

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Vlastnosti překližovaného materiálu slepeného pomocí
lepidel na báze izokyanátů**

Diplomová práce

Bc. Martin Kříž

doc. Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Kříž

Dřevařské inženýrství

Název práce

Vlastnosti překližovaného materiálu slepeného pomocí lepidel na báze izokyanátů

Název anglicky

Properties of plywood material glued with isocyanate-based adhesives

Cíle práce

Cílem práce je návrh překližovaného materiálu z dřív různých dřevin vzájemně slepených lepidly na báze izokyanátů. Jednotlivé typy skladeb překližovaného materiálu, z dřív slepených lepidly na báze izokyanátů, jsou experimentálně zkoumány pro zjištění fyzikálních a mechanických vlastností. Experimentální zkoumání zahrnuje zjišťování důležitých mechanických a technologických vlastností překližovaného materiálu, které jsou důležité pro použití tohoto materiálu v praxi. Vlastnosti překližovaného materiálu slepeného lepidly na báze izokyanátů jsou srovnávány s běžnými typy překližovaných materiálů používanými v současnosti.

Metodika

Metodiku práce je možné rozdělit do následujících bodů dle časového harmonogramu:

- červenec – září 2021: Zpracování literární rešerše o fyzikálních a mechanických vlastnostech vrstvených materiálů na báze dřeva s důrazem na překližované materiály. Literární rešerše dále rozebírá problematiku vlivu konstrukčních lepidel, uspořádání nebo spojení jednotlivých vrstev a skladby překližovaných materiálů na báze dřeva na jeho vlastnosti.
- říjen – listopad 2021: Příprava překližovaného materiálu z vybraných druhů dřevin a lepidel na báze izokyanátů, výroba a značení zkušebních těles z překližovaných materiálů. Určení základních fyzikálních vlastností překližovaných materiálů slepených lepidly na báze izokyanátů.
- prosinec 2021 – únor 2022: Experimentální zjišťování fyzikálních vlastností různých typů překližovaných materiálů. Zjišťování technologických a mechanických vlastností (tvrdost, smyková pevnost atd.) překližovaných materiálů slepených lepidly na báze izokyanátů.
- březen 2022: Zpracování výsledků v textové, tabulkové a grafické podobě. Statistické vyhodnocení výsledků. Diskuze a závěry.
- duben 2022: Odevzdání diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

70 – 85

Klíčová slova

překlížované materiály, dýhy, izokyanáty, PUR, EPI, lisování

Doporučené zdroje informací

- BODIG, J., JAYNE, B. A. Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne, 1982, 712 s.
- BUCUR, V. Delamination in wood, wood products and wood-based composites. Springer Science & Business Media B. V., 2010, 401 s. ISBN: 978-90-481-9549-7
- DAVIM, J. P., AGUILERA, A. Wood composites: Materials, manufacturing and engineering. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2017, 219 s. ISBN: 978-3-11-041607-7
- HILL, C. A. S. Wood modification: chemical, thermal and other processes. Chichester: John Wiley & Sons, 2006, 249 s. ISBN 0-470-02172-1.
- KOLLMANN, F. F. P., COTE, W. A. Jr. Principles of Wood Science and Technology: I. Solid Wood. Springer Science & Business Media, 2012, 592 s. ISBN: 978-3-642-87928-9
- KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J. Principles of Wood Science and Technology: II. Wood Based Materials. Springer Science & Business Media, 2012, 703 s. ISBN: 978-3-642-87933-3
- POŽGAJ, A., CHOVANEC, D., KURJATKO, S., BABIAK, M. Štruktúra a vlastnosti dreva. 2. vydání, Bratislava: Príroda a. s., 1997, 485 s. ISBN: 80-07-00960-4
- REINPRECHT, L. Wood deterioration, protection, and maintenance. Chichester: John Wiley & Sons Inc., 2016, 340 s. ISBN 978-1-119-10653-1.
- SHIELDS, J. Adhesives Handbook. 3rd ed. rep., London: Butterworth & Co., 2013, 374 s. ISBN: 978-0-408-01356-7
- SMITH, I., LANDIS, E., GONG, M. Fracture and Fatigue in Wood. John Wiley & Sons Ltd., 2003, 234 s. ISBN: 978-0-471-48708-1

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 3. 11. 2021

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vlastnosti překližovaného materiálu slepeného pomocí lepidel na báze izokyanátů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího 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 dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne datum odevzdání

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu doc. Ing. Miroslavu Gašparíkovi, PhD. za jeho čas, konzultace a věcné připomínky k mé práci. Rád bych poděkoval rodině za čas, který jsem mohl strávit nad zhotovením diplomové práce.

Vlastnosti překližovaného materiálu slepeného pomocí lepidel na báze izokyanátů

Abstrakt

V této diplomové práci je zkoumán vliv druhu dřeviny a druhu lepicího materiálu na mechanické a fyzikální vlastnosti zkušebních těles, kterými jsou smyková pevnost lepeného spoje a tvrdost podle Brinella. zkušební tělesa se skládají z pěti vrstev překližované dýhy z dubu nebo javoru, které jsou lepeny pomocí PUR a EPI lepidla. Na zkušebních tělesech byla prováděna měření na tahovou smykovou pevnost lepeného spoje a tvrdost podle Brinella. Bylo potvrzeno, že s větší hustotou stoupá tvrdost materiálu. Nejvyšší hodnoty pro smykovou pevnost byly naměřeny u javoru slepeného pomocí EPI lepidla. Nejvyšší tvrdost byla naměřena u javoru slepeného pomocí PUR lepidla.

Klíčová slova: smyková pevnost, tvrdost Brinell, EPI, PUR, dub, javor

Properties of plywood material glued with isocyanate-based adhesives

Abstract

This thesis investigates the influence of the type of wood and the type of glue material on the mechanical and physical properties of the measured objects, which are tensile shear and Brinell hardness. The measured objects consist of five layers of laminated oak or maple veneer, which are glued using PUR and EPI glue. The tensile shear and Brinell hardness were measured on the test objects. It has been confirmed that the hardness of the material increases with greater density. The highest values for tensile shear were measured for maple objects glued with EPI glue. The highest hardness was measured for maple objects glued with PUR glue.

Keywords: tensile shear, Brinell hardness, EPI, PUR, oak, maple

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Cíl práce.....	13
3	Teoretický rozbor	14
3.1	Rostlé dřeva.....	14
3.1.1	Dub letní.....	17
3.1.2	Javor mléč	18
3.2	Materiály na bázi dřeva	20
3.2.1	Překližování	20
3.2.1.1	Překližka	22
3.2.2	Lamelování.....	22
3.2.2.1	Vrstvené dřevo – LVL	23
3.2.3	Výroba dýh.....	25
3.3	Lepidla.....	26
3.3.1	Adheze	26
3.3.2	Smáčivost	27
3.3.3	Koheze	28
3.3.4	Polyuretanová lepidla (PUR)	28
3.3.5	EPI lepidla.....	29
3.4	Fyzikální vlastnosti dřeva	29
3.4.1	Vlhkost	29
3.4.2	Hustota	31
3.5	Mechanické vlastnosti dřeva	32
3.5.1	Základní pojmy	33
3.5.1.1	Napětí	33
3.5.1.2	Deformace.....	33
3.5.2	Základní mechanické vlastnosti	34
3.5.2.1	Pružnost.....	35
3.5.2.2	Pevnost	35
3.5.3	Odvozené vlastnosti	35
3.5.3.1	Tvrdost	36
3.5.4	Způsoby mechanického namáhání	38
3.5.4.1	Smyk.....	38
4	Metodika.....	40
4.1	Příprava těles	40
4.2	Měření smykové pevnosti lepeného spoje	46

4.3	Měření tvrdosti	48
5	Výsledky a diskuze.....	50
6	Závěr.....	59
7	Literatura.....	60
8	Seznam příloh	65

Seznam obrázků

Obr. 1 - Struktura dřeva	15
Obr. 2 Stavba kmene stromu.....	16
Obr. 3 - Základní řezy dřevem.....	17
Obr. 4 - Dub letní , příčný řez dřevem	18
Obr. 5 - Javor mlčč, tangenciální řez dřevem	19
Obr. 6 - Nejčastější typy frakce pro výrobu materiálů na bázi dřeva.....	20
Obr. 7 - Překližka.....	22
Obr. 8 - Vrstvené dřevo – LVL.....	23
Obr. 9 - Hlavní kroky výroby LVL.....	24
Obr. 10 - Rozměry průřezů se stejnou pevností v ohybu	25
Obr. 11 - Způsoby výroby dýhy.....	25
Obr. 12 - Vznik mechanické vazby.....	26
Obr. 13 - Vznik chemické vazby	27
Obr. 14 - Smáčivost dle kontaktního úhlu	28
Obr. 15 - Tři roviny pružné symetrie	32
Obr. 16 - Obecný pracovní diagram.....	34
Obr. 17 - Schématické znázornění měření tvrdosti podle Brinella	37
Obr. 18 - Způsoby mechanického namáhání	38
Obr. 19 - Schéma rozdělení měřených těles.....	40
Obr. 20 - Dýchovací lis SCM Sergiani Leopeda gs 6/90.....	41
Obr. 21 - Překližovaný materiál po lisování	41
Obr. 22 - Formátování měřených těles.....	42
Obr. 23 - Formátovací pila SCM si300 class	42
Obr. 24 - Značení měřených těles	43
Obr. 25 - Klimatizační komora (Memmert GmbH 2023)	43
Obr. 26 - Digitální váha Kern PCB-2500-2	44
Obr. 27 - Digitální posuvné měřítko od firmy KINEX	44
Obr. 28 - Schéma zkušební tělesa	46
Obr. 29 - Prořez na zkušebních těles.....	47
Obr. 30 - Univerzální zkušební stroj UTS 50	47
Obr. 31 - Software TIRAtest (TIRA GmbH 2023)	48
Obr. 32 - Zkušební tělesa pětivrstvého překližovaného materiálu	49
Obr. 35 - Detail upnutí tělesa	49
Obr. 36 - Vliv druhu dřeviny na smykovou pevnost.....	51
Obr. 37 - Vliv druhu lepidla na smykovou pevnost	51
Obr. 38 - Závislost smykové pevnosti na druhu dřeviny a lepidla.....	52
Obr. 39 - Lom v pětivrstvě tělese z dubu v trhacím stroji.....	54
Obr. 40 - Závislost tvrdosti podle Brinella na druhu dřeviny	56

Obr. 41 - Závislost tvrdosti podle Brinella na druhu lepidla.....	56
Obr. 42 - Závislost tvrdosti podle Brinella na druhu dřeviny a lepidla.....	57
Obr. 43 - Pětivrstvý překližovaný materiál.....	58

Seznam tabulek

Tab. 1 - Vybrané hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností buku (Zeidler 2016)	18
Tab. 2 - Vybrané hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností javoru (Sedlar 2016)	19
Tab. 3 - Hodnoty statické tvrdosti vybraných druhů dřev (Horáček 2008).....	38
Tab. 4 - Průměrné hodnoty mezí pevnosti dřeva ve smyku ve směru vláken (Horáček 2008)	39
Tab. 5 - Vlastnosti lepidla Kestopur 1010 (Kiilto Oy 2023).....	45
Tab. 6 - Vlastnosti lepidla Kestokol WR 6040 (Kiilto Oy 2023).....	46
Tab. 7 - Statistické vyhodnocení tahové smykové pevnosti	50
Tab. 8 - Roztřídění do kategorií porušení ve dřevě.....	53
Tab. 9 - Statistické vyhodnocení tvrdosti podle Brinella	55
Tab. 10 - Průměrné hodnoty smykové pevnosti a tvrdosti podle Brinella	58

1 Úvod

Dřevo hrálo v historii důležitou roli. Lidé ho využívali jako palivo, stavební materiály, na výrobu nářadí, nábytku a papíru. Na dřevo jako stavební materiál se s rozmachem průmyslové revoluce začalo zapomínat. V této době byly upřednostňovány tehdy moderní materiály jako beton, ocel a sklo. Dřevo bylo pro stavby využíváno okrajově a pro specifické konstrukce jako jsou krovy střech. Aby se mohlo dřevo v následujících letech opět zařadit mezi vyhledávané stavební materiály, musel proběhnout důkladný výzkum v oblasti struktury dřeva, jeho průmyslového zpracování a ve vývoji nových aglomerovaných materiálů na bázi dřeva (Lukowsky 2015). Tento rozvoj pokračuje i současné době a intenzita vývoje se zvyšuje, a to hlavně z důvodu obnovitelnosti dřeva jako přírodního materiálu a kladných fyzikálních, mechanických a pocitových vlastností dřeva (Florek 2009, Sandberg 2018).

Jako přírodní materiál se dřevo vyznačuje přednostmi jako je pevnost, pružnost, poměrně mála váha ke svému objemu, dobré tepelně izolační vlastnosti a dokáže snášet velká zatížení. Jako přírodní materiál se vyznačuje negativními vlastnostmi plynoucími z této skutečnosti, jako je nestejnoroďá struktura a s tím spojená anizotropie, tedy různé vlastnosti dřeva v různých geometrických směrech, jednotlivé růstové vady, reakce na vlhkost, tedy bobtnání a sesychání. Anizotropie je z pohledu použití dřeva brána jako pozitivum i negativum. Všechny tyto nedostatky lze úplně nebo alespoň z velké části eliminovat vhodnou úpravou dřeva (Horáček 2008; Lukowsky 2015).

Jednou z možných úprav a odbourání některých negativních vlastností přírodního dřeva jsou vrstvené aglomerované materiály. Mezi nejznámější a nejvíce využívané zástupce patří překližka, LVL – vrstvené dýhové dřevo a Glulam. Měřením a zjišťováním fyzikálních a mechanických vlastností různých kombinací dřeva, lepících materiálů a postupů při výrobě vrstvených dřevěných materiálů se může vývoj a použití i nadále rozšiřovat. Smyková pevnost a tvrdost patří mezi základní vlastnosti, které mají vliv na následné využití dřevěného materiálu při stavbě dřevěných konstrukcí, výrobě nábytku, podlah a dalších aplikací (Lukowsky 2015; Sandberg 2018).

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je návrh pětivrstvého překližovaného materiálu z dýh různých dřevin vzájemně slepených pomocí lepidel na bázi izokyanátů. Pro vytvoření překližovaného materiálu byly vybrány dubové a javorové dýhy, které byly lepeny pomocí polyuretanového lepidla (PUR) a disperzního lepidla na bázi izokyanátu (EPI). Na pětivrstvěm překližovaném materiálu byly zjišťovány různé vlastnosti.

Cíl práce je možné rozdělit na následující dílčí cíle:

1. Zjišťování smykové pevnosti lepeného spoje překližovaných materiálů

- překližovaný materiál z dubových dýh lepených PUR lepidlem
- překližovaný materiál z dubových dýh lepených EPI lepidlem
- překližovaný materiál z javorových dýh lepených PUR lepidlem
- překližovaný materiál z javorových dýh lepených EPI lepidlem

2. Zjišťování tvrdosti podle Brinella překližovaných materiálů

- překližovaný materiál z dubových dýh lepených PUR lepidlem
- překližovaný materiál z dubových dýh lepených EPI lepidlem
- překližovaný materiál z javorových dýh lepených PUR lepidlem
- překližovaný materiál z javorových dýh lepených EPI lepidlem

3 Teoretický rozbor

Dřevo je přírodní obnovitelný materiál rostlinného původu. V hospodářských lesích můžeme pěstebními podmínkami určit množství a přibližnou kvalitu rostlého dřeva. Dlouhodobým získáváním poznatků o struktuře dřeva, chemickém složení, fyzikálních a mechanických vlastnostech se mohl posunout vývoj technologického zpracování dřeva a následného průmyslového využití. Dřevo je pro svoje fyzikální a mechanické vlastnosti a v neposlední řadě pro svůj přírodní vzhled a kresbu vyhledávaným materiálem. Dřevo jako materiál je dostupné ve dvou hlavních skupinách z dřevin listnatých a jehličnatých. Obě dvě skupiny se liší mikroskopickou i makroskopickou stavbou dřeva (Požgaj 1997; Gandelová 2009).

3.1 Rostlé dřeva

Na stavbu dřeva lze nahlížet pomocí základního dělení tedy makroskopického a mikroskopického nebo lze toto členění trochu rozšířit a podívat se na něj z více různých pohledů: makroskopického, sub-makroskopického, mikroskopického, sub-mikroskopického a molekulárního (obr. 1). Dřevo na makroskopické úrovni rozeznáváme podle druhu stromu na měkké dřevo a tvrdé dřevo. Případně dřevo z jehličnatého nebo listnatého stromu. Na úrovni sub-makroskopické si dřevo představíme jako prkno nebo dřevěný výrobek. Na mikroskopickém stupni studujeme jeho viditelné znaky jádro, běl, letokruhy, barvu a další. V sub-mikroskopické úrovni se zabýváme buněčnou strukturou jako jsou buňky, tracheidy, tracheje a vlákna. V posledním stupni, tedy molekulárním, můžeme studovat polymery buněčných stěn (celulózu, lignin a hemicelulózy) a jejich stavební kameny – jednoduché cukry, fenolické a extraktivní látky a anorganické sloučeniny (Nilsson 2012).

Dřevo je organický nehomogenní materiál složený z buněk, který je tvořen chemickými vazbami celulózy, hemicelulózy, ligninu a doprovodných látek (Hořejší 1987). Podle druhu dřeviny se liší jeho struktura. Dřevo jehličnatých stromů spadá většinou do kategorie měkkých dřevin a skládá se z jarních a letních tracheid a parenchymatických buněk. Tracheidy tvoří až 95 % objemu dřevní hmoty. Jarní tracheidy se tvoří na začátku vegetačního období a mají funkci vodivou. Letní tracheidy mají funkci převážně mechanickou a tvoří se v druhé polovině vegetačního období. Na základě tohoto rozdělení rozlišujeme jarní a letní dřevo. Dřevo listnatých stromů je vývojově mladší a jeho stavba je trochu složitější. Tvoří ho tracheje,

tracheidy, libriformní vlákna a parenchymatické buňky. Tracheidy a tracheje tvoří asi 75 % objemu dřevní hmoty. Buňky u listnatých dřevin jsou širší a objemnější, proto se většinou řadí do kategorie tvrdých dřev (Šlezingerová 2002; Nilsson 2012).

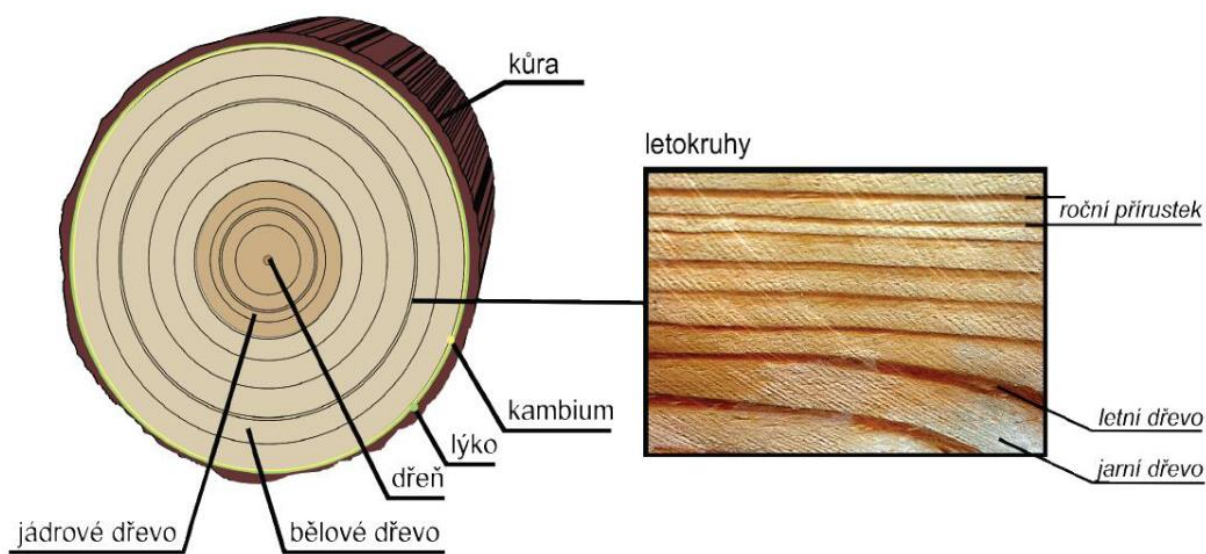


Obr. 1 - Struktura dřeva (Marais 2015)

Kmen stromu dělíme na několik částí (Obr. 2). Na povrchu stromu je vnější kůra, borka, která se skládá z odumřelých buněk dřeva a působí jako ochranná vrstva. Ve vnitřní kůře, lýku, proudí živiny do všech jeho částí. Lýko pracuje omezenou dobu. Následně se mění ve vnější kůru (borku). Cévní kambium, buněčné pletivo, je tenká vrstva mezi kůrou a dřevem, kde nové dřevěné buňky rostou. Dřevo (xylém) je hlavní část kmene. Dělí se na bělové a jádrové dřevo. Bělové dřevo obsahuje živé buňky, je zodpovědné za transport vody z kořene do listů a ukládání živin. U jednotlivých druhů dřevin se rozsah běle liší. Jádrové dřevo se skládá hlavně z odumřelých buněk, které nevedou žádnou vodu. Jádrové dřevo má často tmavší barvu než běl. Uprostřed kmene se nachází dřeň. Jedná o měkké řídké pletivo od prvních let růstu stromu před tvorbou dřeva. Je složená z tenkostěnných parenchymatických buněk. Velikost dřene se

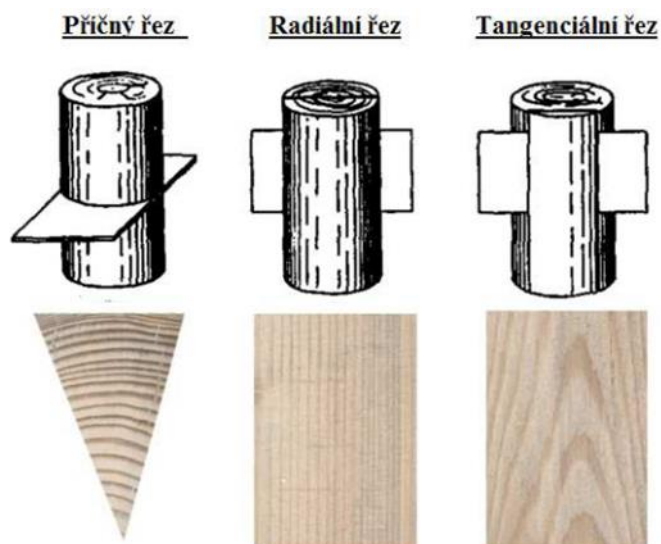
pohybuje mezi 2–5 mm (Vaverka 2008; Zeidler 2016).

