

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



Panely vyrobené z dýh jako alternativa k technologii CLT

Bakalářská práce

Autor: Jan Spudil

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Gašparík, Ph.D.

2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Spudil

Dřevařství

Dřevařství

Název práce

Panely vyrobené z dýh jako alternativa k technologii CLT

Název anglicky

Mass plywood panels as an alternative to CLT technology

Cíle práce

Hlavním cílem práce je analýza výroby a použití panelů vyrobených z dýh (mass plywood panel) a jejich porovnání s technologií CLT (křížem vrstvené dřevo) z pohledu různých faktorů.

Metodika

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

- červenec – říjen 2020: Teoretický rozbor jednotlivých materiálů na bázi dřeva určených pro nosné konstrukce staveb se zaměřením na panely vyrobeny z dýh (mass plywood panel).
- listopad 2020 – únor 2021: Teoretická charakteristika vlastností panelů vyrobených z dýh (mass plywood panel) a jejich porovnání s technologií CLT (křížem vrstvené dřevo). Výhody a nevýhody panelů vyrobených z dýh (mass plywood panel).
- březen 2021: Zpracování výsledků v textové, tabulkové a grafické podobě. Diskuze a závěry.
- duben 2021: Odevzdání bakalářské práce.

Doporučený rozsah práce

40-50

Klíčová slova

mass plywood panel, dýhy, CLT, konstrukce, dřevostavba

Doporučené zdroje informací

- AICHER, S., REINHARDT, H.-W., GARRECHT, H. Materials and Joints in Timber Structures: Recent Developments of Technology. Springer Science & Business Media, 2013, 819 s. ISBN: 978-94-007-7810-8
- GREEN, M., TAGGART, J. Tall Wood Buildings: Design, Construction and Performance. 2nd expanded edition, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2020, 200 s. ISBN: 978-3-0356-1885-3
- HORÁČEK, P. Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I., Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1998, 126 s.
- 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: 978-3-64287-928-9
- 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
- NOVOTNÝ, J., TOBOLKA, Z. Stavební materiály : určeno pro stud. fak. stavební. Praha: ČVUT, 1991.
- 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
-

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Miroslav Gašparík, PhD.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 8. 7. 2020

Ing. Radek Rinn

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2020

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 29. 03. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Panely vyrobené z dřív jako alternativa k technologii CLT“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Gašparíka, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

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

V Praze dne

.....

Podpis autora

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Miroslavu Gašparíkovi, Ph.D. za jeho cenné a odborné rady při psaní této práce. Poděkování také patří mé rodině a přátelům, kteří mě podporovali v průběhu studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se v teoretické rovině zabývá nosnými lepenými materiály na bázi masivního dřeva a dýh. Práce poskytuje přehled a teoretický rozbor těchto materiálů, včetně obecného kontextu. Zvláštní pozornost je věnována CLT panelům (křížem vrstvené dřevo) a MPP panelům (panel vyrobený z dýh). První část práce se zabývá obecnou charakteristikou materiálů na bázi dřeva a rozbohem materiálů na bázi masivního dřeva, včetně CLT panelů. Druhá část práce je zaměřená na materiály na bázi dýh, mezi které se řadí i MPP panely. V diskuzi jsou CLT a MPP panely porovnány z pohledu různých faktorů. Na základě srovnání vlastností CLT a MPP panelů lze konstatovat, že MPP panely jsou výhodnější z hlediska využití a úspory dřevní hmoty. MPP panely lze konstruovat pevnostně srovnatelné s CLT panely, a zároveň s využitím menšího průřezu. Další výhodou materiálu MPP je jeho tloušťková optimalizace a variabilita ve skladbě jednotlivých vrstev dýh. Naopak v otázce použití lepidel jsou vhodnější CLT panely, neboť se při jejich výrobě používá polyuretanové lepidlo, nikoliv lepidlo na bázi formaldehydu. Konstrukční systém CLT je v současné době již rozšířený a známý v Evropě i ve světě. Jeho zavedená výroba a vyšší produkce znamená lepší dostupnost a využití na českém i zahraničním trhu.

Klíčová slova: mass plywood panel, dýhy, CLT, konstrukce, dřevostavba

Abstract

The bachelor thesis is focusing on the theoretical aspect of load-bearing glued materials based on solid wood and veneers. It provides an overview and theoretical analysis of these materials, including the general context. Special attention is paid to Cross Laminated Timber (CLT) and Mass Plywood Panel (MPP). The first part deals with the general characteristics of wood-based materials and the analysis of solid wood-based materials, including CLT. The second part of the work is focused on veneer-based materials, which include MPP. In the discussion, the CLT and MPP are compared in terms of different factors. Based on a comparison of the properties of CLT and MPP, it can be stated that MPPs are more advantageous in terms of use and savings of wood. MPP can be constructed in terms of strength comparable to CLT panels, and at the same time using a smaller cross-section. Another advantage of the MPP material is its thickness optimization and variability in the composition of individual veneer layers. On the contrary, CLTs are more suitable when it comes to the use of adhesives, because a polyurethane adhesive is used in their production, not a formaldehyde-based adhesive. The CLT structural system is now widespread and known in Europe as well as in the world. Its established production and higher production mean better availability and use on the Czech and foreign markets.

