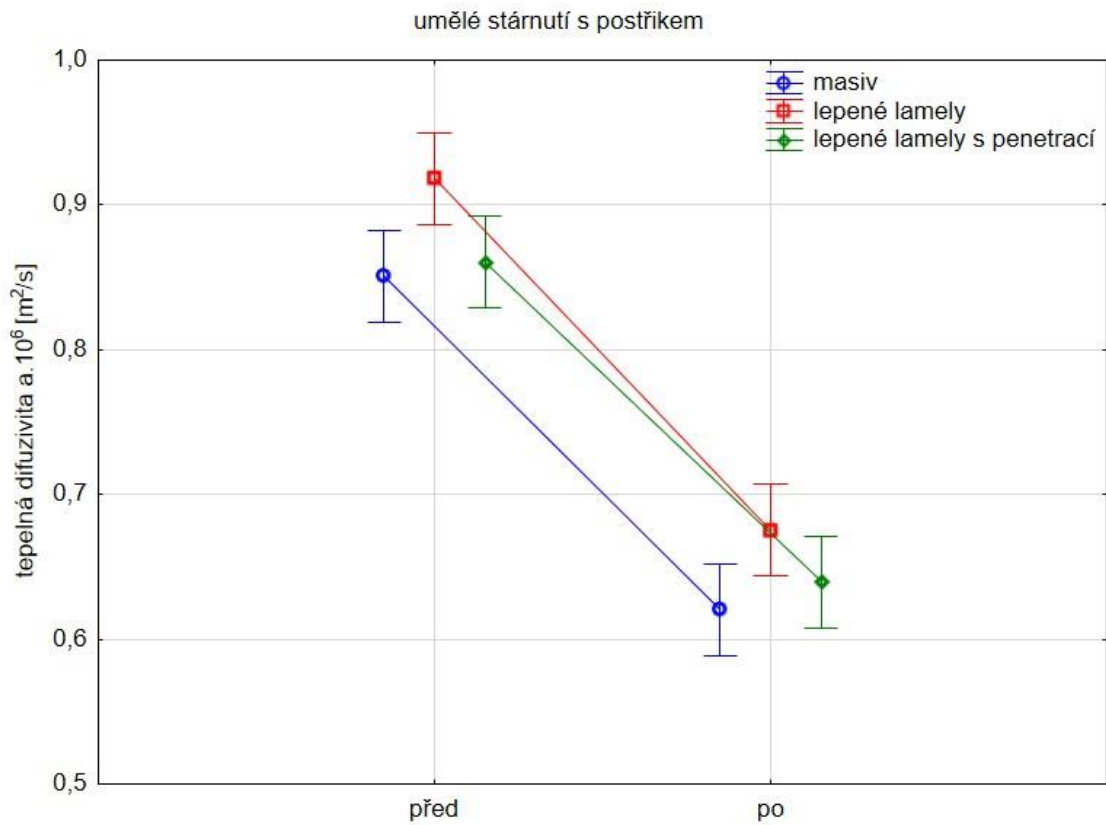
Příloha 5. Změna tepelné difuzivity po umělém stárnutí bez postřiku (autor).