Kolem dřevě vyrůstají soustředné kružnice, letokruhy. Letokruhy představují tloušťkové přírůstky dřeva vytvořené za jedno vegetační období. V mírném podnebném pásmu se jedná většinou o jeden rok. Skládají se ze dvou různě barevných vrstev jarního a letního dřeva. Světlejší část je jarní dřevo. Tvoří se na začátku vegetačního období a má nižší hustotu než tmavší dřevo letní. Struktura a šířka letokruhu je závislá na druhu a věku dřeviny, na povětrnostních podmínkách, na společenském postavení dřeviny, na pěstebních a genotypových odlišnostech. U většiny hospodářsky významných dřevin se tloušťka letokruhu pohybuje okolo 1–5 mm. S postupným stárnutím stromu se tloušťka letokruhu snižuje. Stejně tak i s nadmořskou výškou. Tloušťka letokruhu může být po obvodu kmene rozdílná z důvodu působení abiotických vlivů jako jsou sníh, silný vítr a další. Tloušťka letokruhu a velikost zastoupení letního dřeva mají vliv na mechanické a fyzikální vlastnosti dřeva. Největší vliv má tloušťka letokruhu na vlastnosti dřeva jehličnanů a listnáčů s kruhovitě pórovitou stavbou (Vaverka 2008; Werhanová 2010).



Obr. 2 Stavba kmene stromu (Khestl 2013)

Struktura a zastoupení jednotlivých vrstev kmene se dá nejlépe sledovat na jeho základních řezech. Rozlišujeme tři řezy transverzální, radiální a tangenciální (Obr. 3). Transverzální řez neboli příčný řez je kolmý na osu kmene. Podélné řezy kmenem rozdělujeme na radiální a tangenciální. Radiální řez je veden středem kmene, tedy dřevní. Letokruhy jsou zde vidět jako rovnoběžné pásy. Poslední tangenciální řez je veden mimo střed kmene. Někdy se mu říká řez fládrový. Letokruhy zde vytvářejí paraboly neboli fládr (Šlezingerová 2009).



Obr. 3 - Základní řezy dřevem (Vavřík 2002)

3.1.1 Dub letní

V současnosti je známo okolo 400 druhů dubu (Ruiz-Aguino 2018). Nejrozšířenější v České republice je dub letní (*Quercus robur* L.) a dub zimní (*Quercus petraea* Liebl.). V Evropě se dub letní široce vyskytuje od severního Španělska po jižní Skandinávii a od Irska po východní Evropu. Patří do skupiny „bílých“ dubů (Hrčka 2018). Dub má vysoké požadavky na půdu, nejlépe se mu daří na hlinitých a hlubokých půdách, ke klimatickým podmínkám je netečný. Vyskytuje se především v nižších polohách. Strom se dožívá věku i přes 800 let (Musil 2005).

Duby jsou velké listnaté stromy, které dosahují 30–40 m výšky. Mají mohutný kmen, který může mít ve výčetní výšce 1,3 m průměr kmene přes 1,5 m a rozložitou poměrně nízko posazenou korunu. Dub je kruhovitě pórovitá jádrová dřevina s poměrně úzkou bělí. Charakteristickým znakem dřeva jsou na všech řezech viditelné pórovitosti a výrazné dřeňové paprsky. Jádro dubu má světle až tmavě hnědou barvu a běl je většinou nažloutlá až světlehnědá. Jádro se vytváří poměrně brzy a je oproti bělovému dřevu odolnější. Z původních druhů vyskytujících se v České republice patří dřevo dubu k nejodolnějším vůči biotickým a abiotickým činitelům. Dřeva jednotlivých druhů dubů vyskytujících se v ČR nejsou mezi sebou rozeznatelné (Rowell 2013; Zeidler 2016).

Díky své krásné textuře (Obr. 4) je převážně využíván pro výrobu okrasných dýh a nábytku. Dále se využívá na stavbu lodí, mostů, oken, dveří, prahů, podlah a schodišť (Tab. 1). Je vhodným materiálem pro výrobu sudů pro dlouhodobé zrání vín, whisky, sherry a brandy.

Vedle dřeva nalézají využití i jeho plody, žaludy, jako potrava pro prasata a ovce (Hofmeister 2009).



Obr. 4 - Dub letní , příčný řez dřevem (VLS ČR 2023; Lesy ČR 2023)

Tab. 1 - Vybrané hodnoty fyzikálních a mechanických vlastnosti buku (Zeidler 2016)

Vlastnost	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna (radiální)	Kolmo na vlákna (tangenciální)
Hustota [kg/m^3]	702	702	702
Pevnost v tlaku [MPa]	59,8	11	8,5
Pevnost v tahu [MPa]	88	-	-
Pevnost v ohybu [MPa]	-	85,2	85,2
Pevnost ve smyku [MPa]	13,3	7,9	7,5
Tvrдость podle Brinella [MPa]	66	34	34

3.1.2 Javor mlč

Javor mlč (*Acer platanoides* L.) je rychle rostoucí ušlechtilá listnatá dřevina, která běžně roste ve smíšených lesích střední Evropy (Vacek 2018). V České republice se vyskytuje od nížin až po podhorské polohy, nejčastěji do 900 metrů nad mořem. Podíl javoru na celkové lesní ploše Evropy je poměrně nízký (okolo 3 %), přesto několik studií zdůrazňuje jeho velký ekologický a ekonomický přínos. V lesích podporuje biodiverzitu a příznivě ovlivňuje ekologickou stabilitu tvorbou humusu a cyklických procesů tvorby organické hmoty. Rychlý růst, dřevo s mnohostranným využitím a vysoké tržní ceny činí javor ekonomicky atraktivním.

(Hein 2009).

Strom dorůstá do výšky 35–40 metrů a dožívá se až 400 let. Průměr jeho kmene dosahuje až 150 cm. Jedná se o silný přímý kmen válcovitého tvaru. Dřevo javoru patří do skupiny dřevin s bělovým dřevem s roztroušeně pórovitou stavbou. Někdy se vyskytuje nepravé jádro. Pro kresbu dřeva je typický výskyt vlnitých a očkovitých letokruhů (Obr. 5). Javorové řezivo má velmi světlou, žlutavě bílou barvu, někdy s jemně nazelenalými odstíny. Dřevo je středně těžké, pružné, houževnaté a tvrdé. Používá se pro různé účely, od výroby nábytku, podlahových krytin až po součásti lodí a letadel a některé speciální výrobky ze dřeva, jako jsou bowlingové koule, baseballové pálky, kuchyňská prkénka, párátko, formy na boty nebo kladky (Tab. 2). Nejhodnotnější je dřevo z rezonančních javorů, které má skvělé akustické parametry a nepravidelnou kresbu, se využívá při výrobě hudebních nástrojů (Zeidler 2016; Sedlar 2019).



Obr. 5 - Javor mlč, tangenciální řez dřevem (VLS ČR 2023; Lesy ČR 2023)

Tab. 2 - Vybrané hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností javoru (Sedlar 2016)

Vlastnost	Rovnoběžně s vlákny	Kolmo na vlákna (radiální)	Kolmo na vlákna (tangenciální)
Hustota [kg/m^3]	623	623	623
Pevnost v tlaku [MPa]	53	20	14
Pevnost v tahu [MPa]	83,5		
Pevnost v ohybu [MPa]		110	110
Pevnost ve smyku [MPa]	11		
Tvrдость podle Brinella [MPa]	62	32	43

3.2 Materiály na bázi dřeva

Základní stavební částicí těchto materiálů je většinou řezivo, dýha, štěpka, tříška nebo vlákno (Obr. 6). Spojením těchto částic pomocí lepidel do celků vznikají deskové nebo jinak tvarované konstrukční materiály. Skladbou, použitou dřevinou a lepidlem získávají svoje specifické vlastnosti, mezi které patří vysoká pevnost ku hmotnosti, rozměrová stabilita a mnohem menší rozptyl mechanických vlastností v jednotlivých směrech oproti masivnímu dřevu (Svoboda 2018).

Neustálý výzkum a vývoj nových technologií při výrobě materiálů na bázi dřeva umožňují zvětšit rozměry a zlepšit mechanické a fyzikální vlastnosti těchto materiálů. Díky tomu mohou vznikat velké dřevěné konstrukce, které rozměrově několikanásobně přesahují konstrukce z masivního dřeva (Sandberg 2018).



Obr. 6 - Nejčastější typy frakce pro výrobu materiálů na bázi dřeva (Böhm 2012)
(zleva shora: dýhy, velké ploché třísky pro výrobu OSB, bílá (papírenská) štěpka, štěpka pro výrobu třísek a vláken, třísky, vlákna).

Materiály na bázi dřeva můžeme dělit z několika pohledů podle použitého pojiva (minerální nebo organické), podle vstupního materiálu (vláknité, třískové, dýhové nebo z řeziva) nebo podle typu konstrukce (jednovrstvé, vícevrstvé, překližované, lamelové, speciální) (Böhm 2012).

3.2.1 Překližování

Jestliže průběh vláken sousedních vrstev dřevních elementů svírá určitý úhel, nejčastěji

90°, mluvíme o překližování. Jednotlivé vrstvy se k sobě slepují. Podle druhu použitých dřevních elementů ve vrstvách se rozlišují jednotlivé deskové materiály. Podle normy ČSN EN 313-1 (1999) se dělí překližované dřevěné deskové materiály na překližky, jádrové desky a složené desky. Jednotlivé vrstvy se skládají z dýhy nebo latí. Pomocí překližování získávají desky rozměrovou stabilitu a pevnost v obou směrech. Pomocí orientace jednotlivých vrstev se dají upravovat výsledné vlastnosti jednotlivých deskových materiálů a jejich následné využití. Při orientaci sousedních vrstev o 90° se docílí podobných vlastností v obou směrech. Při křížení vrstev pod menším úhlem, např 45°, se docílí vyvážení vlastností ve více směrech (Král 2005).

Při výrobě překližovaných dřevěných desek je možné využít méně kvalitní dřevní surovinu. Nejčastěji se využívá do středních vrstev. Do vrchních vrstev lze využít při použití desek bez potřeby dobrého estetického vjemu (Svoboda 2018).

Překližované desky mají širokou škálu využití. Podle kvality zpracování především vrchní vrstvy se rozlišuje způsob použití v truhlářské výrobě nebo ve stavebním průmyslu. Překližované deskové materiály se podle ČSN EN 313-1 (1999) dělí podle několika kategorií:

Podle konstrukce desek

- překližky – truhlářské, stavební, obalové, letecké, desky z vrstveného lisovaného dřeva
- jádrové desky – laťovky, dýhovky
- složené desky – voštinové desky, likusové desky

Podle způsobu úpravy povrchu

- nebroušené
- broušené
- povrchově upravené
- opláštěvané (dekorační dýhou, fólií, impregnovaným papírem apod.)

Podle tvaru

- ploché
- tvarované

Podle místa použití

- venkovní prostředí (nekryté)
- vlhké prostředí
- vnitřní suché prostředí

Podle vzhledu povrchu

Dle normy ČSN EN 313-1 (1999) se rozlišuje pět vzhledových tříd. Tyto třídy se

označují E, I, II, III a IV). Rozčlenění do jednotlivých tříd dle vzhledu povrchu se provádí podle počtu a rozsahu určitých přirozených charakteristik dřeva a podle vad vznikajících ve výrobě.

3.2.1.1 Překližka

Překližka (Obr. 7) je nejpoužívanější překližovaný dřevěný materiál díky svému širokému využití. Používá se v truhlářství, stavebnictví, letectví, dopravě, modelářství a v řadě dalších odvětví. Překližka se skládá z jednotlivých vrstev dýhy, které jsou nejčastěji pootočený o 90°. Počet vrstev je nejčastěji lichý a skládaný souměrně od středu. Sudý počet, nesouměrné pootočení a nerovnoměrné pootočení vrstev se využívá pro změnu parametrů deskového materiálu buď v podélném nebo příčném směru. Každá vrstva se skládá z dýhy nebo ze sesazenek o max tloušťce 7 mm. Sesazenka je spojení více dýh k sobě bokem nebo čelem s rovnoběžným směrem vláken. Pro výrobu se nejvíce využívá loupaná dýha z důvodu nižší ceny a jednodušší výroby oproti krájené dýze (Dudas 2008).



Obr. 7 - Překližka (Nobio 2023)

Odstranění anizotropního charakteru masivního dřeva a možnost výroby velkých formátů desek jsou největší předností překližek. Mezi další přednosti patří tvarovatelnost při výrobě, která se využívá při výrobě nábytku, např. sedáků a opěradel židlí. Běžně se překližky vyrábějí o tloušťce od 2 do 40 mm a formátu desky o šířce 1250 mm a délce 2500 mm. Tyto rozměry se mohou lišit dle výrobce o potřeb zákazníka (Böhm 2012).

3.2.2 Lamelování

Lamelování je vrstvení dřevního materiálu spojeného pomocí lepidla, které má průběh

vláken v jednom směru. Díky tomu se zachová pevnost masivního dřeva v podélném směru při odstranění jeho nežádoucích vlastností. Mezi tyto vlastnosti patří růstové vady (smolníky, suky), bobtnání a sesychání spojené s tvarovou nestálostí (kroucení, smršťování, roztahování) a anizotropie. Pomocí lamelování lze docílit větších rozměrů ve všech směrech dřevěných prvků než u rostlého dřeva. Lamelování dřevního materiálu se nejvíce uplatňuje ve stavebnictví při vytváření nosných konstrukcí a v nábytkářství při výrobě ohýbaného nábytku (Král a Hrázský 2005).

3.2.2.1 Vrstvené dřevo – LVL

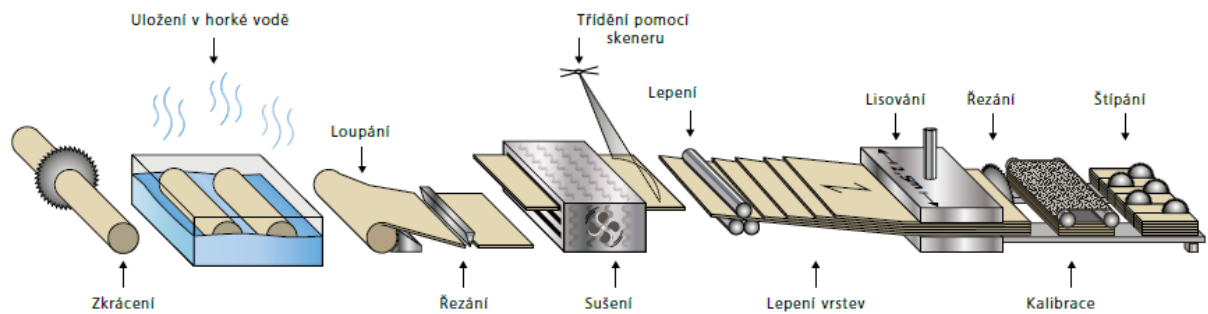
Zkratka LVL vychází z anglického názvu Laminated Veneer Lumber, což v doslovné překladu znamená laminované dýhové řezivo (Obr. 8). Normou ČSN EN 14279+A1 (2009) je definován jako soubor vrstvených dých s převážně rovnoběžnými vlákny.



Obr. 8 - Vrstvené dřevo – LVL (Roseburg 2023)

Vyrábí se z loupaných dých převážně smrku, břízy, borovice a buku o tloušťce od 2,5 mm do 6 mm. Jednotlivé vrstvy dých se lepí pomocí močovino-formaldehydového (UF), melamin-močovino-formaldehydového (MUF) nebo fenol-formaldehydového (PF) lepidla. Dýhy se skládají do souboru, kdy jsou sousední vrstvy posunuty v podélném směru. Pomocí tohoto přeložení se získá větší pevnost. Soubory jsou následně, nejčastěji v průběžných lisech pomocí vysokého tlaku a teploty (okolo 145 °C), zhuštěny a vytvrzeny. Tímto způsobem jsou vytvářeny velkoformátové desky, které jsou následně formátovány na požadované rozměry trámů a nosníků. Výsledný formát vrstveného dřeva se pohybuje dle výrobce do tloušťky 90 mm, šířky 2500 mm a délky 26 m, některé prameny uvádějí až 35 m. Jednotlivé kroky výroby jsou vidět na (Obr. 9). Pevnost v ohybu vrstvených prvků se pohybuje kolem 50 MPa a

průměrný modul pružnosti kolem 14 000 MPa. Vrstvené dřevo má vysokou objemovou stálost (Böhm 2012; Svoboda 2018).

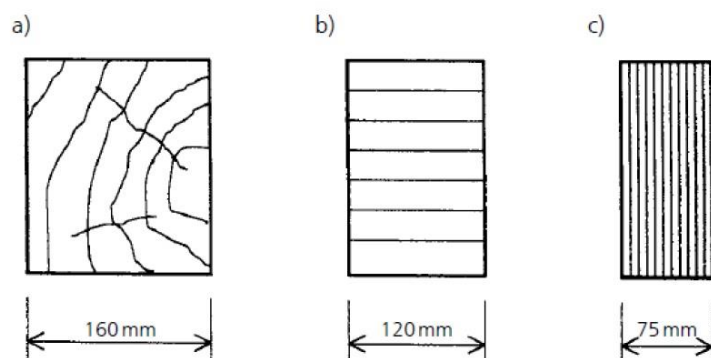


Obr. 9 - Hlavní kroky výroby LVL (STEICO AG 2022)

Vrstvené dřevo se využívá ve stavebnictví jako konstrukční materiál pro výrobu nosníků, příhradových nosníků, vaznic a dalších. Podle vizuální kvality horní vrstvy může být použit jako zajímavý designový prvek v přiznaných konstrukcích. Podle normy ČSN EN 14374 (2005) rozlišujeme tři třídy vrstveného dřeva:

- LVL/1 – pro použití v suchém prostředí,
- LVL/2 – pro použití ve vlhkém prostředí,
- LVL/3 – pro použití ve venkovním prostředí.

Vrstvené dřevo má několik obchodních názvů např. Kerto, Ultralam, Microllam a další v závislosti na výrobci. Výrobci díky kombinaci pootočení směru vláken v jednotlivých vrstvách určují potřebné parametry výsledného materiálu na konkrétní účel v konstrukci stavby. Například u firmy Steico je materiál označený jako LVL R. Všechny jeho vrstvy jsou slepeny jen v podélném směru a využívají se pro trémové konstrukční prvky. Naproti tomu materiál s označením LVL X má 1/5 vrstev potočených o 90° což zvyšuje nosnost, tvarovou stálost a tuhost při deskovém působení. LVL X se používá pro nosné opláštění střech a stropů, zpevnění stěnové, stropní a střešní konstrukce, ohýbané konstrukční prvky a další. Konstrukční prvky z vrstveného dřeva mají při stejné pevnosti mnohem menší průměr (Obr. 10) a s tím spojenou menší hmotnost. Podle způsobu použití je průběh dých bud horizontální (deskové materiály) nebo vertikální (konstrukční prvky) (STEICO AG 2023).