Key words: mass plywood panel, veneers, CLT, construction, wooden building

Obsah

1. Úvod	10
2. Cíle práce	11
3. Teoretický rozbor	12
3.1. Dřevo – tradiční stavební materiál	12
3.2. Materiály na bázi dřeva	13
3.2.1. Definice kategorií	13
3.2.2. Vývoj materiálů na bázi dřeva	13
3.2.3. Vlastnosti materiálů na bázi dřeva.....	14
3.2.4. Rozdělení materiálů na bázi dřeva.....	15
3.2.4.1. Rozdělení dle vstupní frakce	15
3.2.4.2. Rozdělení dle použitého pojiva a způsobu konstrukce.....	16
3.2.4.3. Rozdělení nosných lepených materiálů na bázi dýh a masivního dřeva .	18
3.3. Nosné materiály na bázi masivního dřeva	19
3.3.1. KVH – Konstrukční dřevo.....	19
3.3.2. LLD – Lepené lamelové dřevo	21
3.3.3. CLT – Křížem vrstvené dřevo	23
3.4. Nosné materiály na bázi dýh.....	28
3.4.1. PSL - Parallam	28
3.4.2. LVL – Lepené vrstvené dřevo	30
3.4.3. MPP – Panel vyrobený z dýh.....	33
3.5. Diskuze.....	39
4. Závěr	44
5. Literatura	45

Seznam obrázků

Obr. 1 Velkorozponové řešení stopu sportovní haly	14
Obr. 2 Nejčastější typy frakce pro výrobu materiálů na bázi dřeva	15
Obr. 3 Rozdělení materiálů na základě typu pojiva a konstrukčního způsobu.....	16
Obr. 4 Rozdělení nosných lepených materiálů na z bázi masivního dřeva a dýh.....	18
Obr. 5 Zubový spoj pro slepení materiálu na délku.....	20
Obr. 6 Lepené lamelové dřevo.....	21
Obr. 7 Tvarovaný Glulam.....	22
Obr. 8 Skladba CLT panelů	23
Obr. 9 Detail křížem vrstvených lamel.....	23
Obr. 10 CLT stěnový panel.....	24
Obr. 11 CLT stropní panel.....	24
Obr. 12 CLT střešní panel.....	25
Obr. 13 Příklad spojování panelů pomocí vrtů	25
Obr. 14 Umístování CLT panelu pomocí jeřábu.....	26
Obr. 15 Využití CLT technologie částečně při stavbě vícepodlažní budovy	27
Obr. 16 Centrické loupání dýh.....	28
Obr. 17 Vodorovné krájení dýh	28
Obr. 18 Parallam	29
Obr. 19 Parallam – slisované pásky dýh.....	30
Obr. 20 LVL	30
Obr. 21 Porovnání ohybových pevností	31
Obr. 22 Příklad využití LVL.....	32
Obr. 23 Konstrukce hospodářské budovy z LVL	33
Obr. 24 MPP panel ve výrobě.....	34
Obr. 25 Uskladněné panely.....	34
Obr. 26 Materiálové skladba MPP.....	35
Obr. 27 Tloušťka MPP.....	36
Obr. 28 Vyráběné šířky a délky	36
Obr. 29 Spojení panelu na polodrážku.....	37
Obr. 30 Spojení stěnových panelů vruty.....	37

Obr. 31 MPP v aplikaci jako střešní panel.....	38
Obr. 32 MPP v aplikaci v interiéru	38
Obr. 33 MPP v aplikaci jako stropní panely.....	38
Obr. 34 Nepohledový typ povrchu	39
Obr. 35 Pohledový typ povrchu	39
Obr. 36 MPP panel složený z dýh.....	40
Obr. 37 CLT panel složený z lamel	40
Obr. 38 Globální produkce CLT.....	41
Obr. 39 Stropní MPP panel po požární zkoušce	43
Obr. 40 Stěnový MPP panel po požární zkoušce.....	43

Seznam tabulek

Tab. 1 Vývoj trhu dřevostaveb na území České republiky.....	12
Tab. 2 Porovnání charakteristických hodnot pevnostní KVH a BSH.....	22
Tab. 3 Porovnání LVL (Ultralam) s ostatními materiály.....	31
Tab. 4 Přípustné návrhové hodnoty 1.6E LVL.....	35
Tab. 5 Rozměry CLT a MPP panelů.....	41
Tab. 6 Návrhové pevnostní hodnoty CLT E2 a MPP.....	42
Tab. 7 Součinitel prostupu tepla	42

1. Úvod

Dřevo jako přírodní materiál provází lidstvo od nepaměti. Jeho využití v předmětech každodenní potřeby je dáno snadnou dostupností materiálu, výbornou opracovatelností, dobrými mechanickými vlastnostmi v tlaku i tahu, dobrými akustickými i rezonančními vlastnostmi a svou originální strukturou, kterou tento jedinečný přírodní materiál pozitivně působí na psychiku člověka. Z ekologického hlediska je ceněn aspekt obnovitelné přírodní suroviny. Obdobně v případě stavitelství je dřevo jako konstrukční materiál oblíbený již od dávných časů. V dnešní době se dřevostavby těší čím dál větší oblibě především v severských a západních státech a jejich obliba stoupá i v ČR.

Za nevýhody dřeva, které mohou omezovat a komplikovat jeho využití ve stavebnictví lze považovat anizotropii, neboli rozdílné mechanické vlastnosti v různých směrech zatížení. Navlhavost materiálu zapříčiňuje bobtnání a sesychání, tedy rozměrovou nestabilitu, případně i degradaci materiálu vlivem zvýšené vlhkosti po delší dobu. Dřevo je rovněž náchylné pro napadení dřevokazným hmyzem, nebo houbou. V neposlední řadě je třeba brát v úvahu i jeho hořlavost, nebo různorodost struktury. Díky historickému vývoji, v oblasti zpracování a úpravy dřevní suroviny byla postupně zavedena výroba deskových, ohýbaných a lepených produktů. Posléze i výroba materiálů na bázi dřeva a kompozitních materiálů.

Vzhledem k výše zmíněným specifickým vlastnostem dřeva je potenciál této suroviny pro stavebnictví stále ještě nevyčerpán. Nové moderní materiály na bázi dřeva si kladou za cíl eliminovat nežádoucí vlastnosti dřeva a rozšířit tak možnosti jeho využití. Takovéto materiály jsou předurčeny pro širokou škálu aplikací v oblasti stavebnictví, nábytkářství, i jiných oblastech. Díky důrazu na udržitelný rozvoj a používání obnovitelných zdrojů naší planety v mnoha oblastech lidského konání je logické a odpovědné uvažovat o konstrukčních materiálech na bázi dřeva jako o jedinečném stavebním materiálu nejen současnosti, ale i budoucnosti. S ohledem na trend montovaných staveb, které jsou ekonomicky výhodné, technicky vyspělé a snižují dobu výstavby, zaujímají CLT panely významné postavení v oblasti dřevěných konstrukčních panelů. Panely vyrobené z dýh tak mohou být zajímavou alternativou k této technologii.