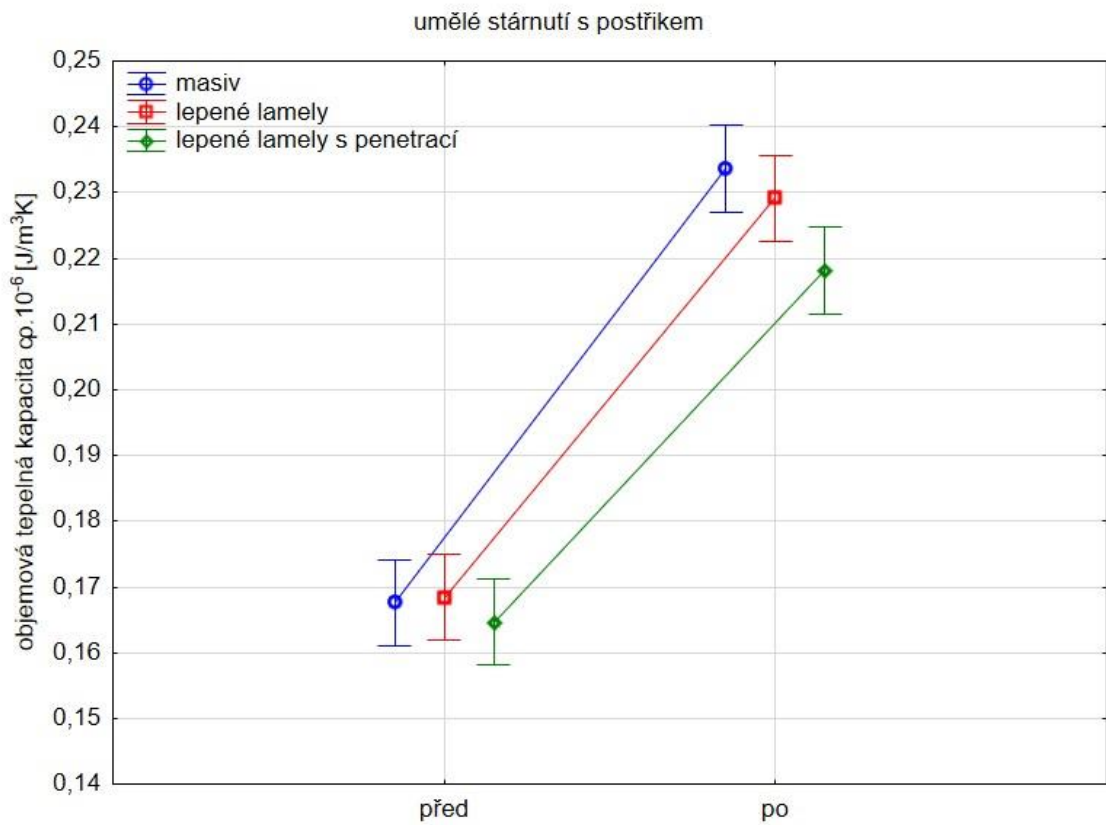
Příloha 6. Změna objemové tepelné kapacity po umělém stárnutí bez postřiku (autor).



Příloha 7. Změna tepelné vodivosti po umělém stárnutí s postřikem (autor).



Příloha 8. Změna tepelné difuzivity po umělém stárnutí s postřikem (autor).



Příloha 9. Změna objemové tepelné kapacity po umělém stárnutí s postřikem (autor).

Cell No.	úprava	stárnutí	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	masiv	REF	0,914737	0,914737	0,969218	0,689452	0,509287	0,548166	0,568644	0,024903	0,936724	0,753992	0,369536	0,873393
2	masiv	přirozené	0,914737		0,889455	0,620882	0,448397	0,486410	0,627391	0,021862	0,973267	0,685432	0,415127	0,951972
3	masiv	umělé 2	0,969218	0,889455		0,709173	0,529264	0,566900	0,547536	0,025465	0,910926	0,770886	0,353461	0,847787
4	masiv	umělé 1	0,689452	0,620882	0,709173		0,776910	0,819860	0,346739	0,044012	0,640558	0,918983	0,211444	0,583821
5	lepené	REF	0,509287	0,448397	0,529264	0,776910		0,943621	0,234747	0,056375	0,466354	0,711070	0,138776	0,416891
6	lepené	přirozené	0,548166	0,486410	0,566900	0,819860	0,943621		0,258536	0,058944	0,504392	0,754482	0,153747	0,453835
7	lepené	umělé 2	0,568644	0,627391	0,547536	0,346739	0,234747	0,258536		0,009752	0,613876	0,392747	0,706384	0,652049
8	lepené	umělé 1	0,024903	0,021862	0,025465	0,044012	0,056375	0,058944	0,009752		0,022526	0,039709	0,005337	0,020205
9	lepené+penetrace	REF	0,936724	0,973267	0,910926	0,640558	0,466354	0,504392	0,613876	0,022526		0,704660	0,404230	0,929360
10	lepené+penetrace	přirozené	0,753992	0,685432	0,770886	0,918983	0,711070	0,754482	0,392747	0,039709	0,704660		0,242655	0,647384
11	lepené+penetrace	umělé 2	0,369536	0,415127	0,353461	0,211444	0,138776	0,153747	0,706384	0,005337	0,404230	0,242655		0,435459
12	lepené+penetrace	umělé 1	0,873393	0,951972	0,847787	0,583821	0,416891	0,453835	0,652049	0,020205	0,929360	0,647384	0,435459	

Příloha 10. Duncanův test tepelná konduktivita (autor).