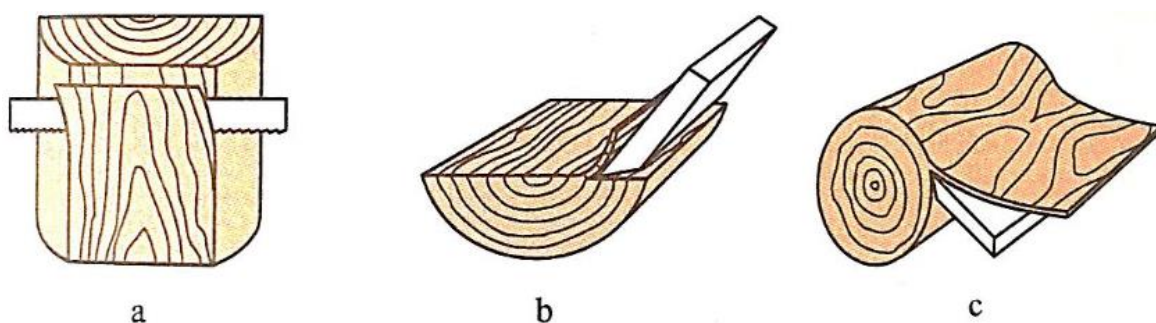


Obr. 10 - Rozměry průřezů se stejnou pevností v ohybu (Svoboda 2018)

a) masivní dřevo, b) lepené dřevo, c) vrstvené dřevo

3.2.3 Výroba dýh

Dýha je tenký list dřeva, který se vyrábí centrickým nebo excentrickým loupáním, krájením nebo řezáním z kmene stromu (Obr. 11). Každý způsob se využívá pro jiné účely. Nejvíce používaný způsob je centrické loupání, kdy se otáčením kmene loupe pomocí nože dlouhý pás dýhy, který se následně formátuje a využívá se pro výrobu konstrukčních materiálů. Tloušťka těchto dýh se pohybuje mezi 1–3 mm. Loupané dýhy má strukturu tangenciálního řezu dřevem. Krájené dýhy se využívají při výrobě okrasných dýh. Různým pootočením kmene při krájení lze získat nespočet různých vzorů okrasných dýh. Tloušťka těchto dýh je okolo 1 mm, proto se podlepují nebo se s nimi podýhovávají deskové materiály jako např. třískové, vláknité, překližované nebo lat'ové desky. U obou způsobů nevzniká při výrobě žádný následný odpad ve formě pilin a mají největší výtěžnost. Výroba řezaných dýh je nejméně využívaný způsob, při kterém vzniká velké množství prořezu a pilin. Řezané dýhy se používají hlavně při restaurování starého nábytku, kde byly tyto dýhy používané v minulosti (Böhm 2012; Sandberg 2018).



Obr. 11 - Způsoby výroby dýhy (Mošna 1997)

a) řezání, b) krájení, c) loupání

3.3 Lepidla

Lepidla jsou nekovové materiály v pastovité, kapalné nebo pevné formě a používají se k trvalému spojení dvou a více ploch dohromady. Ke spojení využívají adhezivní a kohezivní síly působící přes rozhraní ploch. Velká výhodou téměř všech lepidel je relativně malé množství, které je potřeba k vytvoření spoje ve srovnání s výslednou hmotností produktu. Pevnost lepeného spoje závisí na několika parametrech:

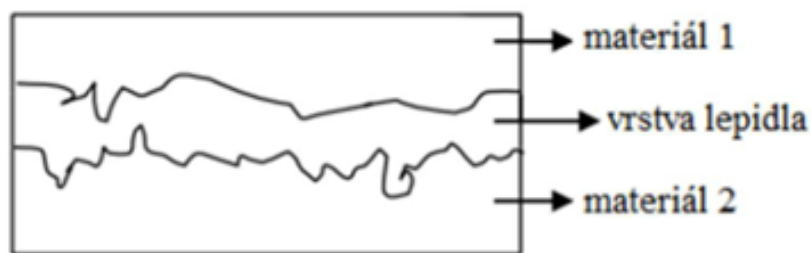
- adhezi – přilnavosti lepidla k lepeným plochám,
- kohezi – soudržnosti hmoty lepidla,
- smáčivosti – umožnění lepidla dosáhnout těsného kontaktu s plochou,
- pevnosti – soudržnost lepeného materiálu (Belgacem 2016).

3.3.1 Adheze

Výborná adheze neboli přilnavost lepidla k lepené ploše, je hlavním předpokladem pro kvalitní spojení lepených ploch. V opačném případě dojde k rozlepení spoje. V tomto případě je vnitřní soudržnost lepidla (koheze) i vlastní pevnost materiálu vyšší než přilnavost lepidla k lepené ploše (adheze). Vznik adhezních sil mezi lepenou plochou a lepidlem jsou dva teoretické modely:

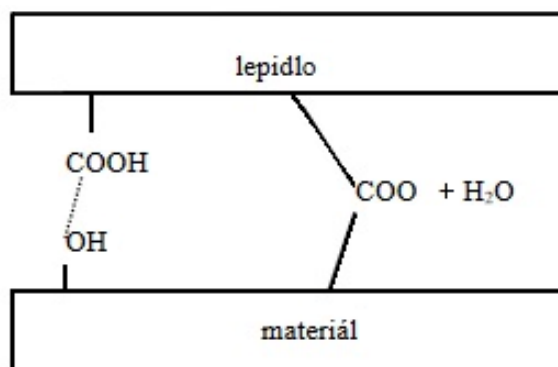
- mechanická vazba,
- chemická vazba (Reinprecht 2008).

Mechanickou vazbu lze využít jen u porézních nebo členitých povrchů (Obr. 12). Tekuté lepidlo pronikne do nerovností, pórů a členitostí lepené plochy a utvoří pevné spojení. Této skutečnosti se využívá pro lepení dřeva, papíru, keramiky nebo pěnových plastů. Naopak nepoužitelná je pro lepení hladkých a leštěných materiálů (Pizzi 1989).



Obr. 12 - Vznik mechanické vazby (Lear a.s. 2023)

Chemickou vazbu (Obr. 13) lze využít u pórovitých i zcela hladkých lepených ploch. Chemická vazba je založena na působení slabých elektrických van der Waalsových přitažlivých sil, které vznikají mezi molekulami lepidla a lepenou plochou. Dále je založena na přímém chemickém působení lepidla na lepený povrch. Z tohoto důvodu se výborně lepí materiály s reaktivním povrchem nebo povrchem chemicky upraveným. Zde proběhne chemická reakce mezi lepidlem a povrchem lepené plochy za vzniku kovalentní vazby. Tento druh lepení se využívá pro oxidovaný povrch lepeného materiálu, jako jsou oxidované plasty a kovy, dále přírodní polymery jako celulóza, papír a dřevo. Povrchy těchto materiálů musí mít volné chemické skupiny oxy-, hydroxy-, karbonyl-, karboxymethyl-, amino-, nebo jiné. Zvolené lepidlo musí obsahovat volné skupiny, které jsou schopné reakce s povrchem lepeného materiálu. Jako vysoce reaktivní skupiny se u lepidel vyskytují například skupiny epoxy-, hydroxy-, karboxy-, izokyanáto – a další (Reinprecht 2008; Belgacem 2016).



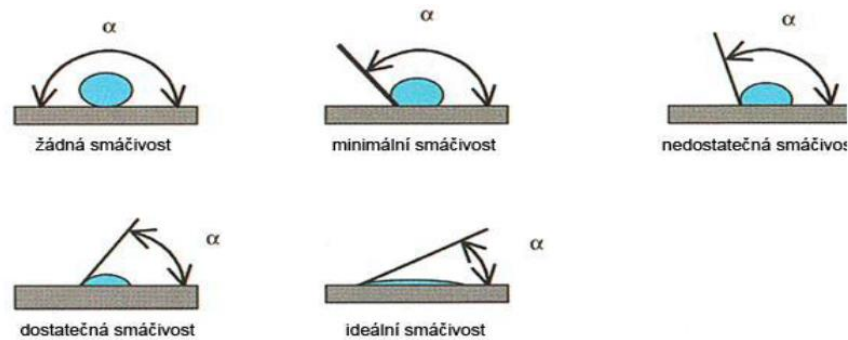
Obr. 13 - Vznik chemické vazby (Lear a.s. 2023)

3.3.2 Smáčivost

Vedle chemické a mechanické vazby je zvláště důležitá smáčivost kapalného lepidla na povrch lepené plochy. Pokud se lepidlo nedokáže rovnoměrně rozprostřít po povrchu lepeného materiálu, nemůže vzniknout pevná adhezní vazba a spoj se rozpadne. Smáčivost je závislá na polaritě povrchu lepeného materiálu a na povrchovém napětí lepidla a povrchu. Molekuly lepidla jsou jednostranně elektricky orientovány tedy jsou polární. Je to z důvodu obsahu velkého množství reakce schopných chemických skupin v lepidle. V odborné literatuře se tento jev přirovnává k magneticky přitažlivé síle mezi opačnými póly magnetu. Mezi tyto povrchy řadíme například dřevo, papír a jiné deriváty celulózy, mírně povrchově oxidované kovy, přírodní textilie, ale například i sklo a další. Mezi nepolární povrchy patří mnohé plasty, vosk a syntetické textilie (Pizzi 1989).

Povrchovým napětím se vyjadřuje energie, která vznikne polaritou povrchu materiálu. Materiál je polárnější, čím je vyšší hodnota povrchového napětí materiálu. V případě, že je povrchové napětí kapalného lepidla nižší než povrchové napětí pevné lepené plochy, dochází k rovnoměrnému rozlití lepidla po lepené ploše. Naopak jestliže je povrchové napětí kapalného lepidla vyšší než napětí pevné lepené plochy, lepidlo se nerozlije a zůstane na povrchu lepené plochy jako kulička. V tomto případě bude adheze slabá a lepený spoj se rozpadne. Z těchto důvodů je velmi důležitá příprava lepené plochy (Reinprecht 2008).

Povrchovou energii a smáčivost povrchu můžeme určit měřením kontaktního úhlu (obr. 14). Je to úhel, který svírá tečna k povrchu kapky lepidla a lepené plochy. Povrch je smáčivý, jestliže je kontaktní úhel menší než 90° . Naopak pokud je úhel větší než 90° , je povrch lepené plochy nesmáčivý (Lenfeld 2016).



Obr. 14 - Smáčivost dle kontaktního úhlu (Lenfeld 2016)

3.3.3 Koheze

Vlastní pevnost vrstvy lepidla mezi lepenými plochami se nazývá koheze. Pokud se lepený spoj roztrhne ve vrstvě lepidla, plyne z toho, že adheze a pevnost lepených ploch byla vyšší než koheze lepidla. Vysokou kohezi mají dvousložkové epoxidy. Parametrem ovlivňujícím kohezi je teplo. Některá lepidla při vyšších teplotách měknou. Jedná se o termoplasty, které jsou ve velké míře využívány v truhlářství (Reinprecht 2008).

3.3.4 Polyuretanová lepidla (PUR)

Polyuretanová lepidla se skládají z dlouhých polyolefinových řetězců spojených dohromady kratšími pevnými segmenty tvořenými diizokyanátem a v některých případech prodlužovači řetězců. Předností PU lepidel je možnost lepení materiálu s rozdílnou povrchovou vlhkostí. Toto je umožněno díky reakci izokyanátů s aktivním vodíkem na povrchu, pod

povrchem i ve vzduchu. PU lepidla mají poměrně krátkou dobu vytvrzení cca 3-4 hodiny, po této době je spoj odolný proti vodě. Nevýhodou lepidel jsou izokyanátové výpary a nutnost vysokého tlaku při lepení spoje. Polyuretanová lepidla se aplikují na lepení rámců oken, vchodových dveří, venkovních dřevěných konstrukcí, sendvičových hranolů a trámů (Belgacem 2016; Sandberg 2018).

3.3.5 EPI lepidla

Zkratka EPI vychází z aligického názvu isocyanate emulsion polymer neboli emulzní izokyanátový polymer. Lepidla EPI jsou disperzní lepidla, která mohou být založena na různých polymerech. Obecně neobsahují rozpouštědla, ale mohou obsahovat přísady pro úpravu zpracovatelských a lepicích vlastností lepidla. EPI lepidla jsou zesíťovaná pomocí relativně vysokého množství izokyanátu na bázi metylendifenyldiizokyanátových lepidel (MDI). Obvykle se přidává 15 % hmotnosti. Tato struktura vede k vysoké odolnosti vůči vodě a teplu. EPI lepidla jsou dvousložková. Mají krátkou dobu zpracování díky vysoké reaktivitě na adhezni plochu tělesa (Grøstad 2010; TKH 2015).

Izokyanáty jsou reaktivní sloučeniny. Musí se brát v úvahu jejich dráždivý účinek na oči, kůži a dýchací ústrojí. Při aplikaci musí být dostatečně větraný prostor. Tento druh lepidel nachází uplatnění v aplikacích, kde je nejen potřeba vysoká vlhkostní odolnost D4, ale i odolnost proti vysokému teplotnímu namáhání např. vstupní dřevěné dveře, nosníky glulam a další (Grøstad 2010; Kiilto Oy 2023).

3.4 Fyzikální vlastnosti dřeva

Fyzikální vlastnosti se zkoumají bez porušení celistvosti materiálu a jeho chemického složení. Mezi fyzikální vlastnosti dřeva řadíme hustotu, vlhkost, tepelnou vodivost, akustiku, dielektrické vlastnosti a další. Díky anizotropii dřeva jsou tyto atributy rozdílné v různých směrech růstu vláken (Požgaj 1997).

3.4.1 Vlhkost

Dřevo je podobně jako další přírodní materiály hygroskopické. Tedy přijímá nebo odevzdává vodu do okolního prostředí, a to v kapalně nebo plynně podobě. Schopnost přijímat a

odevzdávat vlhkost mezi dřevem a okolím závisí na relativní vlhkosti a teplotě okolního prostředí – vzduchu. Dřevo má tedy neustále snahu vyrovnat svou vnitřní vlhkost v závislosti na okolních podmínkách a dosáhnout rovnovážného stavu. Změna vlhkosti dřeva v závislosti na prostředí má zásadní vliv na vlastnosti dřeva a jeho následné použití (Glass 2010).

Vlhkost můžeme zjednodušeně definovat jako obsah vody ve dřevě. Podle způsobu výpočtu rozdělujeme vlhkost na relativní a absolutní. Absolutní vlhkost je podíl hmotnosti samotné vody a absolutně suchého dřeva. Absolutní vlhkost se nejvíce využívá k definici fyzikálních a mechanických vlastností:

$$W_{abs} = \frac{m_W - m_0}{m_0} \times 100 = \frac{m_v}{m_W} \times 100 \quad (\%) \quad [1]$$

kde je w_{abs} – absolutní vlhkost dřeva (%), m_v – hmotnost vody ve dřevě (g), m_0 – hmotnost absolutně suchého vzorku (g) (Horáček 2008).

Relativní vlhkost se počítá jako poměr hmotnosti vody k hmotnosti mokrého dřeva. Takto lze zjistit procentuální zastoupení dřeva z celkové hmotnosti. Výsledná hodnota nikdy nemůže přesáhnout 100 % na rozdíl od hmotnosti absolutní. Tento výpočet se nejčastěji uplatňuje při nákupu dřeva:

$$W_{rel} = \frac{m_W - m_0}{m_W} \times 100 \quad (\%) \quad [2]$$

kde je w_{rel} – relativní vlhkost dřeva (%), m_v – hmotnost vody ve dřevě (g), m_w – hmotnost vlhkého vzorku (g) (Horáček 2008).

K přepočtu mezi relativní a absolutní vlhkostí se využívají vztahy:

$$w_{rel} = \frac{100 * w_{abs}}{100 + w_{abs}} \quad (\%) \quad [3]$$

$$w_{abs} = \frac{100 * w_{rel}}{100 - w_{rel}} \quad (\%) \quad [4]$$

Vodu nacházející se ve dřevě rozdělujeme na tři druhy – chemicky vázanou, vázanou a volnou. Voda chemicky vázaná je nedílnou součástí dřeva a její celkové množství je 1–2% sušiny dřeva. Nelze jí odstranit sušením, ale pouze spálením. Tato voda nemá vliv na fyzikální ani mechanické vlastnosti dřeva. Voda vázaná neboli hygrokopická, se nachází v buněčných

stěnách a vážou ji vodíkové můstky hydroxylových skupin OH amorfních částí celulózu a hemicelulózu. Ve dřevě se vyskytuje při vlhkosti 0–30 % a má největší vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva. Obecně lze říct, že s rostoucím podílem vody vázané ve dřevě klesají jeho mechanické a fyzikální vlastnosti. Voda volná nebo také kapilární se vyskytuje v mezibuněčných prostorech a v lumenech buněk, a to jen za předpokladu, že jsou buněčné stěny maximálně nasyceny vodou vázanou. To nastane při vlhkosti dřeva vyšší než 30 % do maximální vlhkosti okolo 150–200 %. Na fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva má podstatně menší vliv než voda vázaná (Šlezingerová 2009).

3.4.2 Hustota

Hustota dřeva, výstižněji objemová hustota, je kvůli struktuře dřeva velice proměnlivá. Rozdíly jsou nejen mezi jednotlivými druhy dřeviny, ale i v umístění dřeva v délce stromu. Tato skutečnost je dána růstovými podmínkami dané dřeviny. Většina mechanických vlastností dřeva souvisí s hustotou. Vlhkost dřeva velmi ovlivňuje hustotu. Hustotu rozdělujeme podle vlhkostních stavů:

- hustota suchého dřeva ($w = 0 \%$),
- hustota vlhkého dřeva ($w > 0 \%$),
- hustota dřeva při vlhkosti 12 % (Hájek 2018).

Se vzrůstající vlhkostí stoupá i hmotnost dřeva, která roste až do nejvyššího možného nasycení. Objem dřeva roste pouze do meze hygroskopicity. Z tohoto důvodu se objem a hmotnost dřeva nezvětšují úměrně. Hustotu dřeva definujeme vztahem:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [5]$$

kde je m – hmotnost dřeva (kg), V – objem dřeva (m^3).

Hustota dřeva při vlhkosti dřeva w (%) vlhkosti definuje vztah:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} = \frac{m_0(1+0,01W)}{V_0(1+0,01\beta_V W)} = \rho_0 \frac{1+0,01W}{1+0,01\beta_V W} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [6]$$

kde je m_w – hmotnost mokrého dřeva (kg), m_o – hmotnost absolutně suchého dřeva (kg), V_w – objem mokrého dřeva (m^3), V_o – objem absolutně suchého dřeva (m^3), ρ_o – hustota dřeva v absolutně suchém stavu ($kg \cdot m^{-3}$), β_v – součinitel objemového bobtnání (%) (Požgaj 1997).

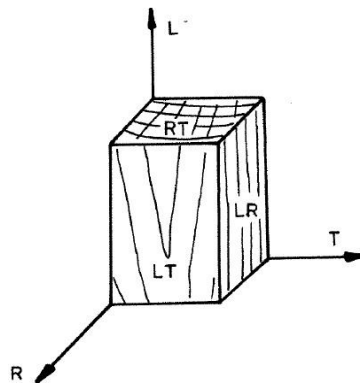
3.5 Mechanické vlastnosti dřeva

Mechanické vlastnosti dřeva charakterizují schopnost dřeva odolávat účinku vnějších sil. Mechanické vlastnosti dělíme do tří skupin:

- základní – pružnost, pevnost, plastičnost,
- odvozené – tvrdost, houževnatost, odolnost proti tečení, odolnost proti trvalému zatížení a odolnost proti únavovému lomu,
- technologické – štípatelnost, opotřebování, impregnovatelnost, ohýbatelnost a schopnost držet spojovací prostředky (Horáček 2008).

Jelikož má dřevo anizotropní charakter, jsou tyto vlastnosti velmi odlišné v podélném směru vláken a ve směru kolmém na vlákna. Způsobuje to orientace dřevních buněk a různé vazebné energie chemických složek dřeva. Pevnostní vlastnosti v rovnoběžném směru vláken jsou několikanásobně vyšší než pevnostní vlastnosti kolmo k vláknům. Pro popis mechanických vlastností dřeva jsou zavedeny tři roviny pružné symetrie (Obr. 15):

- příčná (transversální), značená RT,
- radiální, značená LR a
- tangenciální, značená LT (Horáček 2008).



Obr. 15 - Tři roviny pružné symetrie (Požgaj 1997)

3.5.1 Základní pojmy

3.5.1.1 Napětí

Napětí se charakterizuje jako velikost vnitřních sil, které jsou výsledkem působení vnějších mechanických sil. Síly působící na těleso mohou být v prostoru orientovány a působit na těleso až v šesti vzájemně kolmých rovinách. Jako příklad lze uvést hydrostatický tlak, který působí rovnoměrně na všechny stěny tělesa. Napětí σ_{ij} působící na stěnách elementu homogenně namáhaného tělesa se určí dle vztahu:

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ (MPa)} \quad [7]$$

kde je F – síla působící na plochu (N), S – plocha (m^2) (Matovič 1993).