2. Cíle práce

Cílem bakalářské práce je vypracovat analýzu konstrukčních lepených materiálů na bázi masivního dřeva a dýh. Práce je koncipována jako literární rešerše, ve které bude kladen důraz především na CLT panely a MPP panely, jejichž charakteristiky budou teoreticky popsány a porovnány z pohledu několika faktorů. První část práce je zaměřena na rozbor následujících bodů:

- všeobecná charakteristika a rozdělení materiálů na bázi dřeva
- charakteristika a zástupci nosných lepených materiálů na bázi masivního dřeva

Vzhledem ke skutečnosti, že MPP panel je poměrně nový materiál (2017), budou při rešerši použity především informace z internetových zdrojů výrobce. Získaná data budou popsána a porovnána s technologií CLT. Bakalářská práce poskytuje ucelený přehled a charakteristiky lepených konstrukčních materiálů na bázi masivního dřeva a dýh, jejichž vysoký potenciál lze zejména v České republice více využít. Druhá část práce je zaměřena na teoretický rozbor následujících bodů:

- charakteristika a zástupci nosných lepených materiálů na bázi dýh
- porovnání CLT panelů a MPP panelů

3. Teoretický rozbor

3.1. Dřevo – tradiční stavební materiál

Dřevo je jako tradiční stavební materiál využíván již od počátku lidské civilizace (Vigué 2006). V současné době se dřevo v nosných konstrukcích těší stále větší oblibě zejména díky okolním zemím, především ze severní Evropy, kde mají dřevostavby své tradiční místo ve stavitelství (Pavlas 2016).

Moderní architektura počítá se dřevem nejen jako doplňkovým materiálem, nýbrž jako s hlavním konstrukčním prvkem. Dřevostavby již nejsou záležitostí pouze rodinných domů, ale také vícepodlažních budov (Sandberg et al. 2018). Mohou sloužit veřejnému zájmu jako jsou nemocnice, či školy (Pavlas 2016). Aplikace moderních znalostí v oblasti zpracování dřevní suroviny umožňují nové využití pro tento materiál. Vzhledem k vysokým stavebním nárokům vznikají moderní materiály na bázi dřeva (Sandberg et al. 2018). Tento aspekt má za následek také zvýšení podílu stavěných objektů s dřevěnou konstrukcí. Rovněž se tímto podporuje trvale udržitelný rozvoj stavebnictví (Pavlas 2016). V České republice se stále zvyšuje poptávka po stavbě budov na bázi dřeva (Tab. 1). Tento trend trvá již přes dvacet let (Blaha 2018).

Tab. 1 Vývoj trhu dřevostaveb na území České republiky (Blaha 2017)

Rok	Rodinné domy dokončené v ČR celkem (ks)	Dřevostavby dokončené v ČR (ks)	Podíl dřevostaveb na trhu rodinných domů v ČR (%)
1999	8 251	92	1,12
2002	11 499	159	1,38
2005	13 231	384	2,9
2008	19 211	1 008	5,25
2014	13 510	1 281	9,48
2015	13 412	1 791	13,35
2016	14 010	2 013	14,37

3.2. Materiály na bázi dřeva

3.2.1. Definice kategorií

Dřevo se jako stavební a konstrukční materiál v dnešní době využívá nejen v tradiční masivní formě. V běžné praxi se lze setkat s materiály, které jsou vyrobené z dřevní hmoty, lišící se například tvarem a velikostí vstupní suroviny s různorodými vlastnostmi a také odlišnými obchodními názvy. Pro orientaci v textu je nutné nejprve ujasnit význam pojmu „materiály na bázi dřeva“ (Böhm et al. 2012).

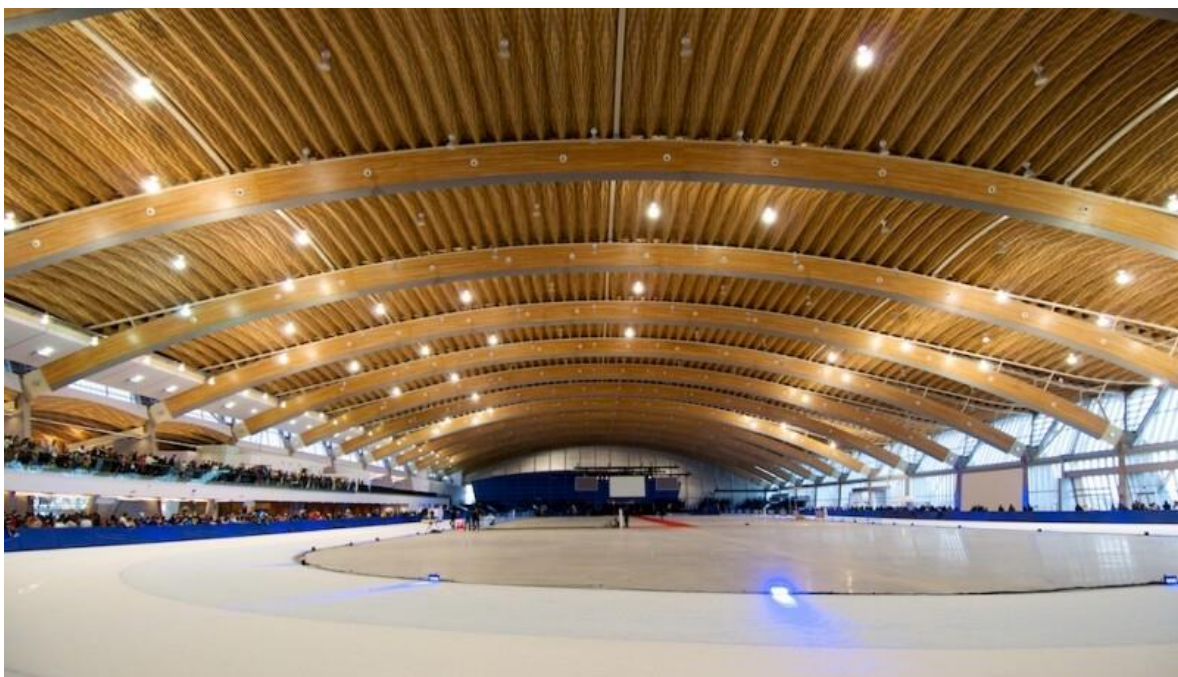
Materiály na bázi dřeva označují následující skupiny materiálů:

- **Masivní materiály** – Jedná se o materiály s klasickou strukturou masivního dřeva. Do této skupiny patří například spárovka, nebo biodeska (Böhm et al. 2012).
- **Překližované materiály** – Jedná se o materiály vzniklé slepením několika různých vrstev materiálu. Jednotlivé vrstvy jsou na sebe zpravidla lepeny pod úhlem 90°. Do této skupiny patří například překližky, nebo laťovky (Král a Hrázský 2006).
- **Aglomerované materiály** – Jedná se o materiály, které vznikají slepením drobnějších částic (štěpky, vláken, třísek...) za pomoci tlaku, případně tepla. Do této skupiny se nezahrnují masivní a překližované materiály (Hrázský a Král 1993).
- **Kompozitní materiály** – Jedná se o materiály, které jsou vyrobeny z rozdílných surovin o různých vlastnostech. Do této skupiny se někdy řadí aglomerované i překližované materiály (Böhm et al. 2012).

3.2.2. Vývoj materiálů na bázi dřeva

Jeden z důvodů vývoje materiálů na bázi dřeva je snaha odstraňovat nedostatky a vady rostlého dřeva (Král a Hrázský 1999). Jedná se například o suky či trhliny, které se vyskytují v jeho struktuře (Kollmann a Cote 2012). Na druhé straně je snaha využívat přirozené a výjimečné vlastnosti dřeva – rezonanční vlastnosti, izolační vlastnosti, snadná obrobitelnost, příznivé působení na životní prostředí, nízké výrobní nároky na energii, vysoká pevnost vzhledem ke hmotnosti (Král a Hrázský 1999).

V dnešní době se na trhu díky technickému a technologickému pokroku zvyšuje množství konstrukčních materiálů na bázi dřeva (Böhm et al. 2012). Tyto materiály se specifickými vlastnostmi odpovídají nejrůznějším potřebám, například pevnostním požadavkům na velko-rozponové konstrukce (Obr. 1) a moderní dřevostavby (Sandberg et al. 2018). Rozvoj zaznamenávají rovněž moderní voděodolná lepidla a hydrofobizační přípravky, které se využívají především u materiálů vystavených zvýšené vlhkosti. Rozvoj materiálů na bázi dřeva nabízí možnost jejich využití v nejrůznějších aplikacích, kde by bylo rostlé dřevo nepoužitelné (Böhm et al. 2012).



Obr. 1 Velkorozponové řešení stopu sportovní haly (Chamernik 2016)

3.2.3. Vlastnosti materiálů na bázi dřeva

Rostlé dřevo jako přírodní materiál mění svoje rozměry na základě změn vlhkosti, zejména v oblasti vody vázané. Tento jev se nazývá bobtnání a sesychání dřeva (Horáček 1998). Dřevo může obsahovat růstové vady, například trhliny. Tyto nežádoucí jevy lze eliminovat použitím moderních dřevních materiálů, které jsou díky své konstrukci rozměrově stabilnější, přenášejí větší zatížení a lze u nich eliminovat růstové vady, obvyklé u rostlého dřeva (Sandberg et al. 2018). Materiály na bázi dřeva odstraňují nehomogenitu rostlého dřeva, a tak se nabízí širší možnost jejich využití při konstrukčním řešení. Tyto materiály,

byť jsou ze stejné suroviny, lze vyvíjet způsobem, aby bylo jejich chování předvídatelné a stupeň anizotropie nižší. Snaha je, aby byly vlastnosti materiálu přizpůsobené požadavkům finálního produktu a celkové využití dřevního materiálu bylo co nejvyšší (Böhm et al. 2012).

Je důležité znát specifika těchto nových materiálů a respektovat jejich vlastnosti při použití. Tak bude možné zcela bezpečně a efektivně využívat dřevo jako trvalý obnovitelný zdroj pro aplikace ve stavebnictví (Böhm et al. 2012).

3.2.4. Rozdělení materiálů na bázi dřeva

Materiály vytvořené z dřevních částic lze klasifikovat dle několika aspektů. Jejich rozdělení bývá nejčastěji prováděno dle typu vstupní frakce, dále také podle použitého pojiva a způsobu konstrukce (Böhm et al. 2012).

3.2.4.1. Rozdělení dle vstupní frakce

Při výrobě materiálů na bázi dřeva se využívá několik typů frakce (Obr. 2), která vstupuje do výrobního procesu (Böhm et al. 2012).



Obr. 2 Nejčastější typy frakce pro výrobu materiálů na bázi dřeva

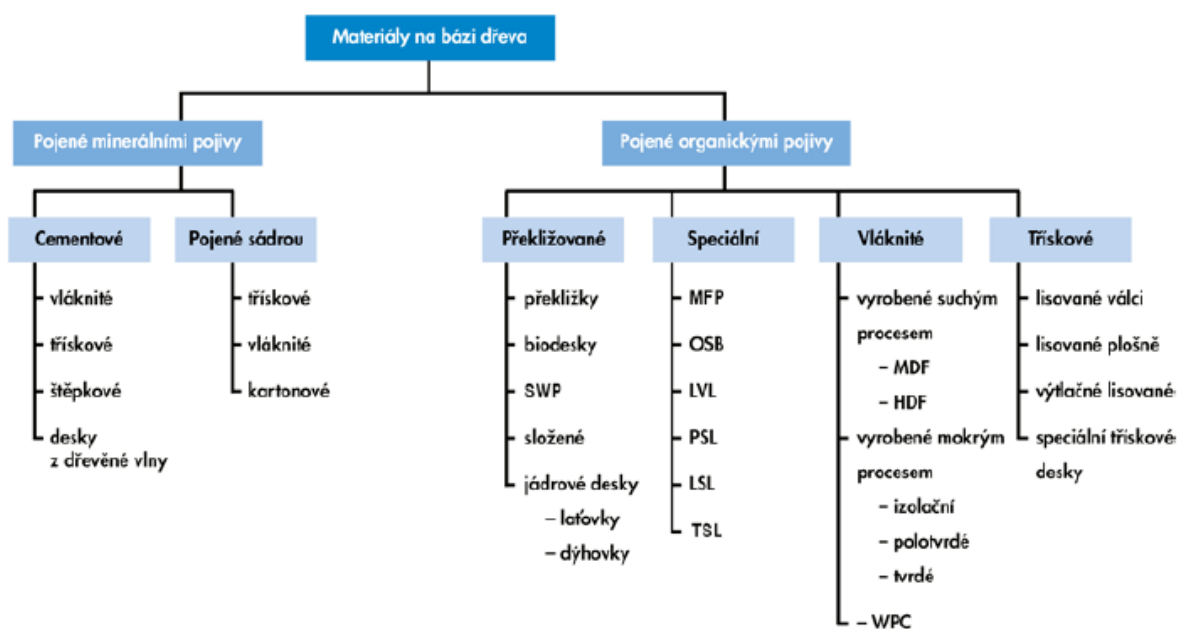
Zleva shora: dýhy, velké ploché třísky pro výrobu OSB, bílá (papírenská) štěpka, štěpka pro výrobu třísek a vláken, třísky, vlákna (Böhm et al. 2012).