Cell No.	Duncan test; tepelná difuzivita (a). 10 ⁶ [m ² /s]													
	úprava	stárnutí	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}	{11}	{12}
1	masiv	REF		0,333078	0,630611	0,016353	0,319545	0,777340	0,437179	0,160942	0,809889	0,882345	0,903196	0,004652
2	masiv	přirozené	0,333078		0,594635	0,075384	0,073519	0,471654	0,821712	0,591560	0,243767	0,399623	0,386024	0,021886
3	masiv	uměle 2	0,630611	0,594635		0,033987	0,167935	0,824979	0,736348	0,316666	0,488626	0,725141	0,707735	0,009549
4	masiv	uměle 1	0,016353	0,075384	0,033987		0,002912	0,024585	0,056437	0,162603	0,011216	0,019933	0,019487	0,448470
5	lepené	REF	0,319545	0,073519	0,167935	0,002912		0,227282	0,102917	0,031614	0,414529	0,274899	0,281487	0,000868
6	lepené	přirozené	0,777340	0,471654	0,824979	0,024585	0,227282		0,597363	0,239859	0,618153	0,881216	0,861471	0,006903
7	lepené	uměle 2	0,437179	0,821712	0,736348	0,056437	0,102917	0,597363		0,471550	0,326710	0,514838	0,500200	0,016062
8	lepené	uměle 1	0,160942	0,591560	0,316666	0,162603	0,031614	0,239859	0,471550		0,113752	0,197663	0,190223	0,050776
9	lepené+penetrace	REF	0,809889	0,243767	0,488626	0,011216	0,414529	0,618153	0,326710	0,113752		0,713453	0,731033	0,003217
10	lepené+penetrace	přirozené	0,882345	0,399623	0,725141	0,019933	0,274899	0,881216	0,514838	0,197663	0,713453		0,972569	0,005611
11	lepené+penetrace	uměle 2	0,903196	0,386024	0,707735	0,019487	0,281487	0,861471	0,500200	0,190223	0,731033	0,972569		0,005513
12	lepené+penetrace	uměle 1	0,004652	0,021886	0,009549	0,448470	0,000868	0,006903	0,016062	0,050776	0,003217	0,005611	0,005513	

Příloha 11. Duncanův test tepelná difuzivita (autor).

HLOUBKOVÁ PENETRACE

Speciální penetrační nátěr s hloubkovým účinkem pro všechny typy savých povrchů. Díky obsahu velmi malých částic proniká hluboko do podkladu.

Technická data:

Báze	Akrylát
Vzhled	mírně bílá kapalina
Vydatnost	30m ² /kg při ředění 1:5
Obsah netěkavých složek	8% (±1%)
Vydatnost	5-30m ² /kg

**Charakteristika:**

- připraven k okamžitému použití
- vhodný pro interiéry i exteriéry
- zvyšuje přilnavost následných vrstev
- sjednocuje savost poréznych podkladů
- snižuje spotřebu nátěrové hmoty
- zlepšuje krycí schopnost aplikovaných barev

Příklady použití:

- veškeré savé povrchy před aplikací interiérových a fasádních barev, nebo hydroizolačních vyrovnávacích a samonivelačních stěrkových hmot
- úprava podkladu před lepením obkladů a dlažeb
- zvýšení přilnavosti opravných malt při vyrovnávání podkladu
- snížení prašnosti a nasákavosti betonových podlah

Provedení:

Barva: transparentní (po zaschnutí)
Balení: plastové láhve 1 kg, kanystry 5 kg, 10 kg

Skladovatelnost:

24 měsíců od data výroby v neotevřeném původním obalu při teplotách +5°C až +25°C. Chraňte před mrazem!