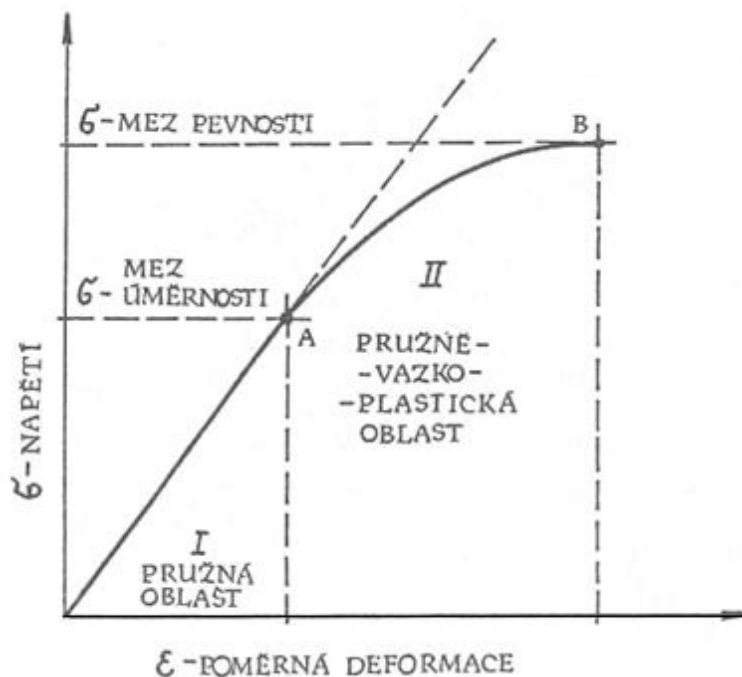
Jednotlivé vektory napětí lze rozložit na každé straně krychle do tří složek, jedné normálové σ_{ij} a dvou tangenciálních τ_{ij} složek. Normálové napětí vzniká působením síly kolmo na průřezovou plochu tělesa. Příkladem jsou napětí v tahu a tlaku. Naproti tomu tangenciální (smykové) napětí vznikne při působení síly v rovině průřezu. Příkladem tangenciálního napětí je napětí ve smyku. Při kombinaci normálového a smykového napětí vzniká ohyb (Gandelová 2009).

3.5.1.2 Deformace

Deformace dřeva je změna tvaru a rozměru, která je závislá na působení mechanických sil. Síly působící na těleso jsou v prostoru orientovány různými směry. Pro zobrazení působení vektorových sil je potřeba šest vzájemně kolmých rovin. Normálové deformace ε , které vznikají působením normálového napětí, označujeme jako prodloužení nebo zkrácení. Při tangenciálním (smykovém) napětí vzniká smyková deformace γ kroucením tělesa do kosodélníkového tvaru. Deformace udává odpor dřeva proti působícímu napětí. Z jakostního hlediska se deformace dělí na pružné deformace ε_p , deformace pružné v čase $\varepsilon_{p\dot{c}}$ a plastické deformace ε_{pl} . Pružná deformace je vratná změna tvaru a rozměrů tělesa, která odezní ihned po ukončení působení vnějších mechanických sil. Pružná deformace v čase je vratná změna tvaru a rozměrů tělesa, která odezní v průběhu času po ukončení působení vnějších mechanických sil. Plastická

deformace je trvalá změna rozměrů a tvaru. Po ukončení působení vnějších mechanických sil těleso získává nový tvar a rozměry. Deformace tělesa způsobená mechanickými silami (napětími) je součtem všech těchto deformací $\varepsilon_c = \varepsilon_p + \varepsilon_{pc} + \varepsilon_{pl}$. (Požgaj 1997; Horáček 2008).

Vztah mezi deformací a napětím lze vyjádřit v obecném pracovním diagramu, který dělíme na lineární a nelineární část (Obr. 16). Lineární část je od počátku po mez úměrnosti a nelineární část se nachází mezi mezí úměrnosti a mezí pevnosti. Po mez úměrnosti působí deformace pružné. V této oblasti je působící napětí v tělese rozprostřeno rovnoměrně. Po ukončení působení napětí se deformace vyrovnávají a těleso získá původní tvar a rozměry. Napětí nad mezí úměrnosti není v tělese rozprostřeno rovnoměrně a vznikají deformace pružné v čase a plastické deformace. Mez pevnosti je napětí, při kterém dojde k porušení celistvosti tělesa (Matovič 1993; Požgaj 1997).



Obr. 16 - Obecný pracovní diagram (Matovič 1993)

3.5.2 Základní mechanické vlastnosti

Mechanické namáhání je proces vzájemného působení mechanických sil a dřeva. Vzájemným působením těchto sil dochází ke změně tvaru tělesa, a to buď trvalé nebo dočasné. Namáhání dřeva je možné, podle fyzikální podstaty sil, rozdělit na mechanické vlhkostní, chemické a jejich kombinace. Při použití dřeva pro konstrukční účely dochází nejčastěji ke kombinaci mechanického a vlhkostního namáhání. Pro tento způsob namáhání se musí počítat s vlivem času (Horáček 2008).

3.5.2.1 Pružnost

Pružnost dřeva je definovaná jako schopnost dřeva dosáhnout původních rozměrů a tvaru po přerušení působení vnějších sil a je dána hodnotami modulu pružnosti. Ty určují vnitřní odpor tělesa proti pružné deformaci (tuhost). S rostoucím modulem pružnosti je zapotřebí působení větší síly k vyvolání deformace. Rozlišujeme dva druhy modulů pružnosti. Při normálovém namáhání se jedná o Youngovy moduly pružnosti E a při tangenciálním namáhání o smykové moduly pružnosti G . Tyto hodnoty jsou důležitým prvkem pro výpočet statických dřevěných konstrukcí (Hájek 2018).

3.5.2.2 Pevnost

Pevnost dřeva určuje schopnost dřeva klást odpor proti trvalému porušení při mechanickém zatížení. Hodnota této vlastnosti je mez pevnosti, která představuje maximální zatížení, které vydrží těleso bez destrukce. Mez pevnosti se určuje pro tlak, tah, smyk, ohyb a kroucení. Díky anizotropii dřeva se tyto charakteristiky určují v několika směrech na růstu vláken – podélném, radiálním a tangenciálním (Matovič 1993). Pevnost dřeva v zásadě můžeme rozdělit podle:

- stavu napjatosti – jednoosá a víceosá,
- způsobu zatížení – tlak, tah, ohyb, krut a smyk,
- časového průběhu zatížení – statické a dynamické,
- účinků zatížení na dřevo – destruktivní a nedestruktivní způsob (Horáček 2008).

Mezi faktory, které ovlivňují pevnost a pružnost dřeva patří vlhkost. Se vzrůstající vlhkostí do meze hygroskopicity se pevnost a pružnost snižuje. Nad mezí hygroskopicity už vlhkost mechanické vlastnosti neovlivňuje. Vliv vlhkosti na mechanické vlastnosti dřeva je důležité sledovat z pohledu použití dřeva pro konstrukční účely. Mezi moduly pružnosti a hustotou dřeva existuje přímo úměrná závislost. Vliv hustoty dřeva na mechanické vlastnosti není přímo závislý. Pevnost dřeva není závislá na objemu dřevních složek, ale spíše na anatomické stavbě dřeva (Gandelová 2009).

3.5.3 Odvozené vlastnosti

Do této skupiny vlastností řadíme ty druhy zatížení, které vyvolávají složité stavy

napjatosti, a proto je nemůžeme řadit do některého z předešlých základních způsobů silového působení. Jedná se zpravidla o kombinace základních způsobů zatížení v rámci jedné vlastnosti. Např. při tvrdosti se projevuje nejvíce tlak, smyk a ohyb. V této kapitole se budeme zabývat jen těmi odvozenými a technologickými vlastnostmi, které mají uplatnění v procesu zpracování dřeva (Horáček 2008).

3.5.3.1 Tvrdost

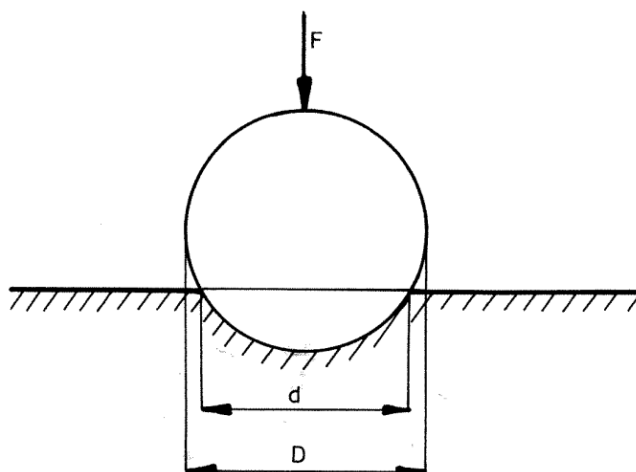
Určení tvrdosti materiálu není tak jasné jako například pevnost nebo modul pružnosti. Existuje několik typů tvrdosti a mnoho testů a stupnic tvrdosti. V principu jsou tři druhy tvrdosti: odolnost proti poškrábání, statická tvrdost a dynamická tvrdost. Pro určení statické tvrdosti se používají různé tvary indentorů. Pro tvrdé materiály, jako je ocel, dobře fungují indentory s ostrým koncem – kužel pro Rockwellovu zkoušku, pyramida pro Vickersovu zkoušku nebo prodloužená pyramida pro Knooppovu zkoušku. Pro dřevo se nejvíce hodí zaoblené indentory, jako je koule pro zkoušky podle Brinella, Janka, Krippela nebo Meyera a válec pro Monninovu zkoušku. Vzhledem ke specifické struktuře dřeva v zásadě rozlišujeme tvrdost na podélných řezech a výrazně vyšší tvrdost na příčném řezu (Koczan 2021).

Statická tvrdost definuje schopnost dřeva klást odpor proti vniknutí jiného tělesa do jeho struktury. Tato vlastnost má velký vliv při zpracování dřeva. Čím je dřevo tvrdší, tím více odolává průniku řezné hrany a zvyšuje opotřebení nástroje. Podle druhu zatížení rozlišujeme tvrdost statickou a dynamickou. Pro zjištění statické tvrdosti využíváme několik metod. Nejpoužívanější jsou metody podle Brinella a podle Janka (Gandelová 2009; Koczan 2021).

Metoda podle Brinella (Obr. 17) spočívá v zatlačování ocelové kuličky o průměru 10 mm statickým zatížením do čelní, radiální nebo tangenciální plochy dřeva. Velikost síly, potřebné k zatlačení kuličky, je u velmi měkkých dřevin 100 N, u středně měkkých dřevin 500 N a u tvrdých dřevin 1000 N. Plocha otláčení se následně vypočte z průměru otláčené plochy od kuličky. Tvrdost (H_B) je potom udána vztahem:

$$H_B = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ (MPa)} \quad [8]$$

kde je F – působící síla na kuličku (N), D – průměr kuličky (mm), d – průměr otláčené plochy ve dřevě (mm) (Gandelová 2009).



Obr. 17 - Schématické znázornění měření tvrdosti podle Brinella (Požgaj 1997)

Metoda podle Janka využívá zatlačování kuličky o průměru 11,28 mm do hloubky 5,54 mm, tím vznikne otláčená plocha 100 mm². Síla F , která je spotřebována na zatlačení kuličky, udává tvrdost H_j :

$$H_j = \frac{F}{S} \text{ (MPa)} \quad [9]$$

kde je F – síla potřebná na zatlačení kuličky (N), S – otláčená plocha (mm²) (Gandelová 2009).

Statická tvrdost je na příčné rovině obecně vyšší než na podélných – radiální a tangenciální (Tab. 3). Rozdíly v tvrdosti mezi radiální a tangenciální rovinou jsou u většiny druhů dřevin bez větších rozdílů. Jen u dřevin listnatých stromů s dobře vyvinutými dřevnými paprsky (dub, buk) je tvrdost v radiální rovině větší než v tangenciální, přibližně o 5–10 %. Nejvíce tvrdost dřeva ovlivňuje jeho vlhkost. Změnou vlhkosti vody vázané o 1 % se změní statická tvrdost nepřímo o 3 %. Podle údajů o čelní statické tvrdosti dřeva při vlhkosti 12 % se mohou dřeva dělit do 5 skupin:

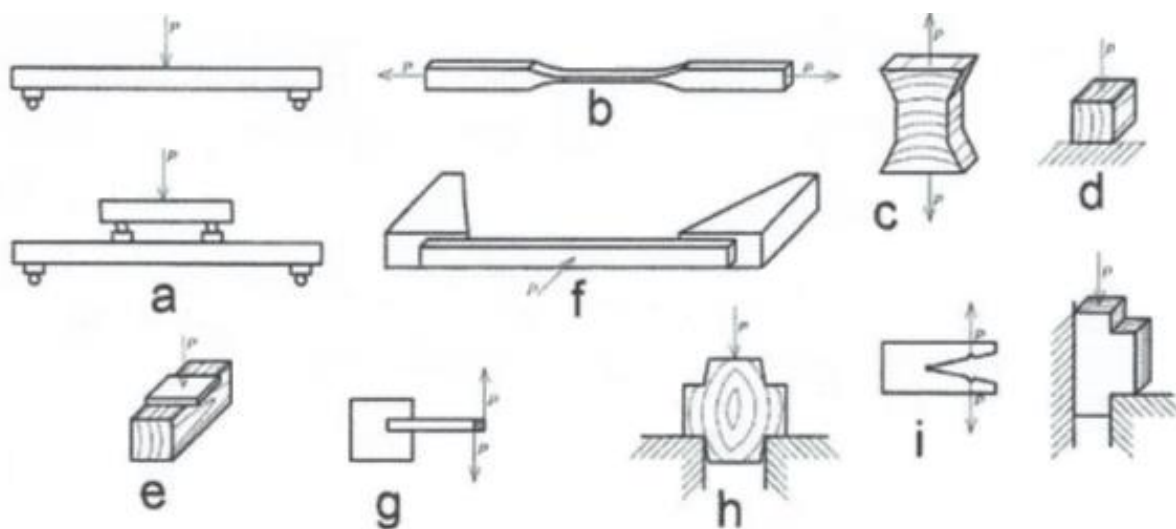
- měkká dřeva ≤ 40 MPa – borovice, smrk, olše, topol, lípa,
- středně tvrdá dřeva 41–80 MPa – modřín, dub, jasan, buk, javor, bříza,
- tvrdá dřeva 81–100 MPa – habr, akát,
- velmi tvrdá dřeva 101–150 MPa – zimoztráz,
- super tvrdá dřeva ≥ 150 MPa – eben, guajak (Horáček 2008).

Tab. 3 - Hodnoty statické tvrdosti vybraných druhů dřev (Horáček 2008)

Druh dřeva	Tvrdost dřeva na ploše (MPa) při vlhkosti					
	Příčná		Radiální		Tangenciální	
	12 %	≥ 30 %	12 %	≥ 30 %	12 %	≥ 30 %
modřín	43,5	20,5	29	13,5	29	14
borovice	28,5	13,5	24	11	25	11,5
smrk	26	12	18	8,5	18,5	8,5
jedle	28	13	17	8	-	-
dub	67,5	40	56	33,5	49	29
jasan	80	48	59	35	67	39,5
buk	61	36,5	43,5	25,5	44,5	26,5
topol	26,5	15,5	18,5	11,5	20	11,5

3.5.4 Způsoby mechanického namáhání

Mechanickým namáháním rozumíme působení všech vnějších sil na materiál (Obr. 18). Výsledkem působení sil jsou dočasné nebo trvalé změny. Mezi základní způsoby mechanického namáhání patří tah, tlak, ohyb, smyk a krut (Gandelová 2009; Hájek 2018).



Obr. 18 - Způsoby mechanického namáhání (Hájek 2018)

a) ohyb, b) tah ve směru vláken, c) tah kolmo na vlákna, d) tlak, e) tlak kolmo na vlákna, f) zkouška přerážením, g) krut, h) smyk, i) rozštípnutí

3.5.4.1 Smyk

Z důvodu anizotropní stavby má dřevo různou smykovou pevnost ve všech třech základních směrech. Jednosměrný smyk bez spolupůsobení dalších napětí se nevyskytuje. Z tohoto důvodu je obtížné stanovit podmínky čistého smyku ve dřevě. Při zatížení smykem působí na těleso ještě jiná napětí, např. tlaková a tahová. Smyk se zjišťuje při působení dvou

stejně velkých sil, které vyvolají vzájemné posunutí dvou sousedních průřezů. U dřeva se rozlišují následující pevnosti ve smyku – smyková pevnost ve směru vláken v radiální a tangenciální rovině, smyková pevnost napříč vláken v radiální a tangenciální rovině a smyková (stříhová) pevnost napříč vláken v příčné rovině v radiálním a tangenciálním směru. Smyková napětí napříč vlákeny vznikají v kolíkových spojích, stříhové napětí vnika pod kovovými spoji, hlavicemi svorníků apod (Horáček 2008).

Pevnost dřeva ve smyku podél vláken je poměrně malá. Dřevo jehličnatých dřevin má zhruba 1,5krát nižší smykovou pevnost než dřevo listnatých dřevin. Dále je u listnatých dřev rozdíl, zda působíme smykovým namáháním v tangenciální či radiální rovině, neboť v radiální rovině je smyková pevnost o 10–30 % nižší než v tangenciální rovině (Tab. 4). Tento rozdíl se zvyšuje se stoupajícím zastoupením dřevných paprsků ve dřevě (buk, habr). U dřev jehličnanů je smyková pevnost v obou rovinách přibližně stejná (Horáček 2008).

Tab. 4 - Průměrné hodnoty mezi pevnosti dřeva ve smyku ve směru vláken (Horáček 2008)

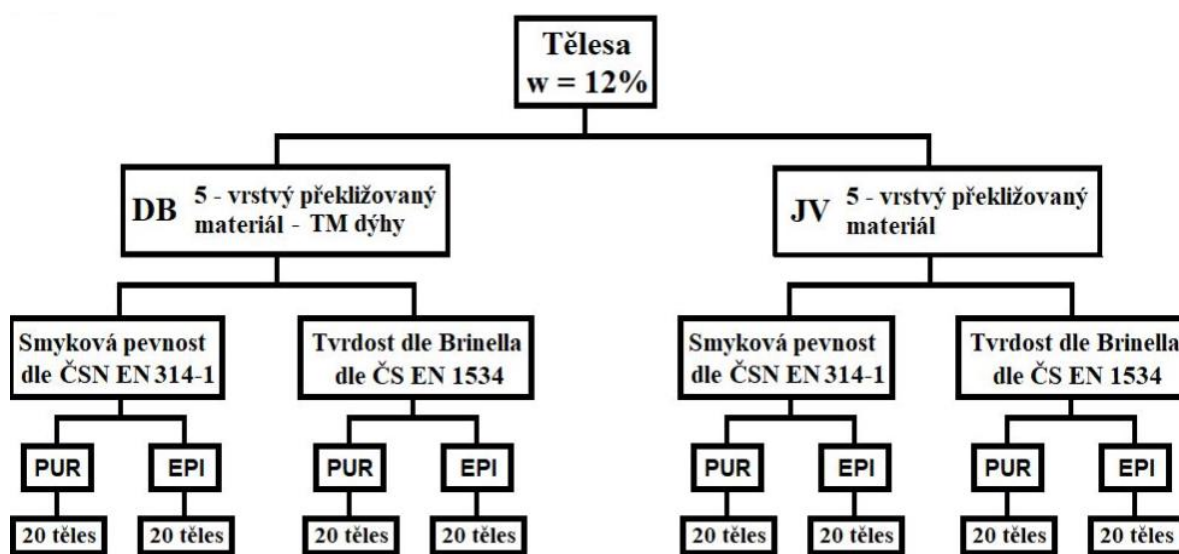
Druh dřeva	Mez pevnosti /MPa)			
	v radiální rovině při vlhkosti		v tangenciální rovině při vlhkosti	
	12 %	≥ 30 %	12 %	≥ 30 %
modřín	9,9	6,3	9,4	5,8
borovice	7,5	4,4	7,3	4,5
smrk	6,9	4,1	6,8	4,4
jedle	6,4	4,5	6,5	4,2
dub	10,2	7,6	12,2	9
jasan	13,9	9,4	13,4	8,7
buk	11,6	7	14,5	8,9
topol	6,1	3,4	7,2	4,2

4 Metodika

Jednotlivá měření probíhala dle norem v laboratořích ČZU v Dřevařském pavilonu Fakulty lesnické a dřevařské v Praze. Experimenty na zjišťování smykové pevnosti lepeného spoje byly prováděny podle normy ČSN EN 314-1 (2005), zatímco zjišťování tvrdosti podle Brinella probíhalo v souladu s normou ČSN EN 1534 (2020).

4.1 Příprava těles

Podle schématu na obrázku 19 byly tělesa rozdělena do několika skupin podle dřeviny, použitého lepidla a druhu měření. Zkušební tělesa byla složena z pěti vrstev překližované dýhy z javoru nebo dubu, které byly vzájemně slepeny pomocí PUR a EPI lepidel. V jednotlivých skupinách bylo 20 zkušebních těles, dohromady se jednalo o 160 těles. Pro každou skupinu byla připravena 4 tělesa navíc pro případ poškození zkušebních těles.