Mezi nejčastější typy vstupní suroviny pro výrobu materiálů na bázi dřeva lze zařadit i masivní dřevo, byť se nejedná v pravém slova smyslu o frakci.

Materiály na bázi dřeva mají často jako vstupní surovinu dřevo nízké kvality z rychle rostoucích dřevin, případně dřevního odpadu, nebo lesní těžby. Tento fakt, že vstupní surovina nízké kvality může zapříčinit vznik výrobku vysoké kvality je brána jako velká výhoda materiálů na bázi dřeva. Další výhodou je možnost zužitkování dřeva menších průměrů. Neméně významná je schopnost, díky technologickým postupům, vytvořit z několika málo druhů dřevin materiály pro široké využití s mnoha odlišnými vlastnostmi (Breyr 1993; Štefka 2002).

3.2.4.2. Rozdělení dle použitého pojiva a způsobu konstrukce

Materiály na bázi dřeva lze rozdělit dle použitého pojiva a způsobu konstrukce materiálu (Obr. 3).



Obr. 3 Rozdělení materiálů na bázi dřeva na základě typu pojiva a konstrukčního způsobu. Zkratky materiálů: SWP: několikavrstvá deska z masivního dřeva, MFP: multifunkční panel, OSB: deska z orientovaných plochých třísek, LVL: vrstvené dřevo, PSL, LSL, TSL: materiály pro nosné účely, MDF: medium-density fibreboard, polotvrdá dřevovláknitá deska, HDF: high-density fibreboard, tvrdá dřevovláknitá deska (Böhm et al. 2012).

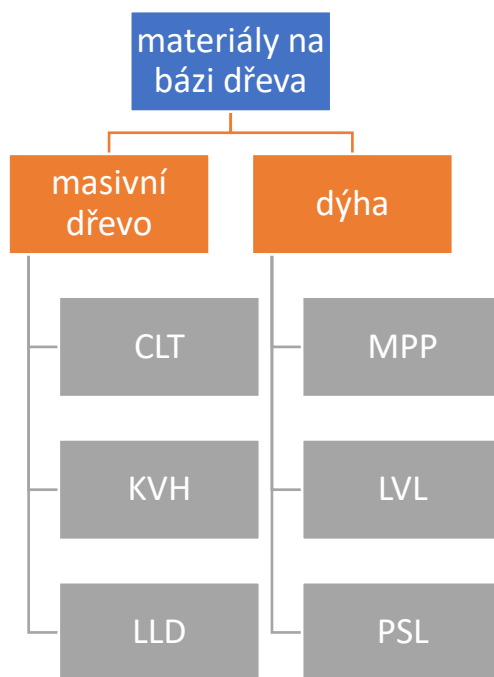
Definice pojmů:

- **Dýha** – Jedná se o slabý plát dřeva, jehož tloušťka se pohybuje 0,2-5 mm. Tento materiál je vyroben z dýhárenské kulatiny. Dýhy lze získávat krájením, řezáním, nebo loupáním (Patričný 2019).
- **Překližovaná deska** – Jedná se o deskový materiál sestávající z několika vrstev dýh, které se k sobě navzájem slepí. Orientace sousedních vrstev bývá vůči sobě 90°. Soubor tvoří alespoň 3 dýhy, ale může jich být také mnohonásobně více (Mahút et al. 1998).
- **Lat'ovka** – Tento materiál má střední vrstvu z latěk a je oboustranně opláštěn jednou, nebo více vrstvami dýh (Král a Hrázský 2006)
- **Dřevotřísková deska (DTD)** – Je materiál deskového charakteru vzniklý slepením dřevních částic, nejčastěji třísek, pilin a hoblin. Za pomoci lepidla a tepla se tento materiál slisuje do výsledného produktu (Hrázský a Král 1993).
- **Deska z plochých orientovaných třísek (OSB)** – Je deska sestavená ze tří vrstev. Třísky jsou ploché a mají podlouhlý tvar. Vnitřní vrstva třísek má orientaci napříč podélné strany desky, vnější vrstvy třísek jsou orientovány podélně s deskou. Opět se při výrobě využívá lepidlo (Böhm et al. 2012).
- **Cementová deska** – Vzniká slisováním dřevních částic, které jsou spojeny cementem. Deska může obsahovat nejrůznější přísady (Böhm et al. 2012).
- **Dřevovláknitá deska (DVD)** – Tento materiál se vyrábí z dřevních vláken. Produkce se rozděluje na mokrý a suchý výrobní proces. Soudržnost vláken v desce je zapříčiněna zplstnatěním vláken a syntetickou pryskyřicí (Hrázský a Král 1993).
- **Vláknitá deska se střední hustotou (MDF)** – Tento typ desky se často nazývá polotvrdá vláknitá deska. Deska je vyrobena slisováním dřevních vláken. Vyznačuje se homogenní strukturou v průřezu desky (Štefka 2002).
- **Kompozitní materiál vyráběný ze dřeva (WPC)** – Je materiál, který vzniká smícháním dřevních vláken a polymeru. Polymer bývá vysokotlaký polyetylén nebo polypropylen, či PVC materiál (Böhm et al. 2012).