Podklady:

Vhodné povrchy: všechny porézní stavební materiály
Stav povrchu: čistý, suchý, bez prachu a mastnoty
Příprava: zvláštní příprava povrchu není vyžadována

Pracovní postup:

Nanášení: Nanášejte štětkou nebo válečkem na suché a čisté plochy zbavené prachu a nečistot. Při aplikaci na běžné savé povrchy ředte s vodou 1:1 až 1:3 podle savosti a povahy podkladu (na velmi savé povrchy aplikujte penetrační nefeděnou, nebo proveďte dva nátěry). Pro penetraci méně savých povrchů jako např. sádkokarton lze ředit až 1:5. Doba schnutí 2 až 4 hod. Vydatnost 5 až 30 m² z 1 kg (podle povahy povrchu a ředění produktu).

Aplikační teplota: +5°C až +35°C, v exteriéru nepracujte v případě předpokladu příchodu deště nebo mrazu do úplného zaschnutí nátěru.

Čištění: ihned po aplikaci vodou, po zaschnutí lze odstranit pouze mechanicky.

Bezpečnost: Dodržujte běžné podmínky hygieny a bezpečnosti práce. Další pokyny viz etiketa výrobku.

Poznámka: Informace obsažené v tomto dokumentu jsou výsledkem našich testů a zkušeností a jsou uvedeny v dobré víře. Různorodost materiálů, podkladů, počet jejich možných kombinací a způsobů aplikací je tak vysoký, že není možné obsáhnout jejich úplný popis. Z těchto důvodů nemůžeme obecně přijmout odpovědnost za dosažené výsledky. V každém případě doporučujeme aplikaci předem vyzkoušet.

INVA Building Materials s.r.o., Bečovská 1027/20, 104 00 Praha-UHřetěves, Tel.: +420 558 438 174, www.soudal.cz

Technická specifikace produktu



H. B. Fuller, GmbH
Kaplanstraße 30
A – 4600 Wels
Austria

ICEMA® R 145/12

- Druh produktu :** jednosložkové PU lepidlo neobsahující rozpouštědla
- Oblast použití :** montážní lepení různých druhů. ICEMA® R 145/12 drží velmi dobře na kovech, pozinkované oceli, nerezové oceli, hliníku, barevných kovech na duroplastických umělých hmotách, DKS, tvrzeném PVC, ABS, SAN, PA, PC, PMMA, dřevěných materiálech a cementových materiálech.
- Pokyny :** S ohledem na různorodost materiálů a na značné rozdílnosti v adhesivitě je potřebné před praktickým použitím provést odpovídající zkoušky.

Specifikace výrobku :

Hustota	: $1,09 \pm 0,03 \text{ g/cm}^3$
Viskozita při 20°C	: cca $3.520 \pm 192 \text{ mPa.s}$
Otevřená doba	: bez postřikání vodou - cca 15 minut
(při 20 °C, 50 % vlhkosti)	: při postřikání vodou - cca 7 minut
Barva	: oranžovožlutá (≈RAL č. 2000)
Bezpečnostní pokyny	: viz Bezpečnostní list
Spotřeba	: 100 – 200 g/m ² podle druhu použití
Teplota zpracování	: minimálně + 10 °C
Ředění	: zpracovává se bez přídavku ředidla
Čištění	: ISA - Verdunner 1 (na nanášecí zařízení)
Skladování	: 6 měsíců při skladování v suchu při teplotě +5 až + 25 °C Chránit před působením vlhkosti, otevřené balení dle možností ihned spotřebovat, popř. těsně uzavřít

Pokyny pro zpracování

Všeobecné

ICEMA® R 145/12 vytvrzuje působením vlhkosti. Dostačující je vlhkost obsažená ve vzduchu, popř. v lepené spáře. Obvykle se však vlhkost dodává lehkým postřikáním vodou.