Obr. 19 - Schéma rozdělení měřených těles

Soubory dých byly sestaveny z dých o velikosti 170 × 170 mm a tloušťce 3 mm. Každý soubor byl sestaven z jednodruhových dubových nebo javorových dých. Na jednotlivé dýhy bylo nanášeno lepidlo EPI Kestokol WR 6040 nebo lepidlo PUR Kestopur 1010. Obě lepidla vyrábí finská firma Kiilto Oy. Vrstva lepidla odpovídala předepsaným hodnotám výrobce 200 g/m². Následně byly dýhy složeny do souborů a vloženy do dýchovacího lisu. Doba lisování byla pro každý druh lepidla jiná. Pro lepidlo PUR byl lisovací čas udáván výrobcem 30 min a u lepidla EPI 40 min. V dýchovacím lisu (Obr. 20) působil na tělesa jmenovitý tlak 1 MPa. Krátká

doba potřebná k vytvrzení je zapříčiněna dvousložkovou strukturou lepidel.



Obr. 20 - Dýchovací lis SCM Sergiani Leopeda gs 6/90

Výsledné soubory dých (Obr. 21) se nechaly týden při běžné teplotě v dílně aklimatizovat, aby se vytratily případné plastické deformace ve dřevě a došlo k úplnému vytvrzení lepidla a plné odolnosti spoje vůči vlhkosti.

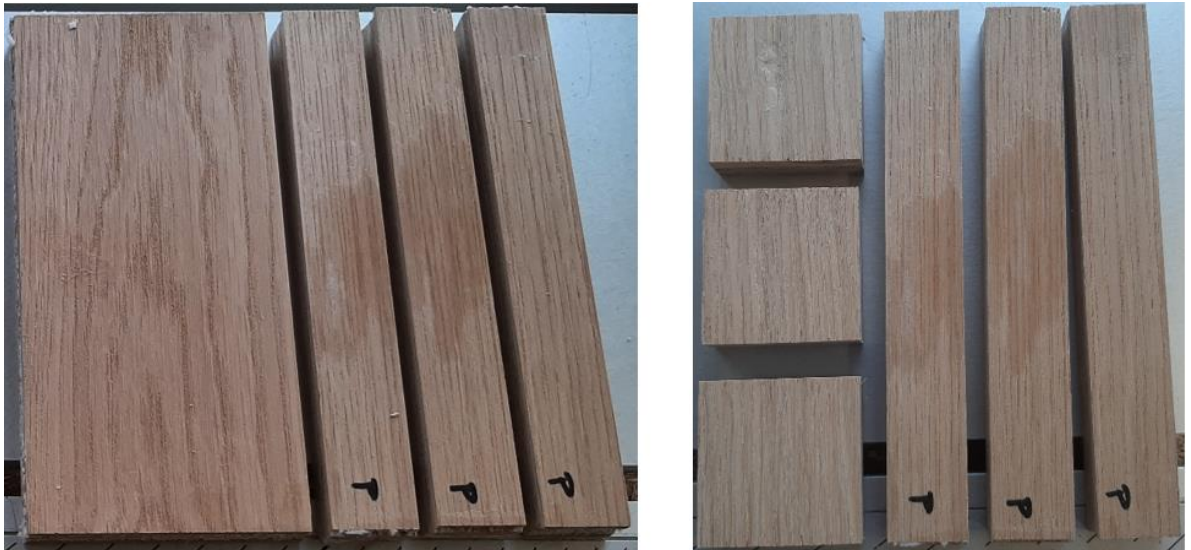


Obr. 21 - Překližovaný materiál po lisování

Následně se překližovaný materiál brousil na pásové brusce se zrnitostí brusného materiálu 120 z důvodu odstranění přetoků lepidla. Přetoky by mohly dělat problém při měření smykové pevnosti.

Z každého souboru dých vznikly 3 tělesa pro měření tvrdosti a 3 tělesa pro měření

smykové pevnosti lepeného spoje (Obr. 22). Pro měření smykové pevnosti měla zkušební tělesa velikost 150×25 mm a tloušťku 15 mm, na měření tvrdosti měla zkušební tělesa rozměr 50×50 mm a tloušťku 15 mm. Řezání probíhalo na formátovací pile (Obr. 23). Nejdříve se z jedné strany odřízl nedokonalý okraj s výtoky lepidla, aby se docílilo rovné hrany pro přesné formátování měřených těles. Následně se nařezala jednotlivá tělesa podélně a příčně se upravila na potřebnou délku.



Obr. 22 - Formátování měřených těles



Obr. 23 - Formátovací pila SCM si300 class

Zkušební tělesa se označovala (Obr. 24) pořadovým číslem vzorku, značením druhu lepidla (E-EPI lepidlo a P – PUR lepidlo) a druhem dřeviny (D – dub a J – javor). Označení druhu měření se neprovádělo z důvodu jasného rozlišení těles.



Obr. 24 - Značení měřených těles

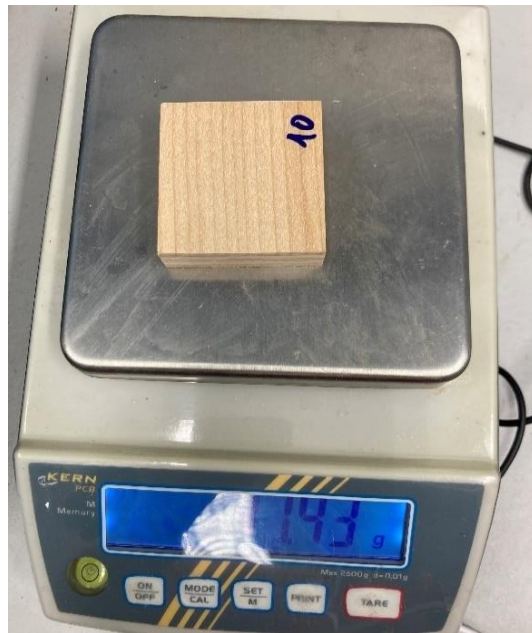
Před samotným měřením se nechala tělesa klimatizovat na vlhkost 12 %. Tělesa se v klimatizační komoře (Obr. 25) rozestavěla tak, aby mezi nimi mohl proudit vzduch pro dosažení maximálního klimatizačního účinku. Komora byla nastavena na relativní vlhkost $65 \pm 5 \%$ a teplotu $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dle normy ČSN EN 310 (1996) se považuje vlhkost tělesa za ustálenou na požadované vlhkosti, když rozdíl v hmotnosti tělesa během dvou vážení v rozmezí 24 hodin, není větší než 0,1 %.



Obr. 25 - Klimatizační komora (Mettler GmbH 2023)

Vážení těles probíhalo při klimatizaci těles v rámci zjištění jejich vlhkosti a před provedením měřících zkoušek pro zjištění hustoty měřených těles. Pro vážení byla použita digitální váha Kern PCB-2500-2 (Obr. 26).



Obr. 26 - Digitální váha Kern PCB-2500-2

Pro rozměrové měření bylo použito digitální posuvné měřítko od firmy KINEX (Obr. 27). Rozměry zkušebních těles byly přeměřovány během jejich klimatizace a před samotnými zkouškami.



Obr. 27 - Digitální posuvné měřítko od firmy KINEX

Hustota zkušebních těles se určovala podle normy ISO 13061-2 (2014). Pro výpočet

hustoty byl použit následující vzorec:

$$\rho_w = \frac{m_w}{R_{1w}R_{2w}R_{3w}} = \frac{m_w}{V_w} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}) \quad [10]$$

kde je ρ_w – hustota měřeného tělesa při vlhkosti w (g/cm^3), m_w – hmotnost měřeného tělesa při vlhkosti w (g), R_{1w} , R_{2w} , R_{3w} – rozměry měřeného tělesa při vlhkosti w (cm), V_w – objem tělesa při vlhkosti w (cm^3).

Hustota zkušebních těles po klimatizaci na 12 % před měřením tvrdosti podle Brinella byla pro překližovaný materiál z JV dých slepených PUR lepidlem $797 \text{ kg}/\text{m}^3$, pro překližovaný materiál z JV dých slepených EPI lepidlem $778 \text{ kg}/\text{m}^3$, pro překližovaný materiál z DB dých slepených PUR lepidlem $774 \text{ kg}/\text{m}^3$ a pro překližovaný materiál z DB dých slepených EPI lepidlem $714 \text{ kg}/\text{m}^3$.

Kestopur 1010 je jedno-složkové vlhkostí vytvrzující PU lepidlo pro spojování dřevěných materiálů. Vyrábí je finská firma Kiilto Oy a vyhovuje normě ČSN EN 15425 (2017). Je schváleno pro výrobu lepeného lamelového dřeva, CLT a pro lepení dřeva, kde je předpoklad požadavku na vysokou odolnost proti vlhkosti. Lepidlo se nanáší rovnoměrně na obě lepené plochy. Minimální lisovací čas je 30 min. Produktový list lepidla Kestopur 1010 je v příloze 1 a důležité hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 (Kiilto Oy 2023).

Tab. 5 - Vlastnosti lepidla Kestopur 1010 (Kiilto Oy 2023)

Typ	Polyuretan
Hustota	$1,2 \text{ kg}/\text{dm}^3$
Barva	Průhledná, po vytvrdnutí světlá
Otevřený čas	Max. 10 min
Lisovací čas	Min. 30 min
Teplota při aplikaci	$18\text{--}30 \text{ }^\circ\text{C}$
Vlhkost dřeva	6–20 %
Nános	$160\text{--}200 \text{ g}/\text{m}^2$ plošný spoj

Kestokol WR 6040 vyrábí finská společnost Kiilto Oy. Jedná se o izokyanátové emulzní polymerní lepidlo s vysokou odolností proti vlivům počasí, které splňuje požadavky třídy odolnosti proti vodě ČSN EN 204 (2017) D4. Lze ho tedy využít pro lepení zahradního nábytku, lamelové aplikace namáhané povětrnostními vlivy a také na lepení lodí, kde nesmí být spoje pod hladinou. Lepidlo se míchá s tvrdidlem M od stejného výrobce v poměru 15:100 (tvrdidlo: lepidlo). Lepidlo se musí nanášet rovnoměrně a vždy jen na jednu lepenou plochu. Lepené spojení lze lisovat za studena, ale při použití horkého nebo vysokofrekvenčního lisu se

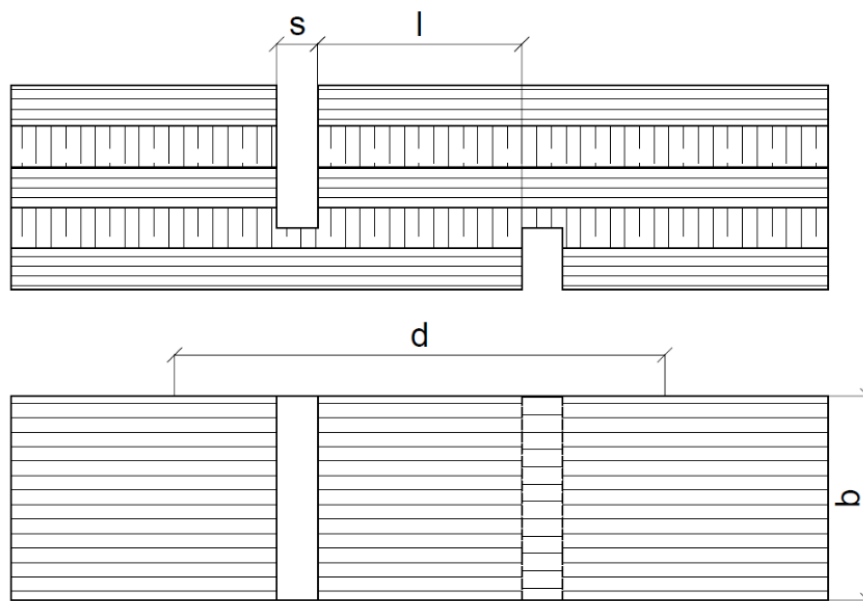
doba lisování zkracuje. Minimální lisovací čas je 40 min. Konečné vytvrdnutí a získání odolnosti nastane za 7 dní. Vybrané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6, produktový list Kestokol WR 6040 je v příloze 2 (Kiilto Oy 2023).

Tab. 6 - Vlastnosti lepidla Kestokol WR 6040 (Kiilto Oy 2023)

Typ	Izokyanát
Hustota	1,15 kg/dm ³
Barva	Světle béžová
Otevřený čas	Max. 24 min
Lisovací čas	Min. 40 min
Míchací poměr	100:15
Vlhkost dřeva	6–15 %
Nános	150–250 g/m ²

4.2 Měření smykové pevnosti lepeného spoje

Pro měření tahové smykové pevnosti lepeného spoje se musely proříznout dvě příčné drážky přes celou stranu zkušebního tělesa (Obr. 28 a 29). Obě drážky byly vedeny do půlky tloušťky druhé vrstvy, každá z opačné tangenciální strany tělesa. Tato vrstva musí mít směr vláken kolmý k podélné ose zkušebního tělesa. Jednotlivé parametry zkušebních těles dle normy ČSN EN 314-1 (2005) jsou l – délka smykové plochy $25 \pm 0,5$ mm, b – šířka smykové plochy $25 \pm 0,5$ mm, d – minimální vzdálenost čelistí zkušebního přístroje minimálně 50 mm a s – šířka pilového kotouče 2,5 až 4 mm.

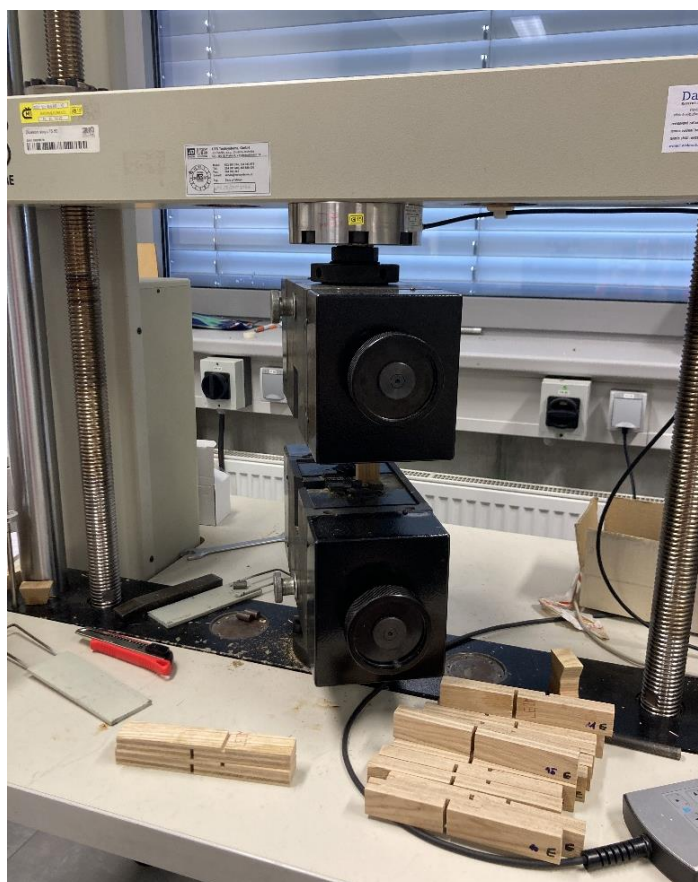


Obr. 28 - Schéma zkušebního tělesa



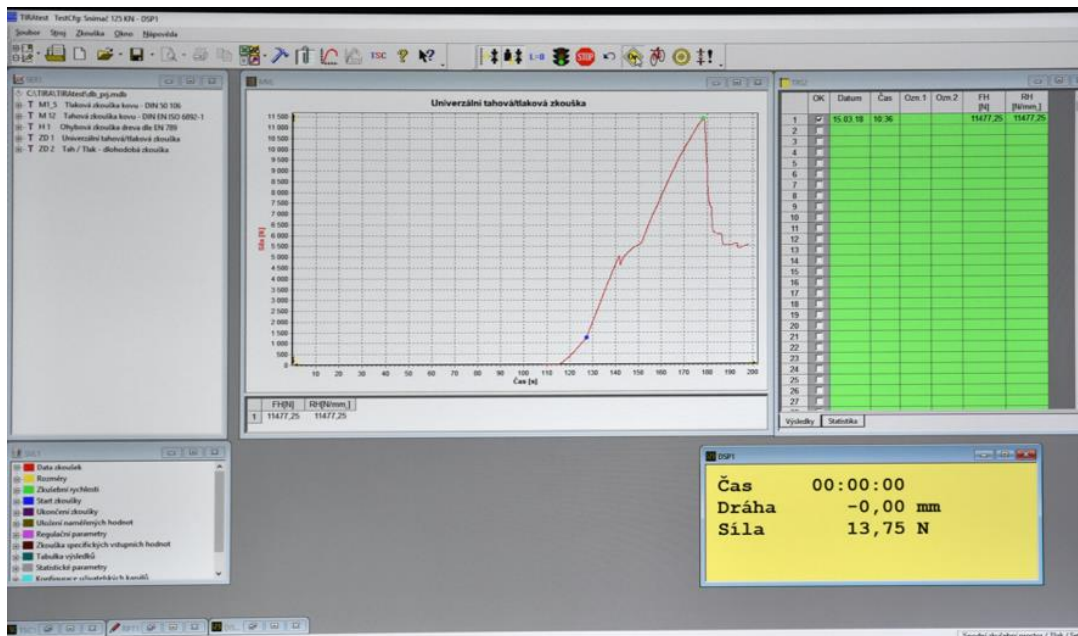
Obr. 29 - Prořez na zkušebních těles
(nahore javor, dole dub)

Měření probíhalo na zkušebním stroji UTS 50 (Obr. 30), který je připojen na počítač s řídicím softwarem TIRAtest. Přes tento software lze ovládat průběh zkoušky nastavením příslušných parametrů – doba posunu (rychlost posunu), délka posunu a síla. V našem případě byla délka posunu nastavena na hodnotu 2 mm/min.



Obr. 30 - Univerzální zkušební stroj UTS 50

Zkušební těleso bylo upnuto do čelistí, které zabezpečovaly jeho vycentrovanou polohu, tak aby byl zatěžován pouze lepený spoj v tahu. Systém byl nastaven na automatické zastavení a odečtení hodnoty síly při poklesu tahové síly o 50 %. Naměřené hodnoty byly pomocí softwaru TIRAtest (Obr. 31) přesunuty do programu MS Excel pro další vyhodnocování.



Obr. 31 - Software TIRAtest (TIRA GmbH 2023)

Maximální síla byla následně dosazena do vzorce pro výpočet pevnosti ve smyku lepeného spoje dle normy ČSN EN 314-1 (2005):

$$f_v = \frac{F_u}{2lb} \quad (\text{Nmm}^{-2}) \quad [11]$$

kde je F_u – maximální zatížení (N), l – délka smykové plochy (rozstup průřezů) (mm), b – šířka smykové plochy (mm).

4.3 Měření tvrdosti

Měření tvrdosti Brinellovou metodou na pětivrstvých překližovaných tělesech z dýh javoru a dubu (Obr. 32) probíhalo pomocí přístroje DuraVision-30 (Obr. 33). Síla vtisku byla nastavena na hodnotu 500 N.

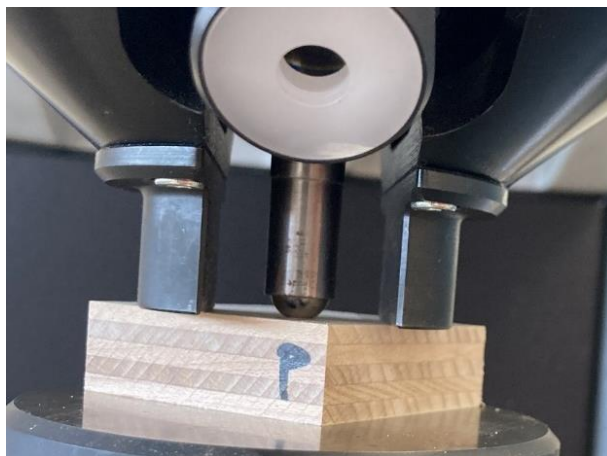


Obr. 32 - Zkušební tělesa pětivrstvého překližovaného materiálu



Obr. 33 - Tvrdoměr DuraVision-30

Na každém tělese proběhla celkem tři měření. Body měření byly voleny náhodně, vždy alespoň 15 mm od kraje tělesa. Výsledná hodnota tvrdosti podle Brinella je aritmetickým průměrem tří naměřených hodnot z jednoho tělesa. Hodnoty byly zapisovány do MS Excel pro následné výpočty a vyhodnocení.