3.2.4.3. Rozdělení nosných lepených materiálů na bázi dřeva a masivního dřeva

Tato práce se zabývá především lepenými nosnými materiály na bázi dřeva, které se vyrábějí z dříví, nebo jsou tvořené na bázi masivního dřeva a jsou spojeny organickými pojivy. Tyto materiály jsou často vícevrstvé, to znamená, že jsou slepeny na tloušťku z více konstrukčních částí.

Konstrukční části mohou být v tomto případě například dříví, nebo masivní dřeva. Jednotlivé vrstvy na sebe mohou být kladeny podélně, nebo křížem (Král a Hrázský 2000). Následující schéma (Obr. 4) ukazuje rozdělení těchto materiálů na základě vstupní suroviny. Tento typ rozdělení bude dále používán v této práci.



Obr. 4 Rozdělení nosných lepených materiálů na z bázi masivního dřeva a dříví

Zkratky:

- CLT – Cross Laminated Timber, křížem vrstvené dřeva
- KVH – Konstruktionsvollholz, konstrukční hranol lepený na délku
- LLD – Lepené Lamelové Dřeva, konstrukční hranol lepený na tloušťku
- MPP – Mass Plywood Panel, panel vyrobený z dříví

- LVL – Laminated Veneer Lumber, vrstvené dřevo
- PSL – Parallel Strand Lumber, Parallam – obchodní název materiálu vyrobeného z pásků dýh

3.3. Nosné materiály na bázi masivního dřeva

Do kategorie nosných materiálů na bázi masivního dřeva patří produkty ve formě nosníků, sloupků, nebo panelů. Základem těchto materiálů je deskové, hraněné, nebo polo-hraněné řezivo. Nejčastěji se používají fošny, prkna, hranoly a trámy. Díky masivním dřevním komponentům působí estetickým dojmem, jako klasické rostlé dřevo a tyto nosné materiály bývají proto často využívány v pohledových aplikacích. Jejich výhoda spočívá rovněž v minimalizaci přirozených vad dřeva vyříznutím vady, nebo jejich eliminací díky lepení jednotlivých elementů na sebe pod úhlem 90° (Böhm et al. 2012).

3.3.1. KVH – Konstrukční dřevo

Označení KVH hranol vychází z německého výrazu Konstruktionsvollholz. Tento výraz lze přeložit jako konstrukční hranol, nebo konstrukční dřevo. Konstrukční dřevo je masivní, délkově nastavovaný dřevěný hranol. Jedná se o nosný materiál, který se vyrábí nejčastěji ze smrkového dřeva (Smutný 2016).

Vstupní surovina pro KVH je masivní dřevo, které je nejprve nařezáno s nadmírou požadovaného průřezu. Dřevo je dále vysušeno v komorových sušárnách na vlhkost 15 % (± 3 %). Během procesu sušení je provedena sterilizace proti biologickým škůdcům. Následně je třeba vyřezat vady, vypadlé suky a rozpraskané části, aby mohl finální výrobek splňovat normovanou kvalitu. Na čele takto upravených hranolů jsou vyfrézovány zubové spoje (Obr. 5). Na zubové spoje, tzv. cinky, je nanášeno polyuretanové lepidlo a jednotlivé kusy jsou k sobě na délku slepeny. Takto vznikne nekonečný, délkově nastavený KVH hranol, který je vysušený a připravený k dalším úpravám. Po vytvrzení lepidla je hranol přesně ohoblovaný ze všech stran na daný rozměr a provádí se sražení hran (Böhm et al. 2012). KVH hranoly se často, vzhledem k dopravě, vyrábí o délce 13 m. Průřez hranolu bývá dle přání zákazníka, standardně až do rozměru 140/240 mm (Smutný 2016). V případě

potřeby větších rozměrů je vhodné použít BSH hranoly. Pevnostní třída tohoto materiálu je C 24 – pevnost v ohybu 24 MPa (Soukup 2012).



Obr. 5 Zubový spoj pro slepení materiálu na délku (Grimm 2014)

Hranoly se používají v rámových konstrukcích montovaných staveb, při konstrukci podlah, stropů, krovů i plochých střech. Rovněž nacházejí uplatnění při výrobě altánů, či pergol. V porovnání s rostlým dřevem je nutné zmínit, že anatomická struktura rostlého dřeva může působit kontraproduktivně při větších průřezech. Vzhledem k sesychání a bobtnání dřeva může docházet k degradaci materiálu. Původní vady a neregulárnosti v kmeni stromu mohou mít za následek horší vlastnosti materiálu. Mohou se vyskytovat trhliny, suky a hniloba. Všechny tyto jevy ovlivňují výsledný vzhled i vlastnosti materiálu. Díky technologické možnosti podélného lepení KVH hranolu, příčnému vyřezání vad a napojení zubovým spojem, lze docílit lepších vlastností při menší spotřebě dřeva. Takto vyrobený materiál, který vznikne často ze středových částí kmene, má tedy své nesporné výhody jako tvarovou stálost, délku 13 metrů i více, vysokou kvalitu povrchu, přesné rozměry díky technologii zpracování a ošetření materiálu sterilizací proti škůdcům (Soukup 2012). V neposlední řadě se jedná o skutečnost, že výroba KVH hranolu není limitována velikostí kulatiny (Überwachungsgemeinschaft Konstruktionsvollholz e.V. 2021).

KVH hranoly se vyrábějí ve dvou pohledových variantách:

- KVH NSi – kvalita pro nepohledové použití. Tento materiál je určený pro nepohledovou aplikaci, například do skrytých konstrukcí, ve kterém se mohou projevit drobné vady, které nemají vliv na pevnostní charakteristiky materiálu (Smutný 2016).

- KVH Si – kvalita pro pohledové použití. Tento materiál se používá na pohledové konstrukce, například krovu (Böhm et al. 2012).