Vyšší vlhkost a vyšší teplota urychluje vytvrzování. Ovlivňuje i schopnost skladování, otevřený čas a čas vytvrzování. Proto jsou údaje uvedené v technickém listu pouze směrodatné i s ohledem na variabilitu předložených podmínek.

Zvláštní pokyny

Při vytvrzovací reakci vzniká oxid uhličitý, takže lepidlo v závislosti na nánosu lepidla, lepené spáře, teplotě a tlaku více či méně napění a vyplní lepenou spáru. Tato schopnost je při mnoha použití požadována a je výhodou. V některých případech však může být tato vlastnost překážkou.

Při lepení porézních materiálů vzájemně je vznikající pěna nezávislá na zpracovatelské viskozitě a vnikne do podkladu.

Toto platí i pro EPS-tvrzenou pěnu (styropor, polystyren) dokud je viskozita lepidla nižší než 8.000 mPas. Při vyšší viskozitě již není vniknutí nebezpečné. Zůstává však nebezpečí vytvoření boulí na vrchní ploše.

Při lepení těsných materiálů, např. hliníkový plech s extrudovaným polystyrenem nebo PU-tvrzenou pěnou vzniká nebezpečí vytváření boulí z vypěněného lepidla, neboť nemůže volně expandovat. Odpomoci mohou odvodušňovací kanálky, které mohou být vyrobeny 1-2mm hluboko pilovým řezem.

Nános lepidla

Lepidlo je jednostranně nanášeno. Vhodné jsou Pfohl-váleček, špachtle, válcové nanášečky nebo „airless – Air-Kombi stříkací zařízení. Při stříkání je bezpodmínečně nutné odsávání.

Dodání vlhkosti

Pro rychlejší vytvrzení lepidla a nezávislosti na přirozené vlhkosti může být vlhkost dodána dodatečně lehkým postříkáním Množství vody 40 g/m² je dostačující.

Přiložení a lisování dílů

Díly jsou ihned po nánosu lepidla eventuelně po nástřiku vodou složeny k sobě a stlačeny. Velikost postačujícího tlaku je určena velikostí a druhem materiálu.

Lepidlo nepotřebuje pro vytvrzení tlak, ten slouží k tomu, aby lepené díly byly spojeny až do doby vytvrzení lepidla

Lisovací čas

Lisovací čas je závislý na vlhkosti a teplotě. Pokud bude dodána voda, platí následující hodnoty :

Při	+ 20 °C	cca 30 minut
	+ 40 °C	cca 12 minut
	+ 60 °C	cca 5 minut

Po tomto čase je ve všeobecnosti dosaženo pevnosti, která umožňuje další zpracování.

Konečná pevnost lepení je dosažena teprve po několika dnech.

<p>Technický stav : 5.03.1998.....</p> <p>Od tohoto data jsou odlišné údaje uvedené v dříve vydaných technických specifikacích neplatné.</p> <p>Důležité upozornění :</p> <p>Speciální produkt k použití jen po technickém obeznámení zpracovávajícími odbornými pracovníky za přísného dodržování údajů v technických specifikacích.</p> <p>Chraňte před dětmi! Neskladovat společně s potravinami. Nádoby dobře uzavřít, dobře uložit!</p> <p>Naše písemné pokyny, technické specifikace, návod k užívání a jiné tištěné specifikace jsou sestaveny na základě našich nejlepších vědomostí, vlastních pokusů, výsledků našich výzkumů a našich praktických zkušeností.</p> <p>Současné platí námi předané ústní informace.</p> <p>Zaručujeme stálou kvalitu našich produktů. Výsledek jejich použití a zpracování záleží na dodržení podmínek, neboť naše produkty podléhají faktorům, které nemůžeme ovlivnit a v jejich celistvosti posoudit.</p> <p>Naše technické poradenství slovní, písemné a zkoušky je nezávazného charakteru - také se zřetelem na právní ochranu a je osvobozeno od postačujících zkoušek našich produktů na jejich vhodnost pro zamýšlené cíle a postupy.</p> <p>Ve zbývajícím platí přiměřeně naše všeobecné prodejní a expediční podmínky.</p>

Příloha 13. Technický list ICEMA R 45/12.