Obr. 34 - Detail upnutí tělesa

5 Výsledky a diskuze

Výsledné hodnoty měření tahové smykové pevnosti lepeného spoje a tvrdosti podle Brinella byly vyhodnoceny ve statistickém programu Statistica 12 a pro výpočet se použila vícefaktorová analýza rozptylu ANOVA. Touto metodou zkoumáme vliv jednotlivých faktorů a jejich vzájemných kombinací na sledovanou charakteristiku. Pro posouzení jejich vzájemných kombinací a vlivů jednotlivých faktorů byl použit Fisherův F-test na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Fisherův F-test nám na dané hladině významnosti P ukazuje, zda je daný faktor významný či nevýznamný a pokud ano tak v jakém účinku. Sledovaný faktor se hodnotí podle hladiny významnosti P dle následujících kritérií:

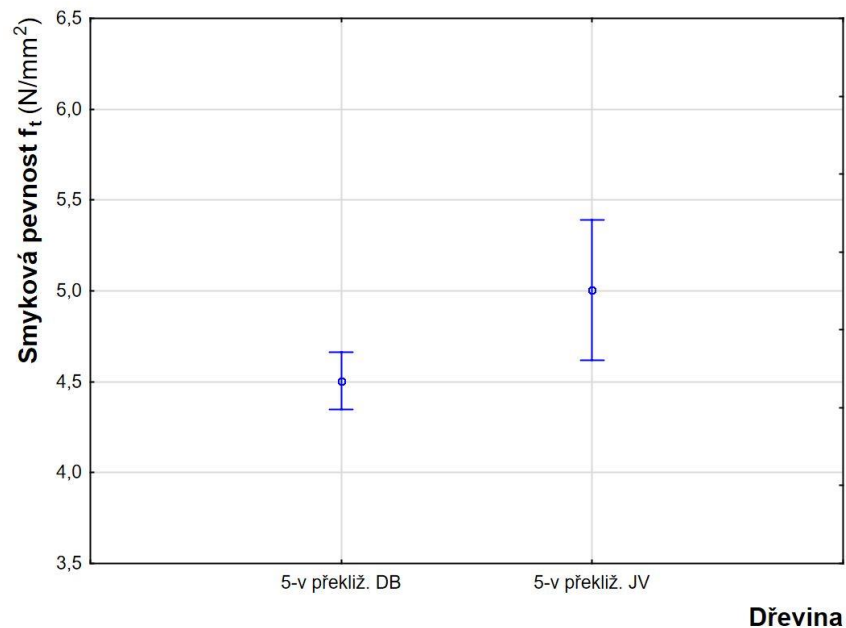
- $P < 0,05$ vliv faktoru je statisticky významný,
- $P > 0,05$ vliv faktoru není statisticky významný,
- $P = 0,05$ vliv faktoru se nachází na hranici statické významnosti,
- $P = 0$ faktor má vliv,
- $P < 0,001$ vliv faktoru je statisticky velmi významný,
- $0,001 < P < 0,01$ vliv faktoru je statisticky středně významný,
- $0,01 < P < 0,05$ vliv faktoru je statisticky málo významný (Hošková 2013).

V tabulce 7 je zobrazena statistická významnost každého faktoru, tedy dřeviny, druhu lepidla a jejich vzájemné působení, na tahovou smykovou pevnost lepeného spoje u pětivrstvého překližovaného materiálu z dýhy javoru nebo dubu. Dále budeme pro zjednodušení uvádět jen smykovou pevnost. Z tabulky je patrné, že statisticky významný vliv má pouze druh dřeviny.

Tab. 7 - Statistické vyhodnocení tahové smykové pevnosti

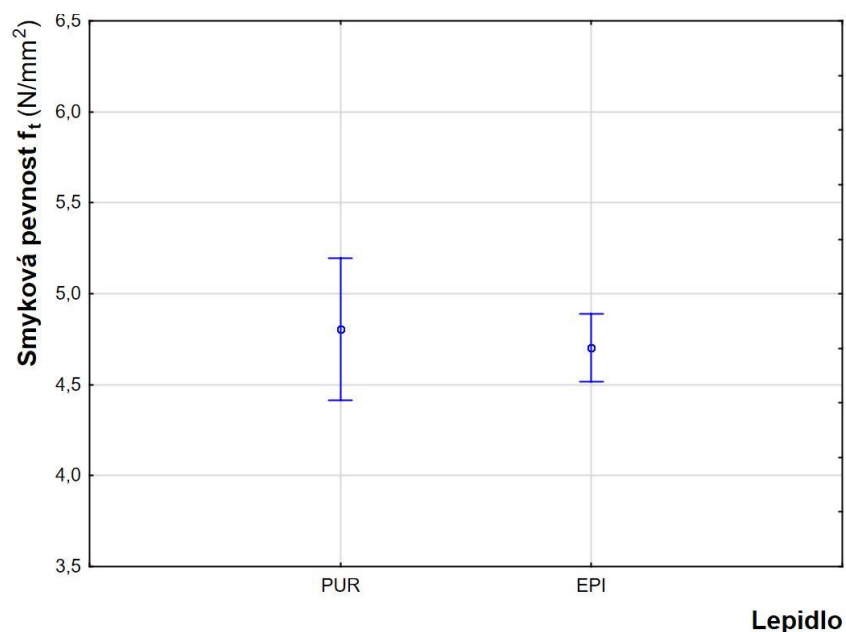
Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F – Test	Hladina významnosti
Intercept	1808,517	1	1808,517	2095,497	0,000000
Dřevina	4,995	1	4,995	5,788	0,018571
Lepidlo	0,207	1	0,207	0,240	0,625676
Dřevina * Typ lepidla	0,798	1	0,798	0,925	0,339312
Chyba	65,592	76	0,863		

Samotný vliv dřeviny, dubu a javoru, je vidět v grafu na obrázku 35. Z grafu je patrné, že rozdíl smykové pevnosti je u překližovaného materiálu z javoru o 0,5 MPa (o 10 %) vyšší než u překližovaného materiálu z dubu.



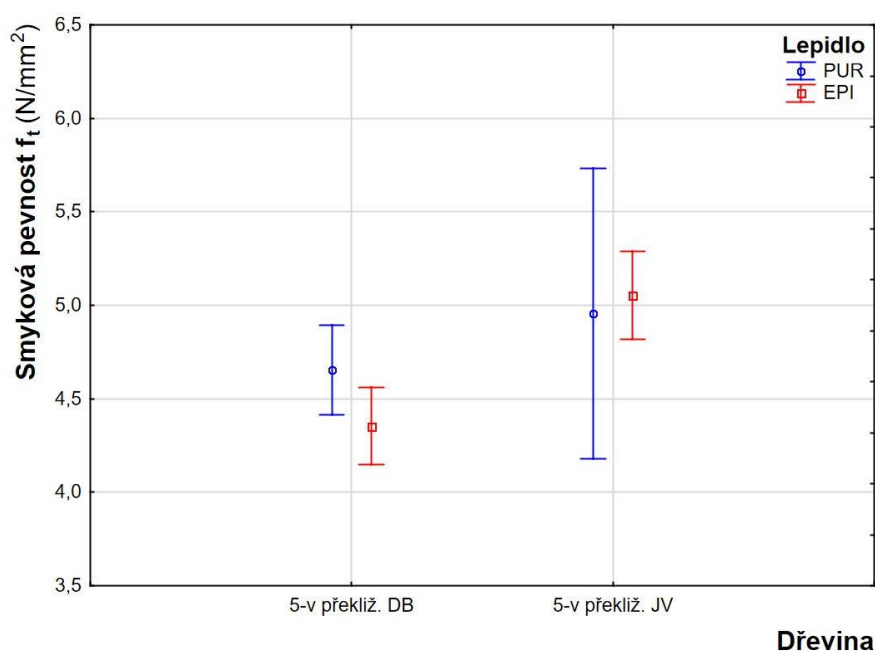
Obr. 35 - Vliv dřeviny na smykovou pevnost

Graf na obrázku 36 porovnává vliv druhu lepidla na smykovou pevnost pětivrstvého materiálu z dubu a javoru. Rozdíl vlivu PUR nebo EPI lepidel je nepatrný. Vyšší hodnota smykové pevnosti je u PUR lepidla. Rozdíl hodnot smykové pevnosti obou druhů lepidel je do 2 %. Je patrné, že lepicí schopnosti obou druhů lepidel jsou téměř identické. Naměřené hodnoty nemají statistický význam.



Obr. 36 - Vliv druhu lepidla na smykovou pevnost

Působení všech faktorů (dřeviny a lepidla) na výslednou hodnotu smykové pevnosti materiálů z dubu a javoru je vidět v grafu na obrázku 37. U měřeného materiálu z javoru slepeného pomocí EPI lepidla je zjištěna nejvyšší průměrná hodnota smykové pevnosti 5,05 MPa. Naopak nejnižší průměrná hodnota smykové pevnosti 4,35 MPa, je u materiálu z dubu slepeného pomocí EPI lepidla. U materiálu z javoru je průměrná hodnota smykové pevnosti pro PUR lepidlo 4,96 MPa. Rozdíl hodnot smykové pevnosti u materiálů z javoru slepených pomocí PUR nebo EPI lepidel je 1,8 %. U materiálu z dubu slepeného pomocí PUR lepidla byla průměrná hodnota smykové pevnosti 4,66 MPa. Rozdíl hodnot smykové pevnosti u materiálů z dubu slepených pomocí lepidel PUR nebo EPI je 6,7 %.



Obr. 37 - Závislost smykové pevnosti na druhu dřeviny a lepidla

Sogutlu a Dongel (2007) řešili vliv dřeviny a lepidla na smykovou pevnost podle normy ČSN EN 204 (2017). Jako dřeviny použili dub, kaštan, hrušku, cedr a akát a jednoruhový zkušební materiál byl lepen pomocí lepidel PUR (dvousložkové) a PVAC. U dubu slepeného pomocí PUR lepidla byla průměrná hodnota 10,36 MPa. Sogutlu a Dongel (2007) se dále zabývali vztahem mezi hustotou dřeva a smykovou pevností, kdy tvrdí, že dřeviny s menší hustotou mají větší smykovou pevnost lepeného spoje. Tento fakt potvrzuje i naše měření, kdy větší smyková pevnost lepeného spoje byla u javorového dřeva, které má menší hustotu než dřevo dubu.

Hakan (2004) se zabýval porovnáním smykové pevnosti pětivrstvého překližovaného

materiálu z dubu a borovice a potvrdil vztah mezi hustotou a pevností ve smyku, kdy u pětivrstvého materiálu z borovice byla větší smyková pevnost než u materiálu z dubu.

Wangová (2015) ve svém výzkumu uvádí, že pevnost PUR lepidla vykazovala vyšší hodnoty než u lepidla EPI, a to o 16 %. Její tvrzení potvrdilo i naše měření pětivrstvého materiálu z dubu. U materiálu z javoru je rozdíl v použitém lepidle zanedbatelný. Podobný trend zjistila Wangová (2016) u lepeného dřevěného materiálu, kdy materiál lepený pomocí lepidla PUR dosahoval o 36 % vyšších hodnot smykové pevnost než materiál lepený pomocí lepidla EPI.

Rowell (2013) zkoumal vliv tloušťky a kvality lepidlové spáry na pevnost lepeného spoje. Zjistil, že pevnost lepeného spoje velmi souvisí s množstvím naneseného lepidla a s kohezí a adhezí lepených ploch.

Podle normy ČSN EN 314-1 (2005) se stanovuje podíl porušení ve dřevě u jednotlivých zkušebních materiálů. Tento podíl porušení se udává v % a třídí se do tří kategorií:

- 0 % až 30 %,
- 40 % až 60 %,
- 70 % až 100 %.

Rozdělení do jednotlivých kategorií je velice subjektivní a členění může být pro každého pozorovatele jiné. Výsledné roztrídění do jednotlivých kategorií porušení podle našeho mínění je vidět v tabulce 8.

Tab. 8 - Roztrídění do kategorií porušení ve dřevě

Druh materiálu	Kategorie porušení a jejich počet		
	0–30 %	40–60 %	70–100 %
Javor – PUR	3	10	7
Javor – EPI	5	10	5
Dub – PUR	5	11	4
Dub – EPI	4	11	5

Na obrázku 38 je vidět typický lom v pětivrstvě překlížovaném dubovém materiálu po pomnutí silového účinku ve zkušebním trhacím stroji UTS 50.



Obr. 38 - Lom v pětivrstevném materiálu z dubu v trhacím stroji

Na Obr. 39 a 40 jsou vidět typické lomy po vykonání zkoušky na smykovou pevnost v lepeném spoji. Na obrázcích je vidět, že k porušení docházelo ve dřevě. Pevnost lepeného spoje byla tedy dostatečná.



Obr. 39 - Typické lomy po zkoušce na smykovou pevnost v lepeném spoji



Obr. 40 - Typické lomy v ploše lepeného materiálu

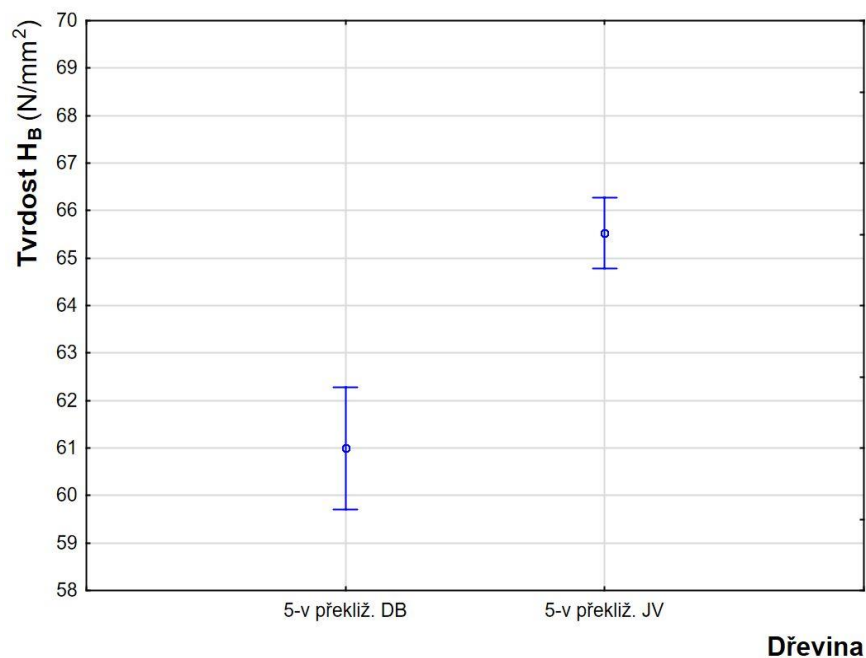
Druhá část měření se zabývala vlivem faktorů druhu dřeviny a druhu lepidla a jejich kombinací na tvrdost podle Brinella. Hodnoty měření jsou vyhodnoceny v tabulce 9. Z hodnot je patrné, že statisticky významný faktor je druh dřeviny a druh lepidla. Naopak současné působení všech faktorů nemá statistický vliv na tvrdost podle Brinella.

Tab. 9 - Statistické vyhodnocení tvrdosti podle Brinella

Sledovaný faktor	Součet čtverců	Stupně volnosti	Rozptyl	Fischerův F – Test	Hladina významnosti
Intercept	320171,5	1	320171,5	32385,75	0,000000
Dřevina	409,5	1	409,5	41,42	0,000000
Lepidlo	63,0	1	63,0	6,37	0,013666
Dřevina * Typ lepidla	27,6	1	27,6	2,79	0,098788
Chyba	751,3	76	9,9		

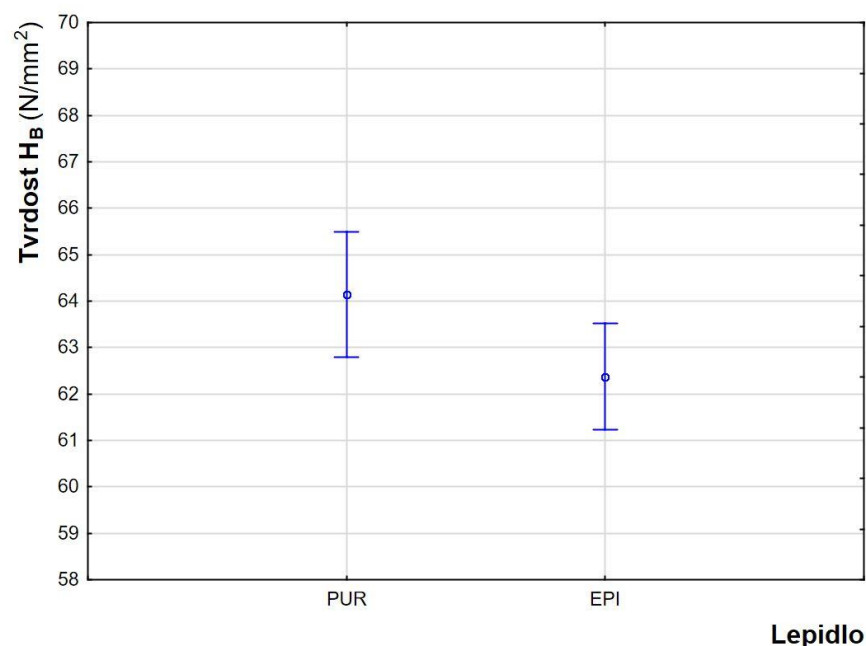
Vliv druhu dřeviny na tvrdost podle Brinella u pětivrstvého překližovaného materiálu z

javoru a dubu bez působení druhu lepidla je znázorněn v grafu na obrázku 41. Z grafu vyplývá, že tvrdost podle Brinella je vyšší u měřeného materiálu z javoru. Průměrná hodnota je u materiálu z javoru větší o 4,5 MPa (o 7 %) než u materiálu z dubu. Druh dřeviny má na tvrdost podle Brinella statisticky velmi významný vliv.



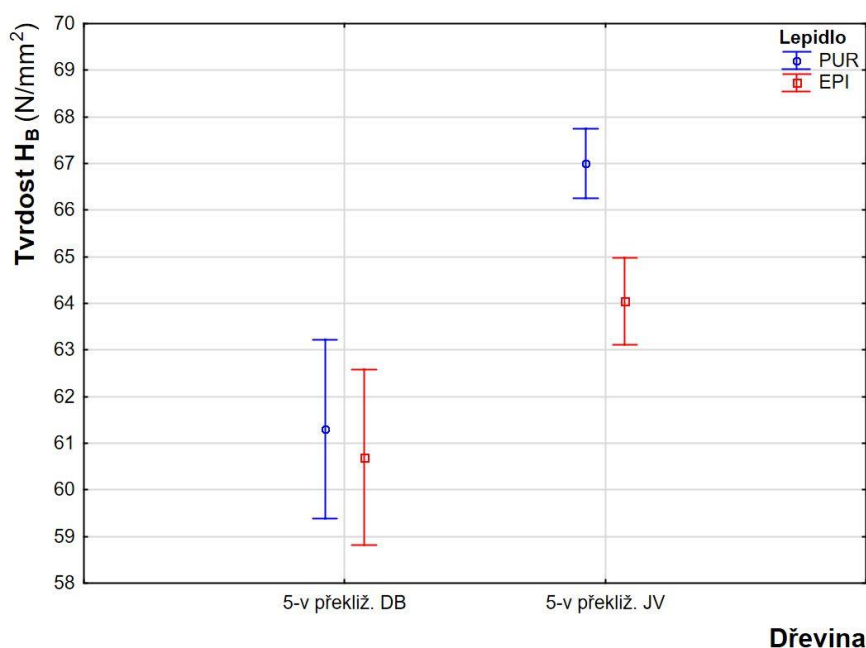
Obr. 41 - Závislost tvrdosti podle Brinella na druhu dřeviny

V grafu na obrázku 42 je znázorněn vliv druhu lepidla na tvrdost podle Brinella. Výsledný průměrný rozdíl hodnot tvrdosti podle Brinella je o něco menší než u druhu dřeviny a vychází okolo 1,6 MPa (2,5 %). Faktor druhu lepidla je statisticky významný.



Obr. 42 - Závislost tvrdosti podle Brinella na druhu lepidla

Vzájemné působení všech faktorů druhu dřevin a druhu lepidla na tvrdost podle Brinella je patrné v grafu na obrázku 43. Nejvyšší průměrné hodnoty tvrdosti podle Brinella 67 MPa je dosaženo u měřeného materiálu z javoru slepeného pomocí PUR lepidla. Nejnižší průměrná hodnota tvrdosti podle Brinella 60,7 MPa je u materiálu z dubu lepeného lepidlem EPI. Rozdíl těchto hodnot tvrdosti je 9,4 %. U materiálu z dubu činí rozdíl hodnot tvrdosti podle Brinella mezi použitými lepidly 0,6 MPa (1 %). U materiálu z javoru je rozdíl hodnot tvrdosti mezi použitými lepidly 2,95 MPa (4,4 %). Působení všech faktorů nemá statisticky významný vliv na tvrdost podle Brinella.



Obr. 43 - Závislost tvrdosti podle Brinella na druhu dřeviny a lepidla

Sydor (2020) se zabýval tvrdostí podle Brinella u dýh dubu, javoru, břízy, smrku a iroka s tloušťkou 3–3,6 mm, které byly nalepeny na smrkové lamele o tloušťce 7,7 mm. U měřeného materiálu s javorovou dýhou zjistil Sydor (2020) průměrnou hodnotu 44,4 MPa a u materiálu s nalepenou dýhou z dubu pak 35,6 MPa. Naše výsledky potvrzují stejnou závislost, kdy byla zjištěna vyšší tvrdost podle Brinella u javorového překližovaného materiálu.