Cena se pohybuje v rozsahu 8 000-13 000 Kč/m³. Cena se liší v závislosti na délce a průřezu materiálu (Böhm et al. 2012).

3.3.2. LLD – Lepené lamelové dřevo

Lepené lamelové dřevo (Obr. 6) se v němčině nazývá Brettschichtholz, zkratka BSH, nebo v angličtině Glued Laminated Timber, obchodní název Glulam (Slovák 2013). Jedná se o materiál především ve formě nosníků, který umožňuje vytvořit velké rozpory (Lokaj a Vavrušová 2012). Lepené lamelové dřevo se vyrábí ze smrkového řeziva. Lze využít ale i jedlové, modřínové, nebo borovicové řezivo. V České republice se tento materiál vyrábí od roku 1952 (Štemberk 2018).



Obr. 6 Lepené lamelové dřevo (Bauer-Holz GmbH 2021)

Materiál se lepí z tzv. lamel. Jedná se o řezivo, kdy tloušťka jednotlivých lamel je 40 mm a maximální šířka lamel je 280 mm (Lokaj a Vavrušová 2012). Lamely jsou před slepením vysušeny na vlhkost 10-12 % (± 2 %). Tento krok zabraňuje výskytu dřevokazného hmyzu a eliminuje výskyt plísní a dřevokazných hub. Rovněž se snížením vlhkosti omezí rozměrové změny produktu (Stavebniny DEK a.s. 2021). Jednotlivé lamely, jsou prohlédnuty, suky a jiné vady jsou vyřezány na zkracovací pile. Následně se bezchybný materiál nastavuje na délku pomocí zubovitého spoje. K lepení se používá modifikované PVAC lepidlo. Materiál se délkově lisuje v podélných vysokofrekvenčních lisech. Následně se lamely ofrézují a jednostranně se na ně nanese lepidlo. Lamely se k sobě navzájem na

tloušťku slepí fenol-formaldehydovými lepidly. Materiál se opět lisuje ve vysokofrekvenčním lisu. V případě obloukových a specificky tvarovaných nosníků (Obr. 7) se používá šroubový lis. Prvek je následně tloušťkově ofrézován (Böhm et al. 2012). Standardní rozměry hranolů bývají: výška 440 mm, šířka 280 mm, délka 13 m. Na zakázku lze vyrobit výšku hranolu až 2 m a délku až 50 m (HAPex s.r.o. 2021).



Obr. 7 Tvarovaný Glulam (Glenfort Timber Engineering Ltd 2021)

Tento materiál je vhodný na přímé, nebo tvarové nosníky, dále na staticky namáhané konstrukce, sloupy a vazníky (Böhm et al. 2012). Povrch se vyrábí v pohledové, nebo nepohledové kvalitě (Smutný 2016). Hranoly jsou vyráběny v pevnostních třídách od GL 24 do GL 36 (Svoboda et al. 2013). Mechanické vlastnosti mají BSH hranoly kromě smyku srovnatelné, nebo lepší než KVH hranoly (Tab. 2).

Tab. 2 Porovnání charakteristických hodnot pevnostní KVH a BSH (Gregorová 2019)

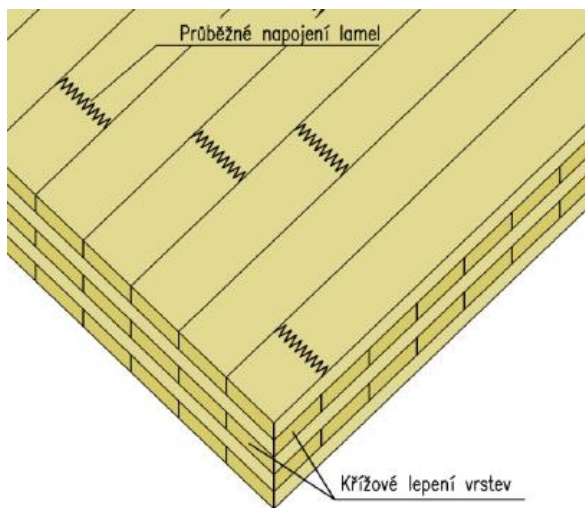
Pevnost	KVH	BSH	
	C24	GL 24	GL 28
Ohyb	24	24	28
Tah rovnoběžně s vlákny	14	16,5	19,5
Tah kolmo na vlákna	0,4	0,4	0,45
Tlak rovnoběžně s vlákny	21	24	26,5
Tlak kolmo na vlákna	2,5	2,7	3
Smyk	4	2,7	3,2

Lepších vlastností dosahují BSH hranoly především v tahu a tlaku podél vláken. Tabulka slouží pro porovnání charakteristických hodnot pevností BSH a KVH hranolů. Jednotky jsou v MPa (Gregorová 2019).

Cena se pohybuje 18 000-24 000 Kč/m³ (PALIS Plzeň, spol. s r.o. 2021).

3.3.3. CLT – Křížem vrstvené dřevo

Název technologie CLT vychází z anglického názvu Cross Laminated Timber – křížem vrstvené dřevo. Někdy se lze setkat s označením X-LAM. Jedná se o nosný deskový materiál, který je vyroben z kolmo na sebe nalepených vrstev masivního dřeva, prken (Obr. 8 a 9). Základní dřevinou pro výrobu panelů bývá nejčastěji smrk, dále modřín, borovice, nebo douglaska. Výrobci se v současné době zabývají využitím i jiných typů dřevin (Pavlas 2016). Technologie křížem vrstveného dřeva má svůj počátek v devadesátých letech minulého století v Rakousku. Jeho vznik zapříčinila spolupráce vědců a dřevozpracujících firem. Rozšíření konstrukčního systému v zahraničí byl nejprve pozvolný. Díky konkurenci je trend tento materiál neustále vylepšovat. Očekávaný je i velký nárůst staveb z CLT v USA (Nešporová 2017). V České republice CLT panely vyrábí například Stora Enso Wood Products Ždírec s.r.o., nebo společnost AGROP NOVA a. s.