Sedlar (2021) zkoumal závislost umístění dřeva v kmenu javoru na jeho fyzikální a mechanické vlastnosti. Zjistil, že tvrdost byla závislá na šířce letokruhu a druhu řezu dřeva. Vyšší hodnoty tvrdosti podle Brinella naměřil Sedlar (2021) na tangenciálním oproti radiálnímu řezu dřeva javoru a to 43,4 MPa. Naše pětivrstvé překližované materiály byly vyrobeny z loupaných dýh, tedy měření tvrdosti podle Brinella probíhalo na tangenciálním řezu. Nižší hodnotu tvrdosti podle Brinella u rostlého dřeva, kterou naměřil Sedlar (2021) oproti naší

hodnotě tvrdosti u materiálu z javoru (64,05 MPa) by mohla být způsobena použitím pětivrstvého překližkového materiálu a použitím lepidla.

Na Obr. 44 je vidět pětivrstvý překližovaný materiál z javoru a dubu po vykonání zkoušky tvrdosti podle Brinella.



Obr. 44 . Pětivrstvý překližovaný materiál z javoru (vlevo) a dubu (vpravo) po zkoušce tvrdosti podle Brinella

V Tab. 10 je vidět celkový přehled všech průměrných naměřených hodnot smykové pevnosti v lepeném spoji a tvrdosti podle Brinella pro pětivrstvé překližované materiály z javoru a dubu.

Tab. 10 - Průměrné hodnoty smykové pevnosti a tvrdosti podle Brinella

Dřevina 5vrstvého překližovaného materiálu	Typ lepidla	Smyková pevnost		Tvrdost dle Brinella	
		f_t		H_B	
		Průměr (MPa)	Variační koeficient	Průměr (MPa)	Variační koeficient
Dub	PUR	4,66	0,110	61,30	0,067
Dub	EPI	4,35	0,101	60,70	0,066
Javor	PUR	4,96	0,293	67,00	0,024
Javor	EPI	5,05	0,099	64,05	0,031

6 Závěr

Diplomová práce se zabývá fyzikálními a mechanickými vlastnostmi, konkrétně hustotou, tahovou smykovou pevností lepeného spoje a tvrdostí podle Brinella dřevěného pětivrstvého materiálu z javorových a dubových dýh, kdy překližované dýhy byly slepeny pomocí PUR a EPI lepidla. Zkušební materiál byl následně klimatizován na vlhkost 12 % a podroben zkouškám.

Na tahovou smykovou pevnost lepeného spoje měl největší vliv druh dřeviny. Nejvyšší průměrné hodnoty byly zjištěny u materiálu z javoru slepeného pomocí EPI lepidla. Rozdíl mezi materiály z javoru slepenými pomocí PUR nebo EPI lepidla byl 1,8 %. Nejnižší průměrná hodnota byla u materiálu z dubu slepeného pomocí EPI lepidla. U materiálů z dubu slepených pomocí PUR nebo EPI lepidla byl rozdíl průměrných hodnot 6,7 %. Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou u zkušebního materiálu byl 14 %. Druh lepidla neměl pro měření statistický význam. Při volbě druhu dřeviny je vhodnější zvolit javor u obou druhů lepidel.

U tvrdosti podle Brinella měly na zkušební pětivrstvý materiál z dubu nebo javoru vliv faktor dřeviny i faktor lepidla. Nejvyšší průměrné hodnoty tvrdosti byly zaznamenány u materiálu z javoru slepeného PUR lepidlem. Rozdíl mezi materiály z javoru, slepenými pomocí PUR nebo EPI lepidla, činil 4,4 %. U materiálu z dubu slepeného lepidlem PUR byla vyšší hodnota tvrdosti podle Brinella než u materiálu z dubu slepeného pomocí EPI lepidla. Rozdíl u dubu slepeného PUR nebo EPI lepidlem byl 1 %. Absolutní rozdíl průměrných hodnot tvrdosti podle Brinella byl 9,4 %. Druh dřeviny i druh lepidla měly statistický význam. Jako vhodnější dřevina se pro použití hodí javor.

V praxi by data mohla sloužit při návrhu dřevěných lepených podlah, nábytku nebo částí nábytku jako jsou pracovní plochy nebo lepených dřevěných prvků jako jsou okna nebo dveře. Další výzkum by se mohl ubírat směrem kombinování levnějších měkkých dřevin jako je třeba smrk a námi měřených dřevin pro použití na dřevěné podlahy, kde by horní pochozí vrstva byla odolnější vůči opotřebení. Doplnění o méně tvrdou a levnější dřevinu by přineslo ekonomický přínos a možná i lepší přizpůsobení podkladu. Při posouzení měřených parametrů obou dřevin se jako vhodnější jeví javor, a to i z hlediska ekonomického, kdy je dřevo javoru přibližně o 30 % levnější.

7 Literatura

- Bal B. The effects of wood species, load direction, and adhesives on bending properties of laminated veneer lumber. *BioRes.* 7(3), 2012, 3104-3112. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.7.3.3104-3112>
- Balabán K. *Nauka o dřevě*. Praha: SZN, 1955, 216 s.
- Belgacem M. N., Pizzi A. *Lignocellulosic fibers and wood handbook: renewable materials for today's environment*. Scrivener Publishing LLC., 2016, 704 s. ISBN 978-1-118-77352-9
- Böhm M., Reisner J., Bomba J. *Materiály na bázi dřeva*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Katedra zpracování dřeva, 2012, 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6
- Brunecký P. *Historický vývoj nábytku*. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2000, 228 s. ISBN 80-7157-441-4
- ČSN EN 204. *Klasifikace termoplastických lepidel na dřevo pro nekonstrukční aplikace*, 2017
- ČSN EN 310. *Desky ze dřeva. Stanovení modulu pružnosti v ohybu a pevnosti v ohybu*, 1996
- ČSN EN 313-1. *Překližované desky – Klasifikace a terminologie – Část 1: Klasifikace*. 1999
- ČSN EN 314-1. *Překližované desky – Kvalita lepení – Část 1: Metody zkoušení*, 2005
- ČSN EN 1534. *Dřevěné podlahoviny – Stanovení odolnosti proti vtisku – Metoda zkoušení*, 2020
- ČSN EN 14279+A1. *Vrstvené dřevo (LVL) - Definice, klasifikace a specifikace*, 2009
- ČSN EN 14374. *Dřevěné konstrukce – Vrstvené dřevo na nosné účely – Požadavky*, 2005
- ČSN EN 15425. *Lepidla - Jednosložková polyurethanová (PUR) lepidla pro nosné dřevěné konstrukce - Klasifikace a funkční požadavky*, 2017
- Daďourek K. *Kompozitní materiály – druhy a jejich užití*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2007, 114 s. ISBN 978-80-7372-279-1
- Dudas J., Jochim S. *Konstruktivní dřevěné materiály pre drevené stavebné konštrukcie a výroby*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2008, 160 s. ISBN 978-80-228-1938-1.
- Florek S., Šteller Š., Vojta A. *Lepené lamelové dřevo vyztužené vláknitými kompozit., Dřevo-Surovina 21. Století v Architektuře a stavebnictví, ADAPT, Bratislava, Slovakia, 2009, 43-48 s.*
- Gandelová L., Horáček P., Šlezingerová J. *Nauka o dřevě*. 3. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2009, 176 s. ISBN 978-80-7375-312-2
- Giurgiu M., Cismaru I. Influence of the number of lamellas upon the mechanical properties of poplar beams. *Pro Ligno* 7(4), 2011, [cit. 2023-03-20], Dostupné z WWW: https://www.proligno.ro/en/articles/2011/4/giurgiu_full.pdf
- Glass S. V., Zelinka S. L. *Moisture relations and physical properties of wood. Wood handbook : wood as an engineering material: chapter 4. Centennial ed. General technical*

report FPL ; GTR-190. Madison, WI : U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010, 4.1-4.19 s.

Grøstad K., Pedersen A. Emulsion Polymer Isocyanates as Wood Adhesive: A Review, *Journal of Adhesion Science and Technology*, 24(8-10), 2010, 1357-1381 s. DOI: <https://doi.org/10.1163/016942410X500981>

Hájek M., Vrabcová P., Gaff M., Kvietková Sarvašová M., Kačík F., Gašparík M., Jankovský M., Lieskovský M., Gejdoš M., Tribulová T. *Lesnická bioekonomika*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2018, 252 s. ISBN 978-80-213-2838-9

Hein S., Collet C., Ammer Ch., Le Goff N., Skovsgaard J. P., Savill P. A review of growth and stand dynamics of *Acer pseudoplatanus* L. in Europe: implications for silviculture, *Forestry: An International Journal of Forest Research* 82(4), 2009, 361–385 s. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpn043>

Hemery G. E., Clark J. R., Aldinger E., Claessens H., Malvolti M. E., O'Connor E., Raftoyannis Y., Savill P. S., Brus R. Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: a review of risks and opportunities. *Forestry: An International Journal of Forest Research* 83(1), 2010, 65–81 s. DOI: <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp034>

Hofmeister J., Hošek J., Modrý M., Roleček J. The influence of light and nutrient availability on herb layer species richness in oak-dominated forests in central Bohemia. *Plant Ecol* 205, 2009, 57-75 s. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9598-z>

Horáček P. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva* I. 2. vyd. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2008, 124 s. ISBN 978-80-7375-169-2

Hrázský J., Král P. *Kompozitní materiály na bázi dřeva. Část 1., Aglomerované materiály: cvičení*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2004, 130 s. ISBN 80-7157-751-0

Hrčka R., Kučerová V., Hýrošová T. Correlations between Oak Wood Properties. *BioRes.* 13(4), 2018, 8885-8898. DOI: <https://doi.org/10.15376/BIORES.13.4.8885-8898>

Khestl F., Mec P. *Stavební hmoty II, FAST VŠB – Technická univerzita Ostrava*. 2013, [online] [cit. 17.3.2023]. Dostupné z www: https://homel.vsb.cz/~khe0007/podklady_vyuka/hmotyII/SH_II_Khestl_Mec.pdf

KIILTO Oy. *Technický list Kestokol WR 6040*, 2022, 1 s. [online] [cit. 05.06.2022] Dostupné z www: <https://pim.kiilto.com/kiilto-pim-api/api/pdf/download/1e9474eb-bee2-435b-855a-e6a0946b1deb>

KIILTO Oy. *Technický list Kestopur 1010*, 2022, 1 s. [online] [cit. 05.06.2022] Dostupné z www: <https://pim.kiilto.com/kiilto-pim-api/api/pdf/download/1e9474eb-bee2-435b-855a-e6a0946b1deb>

Koczan G., Karwat Z., Kozakiewicz P. An attempt to unify the Brinell, Janka and Monnin hardness of wood on the basis of Meyer law. *J Wood Sci* 67(7), 2021, 16 s. DOI: <https://doi.org/10.1186/s10086-020-01938-4>

LEAR a. s. *Základy teorie lepení* [online] [cit. 9.3.2023]. Dostupné z www:

- http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/lepeni/Teorie_lepeni%20_%20LEAR.pdf.
- Lenfeld P. Technologie II. 2. část, (Zpracování plastů). 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016, 138 s. ISBN 978-80-7494-305-8
- Lesy České republiky, s. p. [online] [cit. 28.3.2023], Dostupné z www: <https://lesycr.cz/>
- Lokaj A., Vavrušková K. Longitudinal bonded joints of timber beams using plywood and LVL plates. In: Procedia structural integrity. Volume 5. Amsterdam: Elsevier, 2017, 1363-1369 s., DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.199>
- Lokaj A., Vavrušková K., Mikolášek D., Sucharda O. Lepené spoje dřevěných nosníků s využitím LVL. In: Dřevostavby 2017 : sborník přednášek z 21. odborného semináře se zahraniční účastí : 12. – 13. dubna 2017, Volyně: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, 2017, 19-23 s. ISBN 978-80-86837-87-1
- Lukowsky D. Failure analysis of wood and wood-based products, McGraw Hill Education, 2015, 240 s. ISBN 978-0-07-183937-2
- Marais A. Tailored cellulosic materials by physical adsorption of polyelectrolytes (PhD dissertation, KTH Royal Institute of Technology), 2015, 86 s. ISBN 978-91-7595-500-1
- Memmert GmbH + Co. KG, [online] [cit. 29.3.2023], Dostupné z www: <https://www.memmert.com/de/produkte/klimaschraenke/klimaschrank/ICH750Leco/>
- Mošna F. Praktické činnosti pro 6.-9. ročník základních škol: Práce s technickými materiály. Praha: Fortuna, 1997, 104 s. ISBN 80-7168-468-6.
- Musil I., Möllerová J. Listnaté dřeviny: přehled dřevin v rámci systému rostlin krytosemenných (Lesnická dendrologie 2). Praha: Česká zemědělská univerzita, 2005, 216 s. ISBN 80-213-1367-6
- Nilsson T., Rowell R. Historical wood – structure and properties. Journal of Cultural Heritage 13(3), 2012, 5–9 s. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.03.016>
- Nobio, s.r.o. [online] [cit. 30.3.2023], Dostupné z www: https://nobio.cz/truhlarska-preklizka/23106-66290-brezova-preklizka-1525-x-1525-bbbb.html#/1296-tloustka_desky-3_mm
- Osten M. Práce s lepidly a tmely. 2. přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1982. 288 s.
- Pizzi A. Wood Adhesives: Chemistry and Technology, Marcel Dekker Inc., New York, 1989, 432 s. ISBN 0-8247-8052-3
- Požgaj A. Metódy zisťovania mechanických vlastností dreva a drevných veľkoplošných kompozitných materiálov. 3. vyd. Zvolen: VŠLD, 1987, 170 s.
- Požgaj A., Chovanec D., Kurjatko S., Babiak M.I. Štruktúra a vlastnosti dreva. Príroda, Bratislava, 1997, 486 s.
- Reinprecht L. Ochrana dreva: vysokoškolská učebnica. Zvolen: Technická univerzita, 2008, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6
- Roseburg Forest [online] [cit. 28.3.2023], Dostupné z www:

<https://www.roseburg.com/engineered-wood/rigidrim-rimboard/>

Rowell R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2013, 687 s. ISBN 978-1-4398-5380-1

Ruiz Aquino F., Gonzalez-Peña M., Valdez-Hernández J., Manzanares A., Fuentes Salinas M. Mechanical properties of wood of two Mexican oaks: relationship to selected physical properties. *European Journal of Wood and Wood Products* 76, 2018, 69-77 s., DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1168-9>

Sedlar T., Bogoslav Š., Stojnic S., Sinković T. Wood Quality Characterization of Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) and its Utilization in Wood Products Industries. *Croatian Journal of Forest Engineering* 42(3), 2021, DOI: <https://doi.org/10.5552/crojfe.2021.1099>

Sedlar T., Sinković T., Perić I., Jarc A., Stojnic, S., Bogoslav Š. Hardness of thermally modified beech wood and hornbeam wood Tvrdoa toplinski modificirane bukovine i grabovine. *Sumarski List* 143(9-10), 2019, 425-433 s. DOI: <https://doi.org/10.31298/sl.143.9-10.4>

Sedlar T., Sinković T., Trajković J., Hasan M., Ištók I., Šefc B. Physical Properties of Juvenile and Mature Sycamore Maple (*Acer pseudoplatanus* L.) Wood from Medvednica Region Fizička svojstva juvenilnoga i zrelog drva gorskog javora (*Acer pseudoplatanus* L.) s područja Medvednice. *Drvena industrija*. 70(1), 2019, 19-26 s. DOI: <https://doi.org/10.5552/drvind.2019.1762>

Sogutlu C., Dongel N. Polivinilasetat (PVAc) ve Poliüretan (PU) Tutkalları ile Yapıştırılmış Bazı Yerli Ağaçlarda Çekmede Makaslama Dirençleri. *Journal of Polytechnic* 10(3), 2007, 287-293 s. [cit. 2023-03-20] Dostupné z www: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/politeknik/issue/33026/367178>

STEICO AG. Steico LVL: Lepené vrstvené dřevo, Steico: Stavební systémy z přírody [online]. [cit. 13.3.2023] Dostupné z www: <https://web.steico.com/cz/stahnout/produkty-a-obecne-informace/>

Sviták M., Ruman D. Tensile-shear strength of layered wood reinforced by carbon materials. *Wood research* 62(2), 2017, 243-252 s.

Svoboda L., Bažantová Z., Myška M., Novák J., Tobolka Z., Vávra R., Vimmrová A., Výborný J. Stavební hmoty, 4. vydání, Praha, 2018, 1003 s. [online] [cit. 3.3.2023] Dostupné z www: <https://k123.fsv.cvut.cz/media/subjects/files/123SH01/kniha-stavebni-hmoty.pdf>

Sydor M., Pinkowski G., Jasińska A. The Brinell Method for Determining Hardness of Wood Flooring Materials. *Forests* 11(8), 2020 DOI: <https://doi.org/10.3390/f11080878>

Šlezingerová, J., Gandelová L. Stavba dřeva. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2002 ISBN 80-7157-636-0.

Tenorio C., Moya R., Muñoz F. Comparative study on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber and plywood panels made of wood from fast-growing *Gmelina arborea* trees. *J Wood Sci* 57, 2011, 134–139 s. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10086-010-1149-7>

- TIRA GmbH [online] [cit. 29.3.2023], Dostupné z www: https://www.tira-gmbh.de/fileadmin/inhalte/download/materialprueftechnik/prospekte/TIRA_WPT_2013.pdf
- TKH Technical Briefing Note 5. Düsseldorf: Technische Kommission Holzklebstoffe, 2015, 5 s. [online] [cit. 23.2.2023] Dostupné z www: https://www.klebstoffe.com/wp-content/uploads/2020/04/TKH_5_englisch.pdf
- Tran D.B. Torsional shear stress in prismatic beams with arbitrary cross-sections using finite element method. *Stavební Obzor - Civil Engineering Journal*, 30(2), 2021, 15 s. DOI: <https://doi.org/10.14311/CEJ.2021.02.0030>
- Vacek S., Vacek Z., Kalouskova I., Cukor J., Bílek L., Moser W. K., Bulusek D., Podrazsky V., Rehacek D. Sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.) stands on former agricultural land in the Sudetes - evaluation of ecological value and production potential. *Dendrobiology*. 79, 2018, 61-76 s. DOI: <https://doi.org/10.12657/denbio.079.006>
- Vaverka J. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada Publishing, 2008, 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.
- Vavrčík H., Vávra T., Gryc V., Wondráček L., Záleský J., Mazal P., Gandelová L., Šlezingerová J. Anatomická stavba dřeva: multimediální výukový materiál. Ústav nauky o dřeva, 2022 [online] [cit. 20.3.2023] Dostupné z www: https://fraxinus.mendelu.cz/unod/multimedia/stavba_dreva/vyuka/index.htm
- Vojenské lesy a statky ČR, s.p. [online] [cit. 28.3.2023], Dostupné z www: <https://www.vls.cz/cs>
- Wang X., Hagman O., Sundqvist B. Impact of cold temperatures on the shear strength of Norway spruce joints glued with different adhesives. *Eur. J. Wood Prod.* 73, 2015, 225–233 s. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-015-0882-4>
- Wang X., Hagman O., Sundqvist B., Ormarsson S., Wan H., Niemz P. Shear Strength of Scots Pine Wood and Glued Joints in a Cold Climate. *Bioresources*. 11(1), 2016, 944-956 s., DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.944-956>
- Werthanová M. Atlas makrostruktury dřeva exotických dřevin. Ústí nad Labem, 2010 [online] [cit. 23.2.2023] Dostupné z www: <https://theses.cz/id/k6v2g3/>. Diplomová práce. Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce PhDr. Jan Novotný, Ph.D.
- Zeidler, A., Borůvka V. *Stavba a vlastnosti dřeva exotických dřevin*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2019, 108 s. ISBN 978-80-213-2992-8
- Zeidler, A., Borůvka V. *Stavba a vlastnosti dřeva hospodářsky významných dřevin - podklady pro cvičení*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2016, 89 s. ISBN 978-80-213-2674-3

8 Seznam příloh

Příloha 1: Technický list lepidla Kestopur 1010

Příloha 2: Technický list lepidla Kestokol WR 6040

Příloha 3: Naměřené hodnoty smykové pevnosti lepeného spoje pro materiál z dubu

Příloha 4: Naměřené hodnoty smykové pevnosti lepeného spoje pro materiál z javoru

Příloha 5: Naměřené hodnoty tvrdosti podle Brinella pro materiál z dubu

Příloha 6: Naměřené hodnoty tvrdosti podle Brinella pro materiál z javoru

Date 04.05.2022



Page 1/2

Kestopur 1010



Kestopur 1010 is a one-part, moisture curing PU-adhesive for production of engineered wood products. It complies with the requirements of EN 15425 norm and is approved for manufacturing of CE-labelled glulam according to EN 14080.



- Fiber reinforced
- Low foaming
- Non-sagging

AREA OF APPLICATION

Kestopur 1010 is a 1-component, moisture curing PU-adhesive for jointing of wooden materials. It complies with the requirements of EN 15425 and is approved for manufacturing of CE-labelled glulam according to EN 14080, manufacturing of CE-labelled finger jointed wood according to EN 15497 and CE-labelled CLT (cross laminated timber) according to EN 16351.

It can also be used for manufacturing other engineered wood products and applications that require unexceptionally good moisture resistance.

Kestopur 1010 is solvent- and formaldehyde-free. Complies with M1-emission classification for building materials.

INSTRUCTIONS FOR USE

The surfaces to be bonded must be clean and dust-free. Suitable for nozzle and ribbon application. Apply the adhesive in an even layer one or two-sided. In order to determine the necessary pressing time and ensure the adhesive joint strength, adequate tests are to be carried out before use in full-scale production.

Use safety gloves when using Kestopur 1010 adhesive. Wear a breathing mask if spraying the glue and working in temperature above +40 °C.

Remove fresh adhesive stains with a dry cloth and clean the surfaces with acetone or Kilto Cleaner. Hardened adhesive can be removed only mechanically.

ADDITIONAL INFORMATION

The information given in this product data sheet is based on our tests and our practical knowledge. The technical data is defined in standard conditions. Variations in local working conditions will affect the product performance and result. The result is also strongly affected by working methods. We guarantee the high quality of our products according to our Quality Management System. No liability can be accepted from incorrect use of the product or prevailing

TYPE/BINDER	Polyurethane
DENSITY/SPECIFIC WEIGHT	approx. 1.2 kg/dm ³
COLORS	Transparent, light after drying.
VISCOSITY	10000 mPas (Brookfield, RVT 20 °C)
OPEN TIME	max. 10 min (amount applied 180 g/m ² , wood moisture 15 %, temperature 20 °C, RH 50 %)
CLASSIFICATIONS AND	EN 15425 I 70 GP 0,3 AUS/NZ 4364:2010 type I
CONSUMPTION	140-180 g/m ² finger jointing 160-200 g/m ² face jointing
PRESSING TIME	From 30 min when face jointing
WORKING CONDITIONS	Temperature in the hall at least 15 °C (according to EN 14080; EN16351; EN 15497)
APPLICATION TEMPERATURE	18-30 °C (according to EN 14080; EN16351; EN 15497)
AIR HUMIDITY	During gluing 40-75 % and after pressing ≥ 30 % (according to EN 14080, EN 16351)
WOOD MOISTURE CONTENT	6-20 % (we recommend approx. 15 % humidity)
JOINT SIZE	< 0.3 mm
STORAGE	Can be stored in a dry and cool place (+10-20 °C). If stored in an unopened original package at +20 °C, the shelf life is 4 months for 1000 l containers and 6 months for smaller packages.

Date 04.05.2022



Page 2/2

conditions, over which we have no control. Thus, we cannot be held responsible for the final result. The user of the product must test the product's suitability for the intended application.

ENVIRONMENT AND SAFETY

Avoid unnecessary skin contact and exposure with the fresh product, use safety gloves. Refer to material safety data sheet. For information on product and package disposal, visit www.kilto.com.

Příloha 2: Technický list lepidla Kestokol WR 6040

Date 20.02.2023



Page 1/2

Kestokol WR 6040



- Suitable for e.g. parquet manufacture
- Long pot life
- Well suited for high frequency press

AREA OF APPLICATION

Kestokol WR 6040 + Hardener M is an isocyanate emulsion polymer adhesive that has excellent resistance against climatic stress. Fulfills the requirements of EN 204/D4 water resistance durability class.

Kestokol WR 6040 + Hardener M can be used in applications that are exposed to harsh weather conditions such as garden furniture, boat gluings (not for parts below the water level!) and specific glulam applications.

INSTRUCTIONS FOR USE

Add 15 weight parts of Hardener M into 100 weight parts of Kestokol WR 6040 adhesive and mix properly. If the pot-life is exceeded, the mixture starts to foam. New mixture can be added into an older mixture within the pot-life.

Check that the joints fit well. Apply adhesive one sided evenly. Assemble and press the parts together aiming at an even squeeze out for the whole length of the joint. Joints can be pressed in a cold, hot or high frequency press. Hot and high frequency presses shorten the required pressing time. In order to determine the necessary pressing time and ensure the adhesive joint strength, adequate tests are to be carried out before use in full-scale production.

Parts may need to be stored for a while before further machining to reach the necessary bond strength. The final strength and water resistance of the bond is reached within 7 days.

ADDITIONAL INFORMATION

The information given in this product data sheet is based on our tests and our practical knowledge. The technical data is defined in standard conditions. Variations in local working conditions and methods will affect the product performance and result. The result is strongly affected by working methods. We guarantee the high quality of our products according to our Quality Management System. No liability can be accepted from incorrect use of the product or prevailing conditions, over which we have no control. Thus, we cannot be held responsible for the final result. The user of the product must test the product's suitability for the intended application.

DENSITY/SPECIFIC WEIGHT	1.15 kg/dm ³
pH	6.5 - 8.0
COLORS	Light beige
MIXING RATIO	100 : 15
VISCOSITY	4000 mPas (Brookfield, RVT +20 °C)
MIXTURE VISCOSITY	11000 mPas (Brookfield RVT +20 °C) immediately after addition of hardener.
MIXTURE COLOUR	light beige
POT LIFE	The pot life of the mixture is max. 60 min (+20 °C)
OPEN TIME	11 - 24 min (consumption 150 - 250 g/m ²)
CONSUMPTION	150 - 250 g/m ²
PRESSING TIME	minimum 40 min
MINIMUM FILM FORMING	+5 °C
WOOD MOISTURE CONTENT	6-15 %
TEMPERATURE RESISTANCE	EN 14257 (Watt 91): 13.2 N/mm ²
STORAGE	In unopened containers, above +1 °C, for 6 months. After long storing, stir before use.

Date 20.02.2023



Page 2/2

ENVIRONMENT AND SAFETY

Avoid unnecessary skin contact with and exposure to the uncured adhesive: use safety gloves. Refer to material safety data sheet. For information on product and package disposal, visit www.kiilto.com.

Příloha 3: Naměřené hodnoty smykové pevnosti lepeného spoje pro materiál z dubu

Dřevina	lepidlo	Číslo vzorku	R1 [mm]	R2 [mm]	F [N]	Smyková pevnost [MPa]
Dub	PUR	1	25,7	25,07	3359,4	5,21
Dub	PUR	2	25,99	25,16	3090,05	4,73
Dub	PUR	3	25,77	25,02	3038,85	4,71
Dub	PUR	4	26,31	25,06	3517,4	5,33
Dub	PUR	5	25,58	25,07	3272,55	5,1
Dub	PUR	6	26,33	25,13	2663,05	4,02
Dub	PUR	7	25,52	25,11	3392,7	5,29
Dub	PUR	8	25,29	25,08	3077,85	4,85
Dub	PUR	9	24,67	25,14	2538,35	4,09
Dub	PUR	10	26,21	25,08	3038,25	4,62
Dub	PUR	11	26,08	25,13	3638,95	5,55
Dub	PUR	12	25,8	25,09	2775,8	4,29
Dub	PUR	13	25,76	25,16	2848,95	4,4
Dub	PUR	14	25,84	25,1	2791,4	4,3
Dub	PUR	15	24,67	25,09	2526,4	4,08
Dub	PUR	16	25,42	25,07	3296,45	5,17
Dub	PUR	17	25,68	25,18	3140,45	4,86
Dub	PUR	18	25,77	25,2	2797,95	4,31
Dub	PUR	19	26,28	24,83	2416,5	3,7
Dub	PUR	20	25,96	25,19	2944,3	4,5
Dub	EPI	1	25,98	25,15	3211,9	4,92
Dub	EPI	2	25,6	25,06	2990,4	4,66
Dub	EPI	3	25,72	25,03	2430,7	3,78
Dub	EPI	4	25,45	25,06	2905,55	4,56
Dub	EPI	5	24,9	24,96	2583,9	4,16
Dub	EPI	6	25,9	25,16	2779,75	4,27
Dub	EPI	7	25,55	25,11	2677,55	4,17
Dub	EPI	8	25,66	25,03	2772,95	4,32
Dub	EPI	9	26,03	25,08	2793,95	4,28
Dub	EPI	10	25,53	24,94	2470,6	3,88
Dub	EPI	11	25,85	25,03	2822,15	4,36
Dub	EPI	12	25,13	25,08	2592,15	4,11
Dub	EPI	13	25,58	25,08	2445,25	3,81
Dub	EPI	14	25,67	25,03	3293,95	5,13
Dub	EPI	15	25,53	24,84	2929,8	4,62
Dub	EPI	16	26,36	25,06	3530,1	5,34
Dub	EPI	17	26,21	25,82	3028,3	4,47
Dub	EPI	18	25,7	25,12	2952,55	4,57
Dub	EPI	19	26,37	25,11	2563,65	3,87
Dub	EPI	20	26,38	25,16	2524,1	3,8

Příloha 4: Naměřené hodnoty smykové pevnosti lepeného spoje pro materiál z javoru

Dřevina	lepidlo	Číslo vzorku	R1 [mm]	R2 [mm]	F [N]	Smyková pevnost [MPa]
Javor	PUR	1	25,99	24,92	3738,6	5,77
Javor	PUR	2	24,96	25,17	3980,3	6,34
Javor	PUR	3	25,46	25,17	4211,5	6,57
Javor	PUR	4	26,46	25,24	2162,25	3,24
Javor	PUR	5	26,01	25,22	3697,05	5,64
Javor	PUR	6	24,61	25,08	3738,6	6,06
Javor	PUR	7	25,81	25,12	2201,5	3,4
Javor	PUR	8	25,78	25,21	1316,45	2,03
Javor	PUR	9	25,89	25,19	3181,45	4,88
Javor	PUR	10	25,85	25,21	2511,9	3,85
Javor	PUR	11	24,81	25,04	3153,85	5,08
Javor	PUR	12	25,53	25,26	3647,2	5,66
Javor	PUR	13	24,93	25,18	4067,4	6,48
Javor	PUR	14	25,76	25,2	4241,7	6,53
Javor	PUR	15	26,13	25,21	2034,15	3,09
Javor	PUR	16	26,36	25,14	910,2	1,37
Javor	PUR	17	26,47	25,18	3404,35	5,11
Javor	PUR	18	25,26	25,27	4888,8	7,66
Javor	PUR	19	24,62	25,2	2754,1	4,44
Javor	PUR	20	26,32	25,1	3906	5,91
Javor	EPI	1	26,21	25,13	3446,2	5,23
Javor	EPI	2	26,32	25,2	3183,7	4,8
Javor	EPI	3	26,48	25,17	3783	5,68
Javor	EPI	4	26,21	25,06	3565,8	5,43
Javor	EPI	5	26,11	25,2	3449,65	5,24
Javor	EPI	6	25,71	25,02	3009,5	4,68
Javor	EPI	7	25,33	25,15	3182,3	5
Javor	EPI	8	26,14	25,15	2821,05	4,29
Javor	EPI	9	26,77	25,18	2660,75	3,95
Javor	EPI	10	26,02	25,16	2953,4	4,51
Javor	EPI	11	26,59	25,13	3612,2	5,41
Javor	EPI	12	26,8	25,18	3751,4	5,56
Javor	EPI	13	25,83	25,01	3009,2	4,66
Javor	EPI	14	26,08	25,14	3064,45	4,67
Javor	EPI	15	26,2	25,18	3356,25	5,09
Javor	EPI	16	26,27	25,18	3516,3	5,32
Javor	EPI	17	27,55	25,08	4010,75	5,8
Javor	EPI	18	27,35	25,14	3705,3	5,39
Javor	EPI	19	26,92	25,12	3800,1	5,62
Javor	EPI	20	26,1	25,16	3114,85	4,74

Příloha 5: Naměřené hodnoty tvrdosti podle Brinella pro materiál z dubu

Dřevina	Lepidlo	Číslo vzorku	R1 [mm]	R2 fmm]	R3 [mm]	Hmotnost [g]	Tvrdost [MPa]			Tvrdost ø [MPa]	Hustota [kg/m ³]
							1	2	3		
Dub	PUR	1	16,02	50,31	50,18	31,03	4,8	5,6	4,6	5	767,2
Dub	PUR	2	16,47	50,18	49,97	31,73	6,3	6,4	5,5	6,1	768,3
Dub	PUR	3	16,05	50,24	50,15	30,63	5,4	5,9	6,1	5,8	757,4
Dub	PUR	4	16,15	50,18	49,78	31,23	6,7	5,9	5,9	6,2	774,1
Dub	PUR	5	15,96	50,23	50,14	31,9	6,1	6,6	6,5	6,4	793,6
Dub	PUR	6	16,07	50,24	50,17	31,88	6,1	6,9	6,1	6,4	787,1
Dub	PUR	7	16,38	50,59	50,11	30,88	6,6	6,5	6,6	6,6	743,7
Dub	PUR	8	16,29	50,23	50,19	31,67	5,7	5,2	5,2	5,4	771,2
Dub	PUR	9	16,15	50,12	50,12	30,75	5,9	5,7	6,7	6,1	758
Dub	PUR	10	16,17	50,13	50,08	32,64	5,7	6,3	6,8	6,3	804
Dub	PUR	11	16,47	50,08	49,97	31,05	6,8	6,4	6,6	6,6	753,3
Dub	PUR	12	16,1	50,07	49,97	30,87	7,1	6,2	6,5	6,6	766,3
Dub	PUR	13	16,41	50,13	50,02	31,26	6,6	5,9	6,1	6,2	759,7
Dub	PUR	14	16,02	50,07	50,23	31,37	5,9	6,2	6,1	6,1	778,6
Dub	PUR	15	16,12	50,04	49,99	30,77	6	6,7	6,4	6,4	763,1
Dub	PUR	16	16,24	50,2	50,04	31,09	6,6	5,9	6,5	6,3	762,1
Dub	PUR	17	16,25	50,22	50,17	32,11	5,6	6,4	5,9	6	784,3
Dub	PUR	18	16,22	50,08	50,15	32,15	5,5	5,7	5,7	5,6	789,2
Dub	PUR	19	16,19	50,18	50,1	32,06	6,4	6,6	5,9	6,3	787,7
Dub	PUR	20	16,06	50,09	50,14	32,93	6,4	6,2	6,1	6,2	816,4
Dub	EPI	1	15,62	50,01	50,06	29	7,2	6,9	6,7	6,9	741,6
Dub	EPI	2	15,86	50,15	49,94	28,55	6,7	6,1	6,3	6,4	718,8
Dub	EPI	3	15,87	50,04	49,96	27,54	6,4	6,1	6,5	6,3	694,1
Dub	EPI	4	16,04	50,09	50,02	27,53	6,1	6,2	5,9	6,1	685
Dub	EPI	5	15,84	49,99	50,06	28,28	5,6	5,4	5,8	5,6	713,4
Dub	EPI	6	15,69	50,03	50,14	29,1	6,3	6,1	6,2	6,2	739,4
Dub	EPI	7	15,85	50,04	49,84	27,82	5,5	5,9	5,6	5,7	703,8
Dub	EPI	8	15,98	50,06	49,94	28,5	6	5,1	5,7	5,6	713,4
Dub	EPI	9	15,82	50,07	50	28,77	4,9	6,6	5,8	5,8	726,4
Dub	EPI	10	15,91	50,29	50,04	28,87	6,6	6,7	6,4	6,6	721,1
Dub	EPI	11	15,72	49,98	50,04	28,06	6,2	6,4	5,7	6,1	713,7
Dub	EPI	12	15,69	50,08	50,09	28,43	6,4	6,8	6,4	6,5	722,3
Dub	EPI	13	15,83	49,97	49,87	26,88	6,2	6,6	6,5	6,4	681,4
Dub	EPI	14	16,16	50,18	50,04	28,61	4,8	6,4	6	5,7	705,1
Dub	EPI	15	16,13	50,14	50,18	29,32	5,9	6,2	5,8	6	722,5
Dub	EPI	16	16,05	50,26	50,08	28,4	6	5,5	6,2	5,9	703
Dub	EPI	17	15,99	50,07	49,92	28,11	4,7	5,6	5,4	5,2	703,3
Dub	EPI	18	15,82	50,04	50,03	28,48	5,7	6,6	6,1	6,1	719,1
Dub	EPI	19	16,12	50,04	50,05	28,18	5,9	6,2	5,8	6	698
Dub	EPI	20	15,82	50,04	49,93	29,68	6,3	6,1	6,4	6,3	750,9

Příloha 6: Naměřené hodnoty tvrdosti podle Brinella pro materiál z javoru

Dřevina	Lepidlo	Číslo vzorku	R1 [mm]	R2 fmm]	R3 [mm]	Hmotnost [g]	Tvrdost [MPa]			Tvrdost ø [MPa]	Hustota [kg/m ³]
							1	2	3		
Javor	PUR	1	15,4	50,2	50,16	30,82	6,6	6,6	6,7	6,6	794,8
Javor	PUR	2	14,98	50,06	50,1	31,4	6,9	6,9	6,8	6,9	835,8
Javor	PUR	3	14,98	50,04	50,16	30,3	6,7	6,7	6,6	6,7	805,9
Javor	PUR	4	15,29	50,17	50,16	31,62	7	6,6	6,2	6,6	821,8
Javor	PUR	5	15,44	50,14	51,23	29,54	7	6,8	6,8	6,9	744,8
Javor	PUR	6	15,45	50,16	50,02	31,05	7	6,9	6,8	6,9	801
Javor	PUR	7	15,54	50,1	50,02	29,32	7	7	6,6	6,9	752,9
Javor	PUR	8	15,48	50,66	49,95	29,34	7,1	6,7	6,7	6,8	749
Javor	PUR	9	14,98	50,24	50,09	30,04	6,9	6,6	6,7	6,7	796,9
Javor	PUR	10	15,42	50,14	49,95	31,81	6,5	6,7	6,8	6,7	823,7
Javor	PUR	11	15,33	50,14	50,08	32,14	7	6,6	6,8	6,8	834,9
Javor	PUR	12	15,41	50,24	50,05	31,32	6,8	6,6	6,6	6,7	808,3
Javor	PUR	13	15,42	50,28	50,3	31,76	6,9	6,8	6,5	6,7	814,4
Javor	PUR	14	15,25	51,59	49,91	31,34	6,8	6,7	6,7	6,7	798,1
Javor	PUR	15	15,4	50,33	50,03	31,09	6,8	6,4	6,6	6,6	801,8
Javor	PUR	16	15,34	50,18	50,18	30,95	6,9	6,9	6,9	6,9	801,3
Javor	PUR	17	15,24	50,35	50,18	29,83	6,6	6,5	6,2	6,4	774,7
Javor	PUR	18	15,32	50,09	49,99	29,44	6,6	6,6	6,2	6,5	767,4
Javor	PUR	19	15,13	50,14	50,11	30,09	6,3	6,5	6,5	6,4	791,5
Javor	PUR	20	15,11	50,33	50,03	31,38	6,7	6,6	6,4	6,6	824,8
Javor	EPI	1	15,05	50,1	50,09	29,83	6,2	6,4	6,4	6,3	789,8
Javor	EPI	2	15,14	50,14	50,47	29,6	6,4	6,2	6,2	6,3	772,6
Javor	EPI	3	15	50,26	50,23	28,79	6,3	6,4	6,4	6,4	760,3
Javor	EPI	4	15,17	50,1	49,91	28,99	6,2	5,9	6,3	6,1	764,3
Javor	EPI	5	14,85	50,17	50,22	29,66	6,7	6,8	6,7	6,7	792,7
Javor	EPI	6	14,83	50,06	50,3	29,42	6,8	7,1	7,1	7	787,8
Javor	EPI	7	14,93	50,08	49,92	29,34	6,6	6,3	6,2	6,4	786,1
Javor	EPI	8	15,03	50,06	50,14	30,54	6,6	6,5	6,5	6,5	809,5
Javor	EPI	9	15,1	50,06	50,05	28,86	6,4	6,3	6,5	6,4	762,8
Javor	EPI	10	14,85	50,1	49,94	29,17	6,3	6,4	6,5	6,4	785,1
Javor	EPI	11	15,18	50,05	50,04	29,51	6,4	6,4	6,5	6,4	776,2
Javor	EPI	12	14,99	50,05	50,26	29,67	6,4	6,3	6,3	6,3	786,8
Javor	EPI	13	15,16	50,11	50,26	28,44	6,1	6,2	5,9	6,1	744,9
Javor	EPI	14	15,06	50,13	49,95	30,23	6,3	6,5	6,6	6,5	801,6
Javor	EPI	15	15,21	50,52	50,14	30,38	6,4	6,4	6,5	6,4	788,5
Javor	EPI	16	15,14	50,01	50,15	28,32	6,1	6,1	6,3	6,2	745,8
Javor	EPI	17	14,99	50,1	50,05	29,48	6,5	6,4	6,5	6,5	784,3
Javor	EPI	18	14,86	50,01	50,09	29,43	6,2	6,6	6,4	6,4	790,6
Javor	EPI	19	14,83	49,98	50,07	28,29	6,5	6,4	6,5	6,5	762,3
Javor	EPI	20	15,06	49,95	50,12	29,27	6,2	6,5	6,3	6,3	776,3