Obr. 8 Skladba CLT panelů (Pavlas 2015)



Obr. 9 Detail křížem vrstvených lamel
(Pavlas 2015)

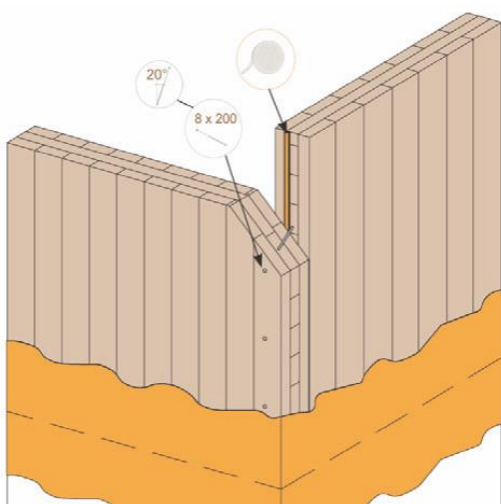
CLT panel se skládá z několika vrstev, nejčastěji tři, pět, nebo sedm, které jsou na sebe kladené pod úhlem 90°. Jednotlivé vrstvy jsou tvořené z dřevěných lamel. Lamela

v tomto případě znamená prkno o tloušťce 10-50 mm. Panel se lepí za studena a při lepení se využívá vysoký tlak. Výroba CLT panelů se rozděluje na dva způsoby (Pavlas 2016).

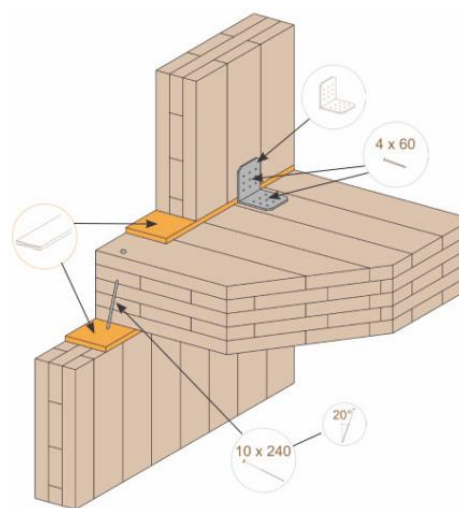
1. Lepidlo se používá pouze pro slepení jednotlivých vrstev, nikoliv samotných lamel mezi sebou v jedné vrstvě.
2. Lepidlo se používá pro slepení jednotlivých vrstev a zároveň pro slepení lamel na kratší hraně mezi sebou v jedné vrstvě (Pavlas 2016).

Při výrobě se využívá polyuretanové lepidlo, které bývá výrobcem garantované jako zdravotně nezávadné. Toto tvrzení je nutné vždy u daného výrobce ověřovat individuálně (Nešporová 2017). Tloušťka panelů bývá 60-240 mm, výška 3 m a délka až 18 m. Rozměry jsou většinou limitované možností dopravy a kapacitou výrobní linky. Tolerance těchto panelů je ± 2 mm. V závislosti na výrobcu se mohou lišit rozměry panelů, a tloušťky jednotlivých vrstev lamel (Pavlas 2015).

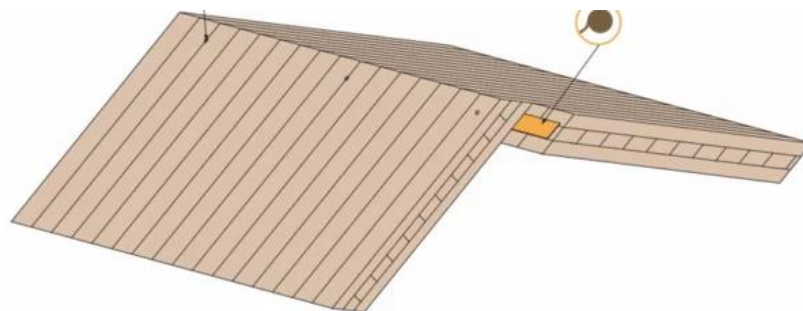
Své uplatnění nacházejí CLT panely zejména při konstrukci stěn, stropů a střech (Obr. 10-12). Využívány jsou při stavbě rodinných i pasivních domů, při konstrukci veřejných i vícepodlažních budov velkých měřítek (Obr. 15) (Němcová 2020). Velká část projektů v České republice, jejichž výstavba je provedena konstrukčním systémem CLT, jsou rodinné domy. V menším měřítku se tak staví touto cestou budovy větších měřítek a občanské vybavenosti. V této oblasti má CLT technologie potenciál (Pavlas 2016).



Obr. 10 CLT stěnový panel (JAF HOLZ spol. s r.o. 2021)



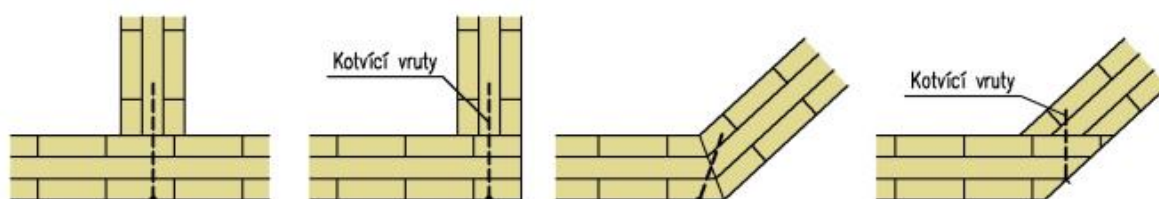
Obr. 11 CLT stropní panel (JAF HOLZ spol. s r.o. 2021)



Obr. 12 CLT střešní panel (JAF HOLZ spol. s r.o. 2021)

Výhodou těchto panelů je přesnost jejich výroby, která je zaručena výrobou na přesných CNC strojích a pečlivou automatizovanou kontrolou. Dále také odolnost vůči působení ohně. Panely při tloušťce 80 mm dosahují požární odolnosti REI 30. Vyšší tloušťky panelů dosahují dokonce hodnot REI 60 a REI 90 i v případě, že konstrukce není obložena protipožárními obklady (Pavlas 2016). Křížem vrstvené lamely panelu zajišťují tvarovou stálost a tuhost (Nešporová 2017). Dobré pevnostní vlastnosti ve dvou hlavních směrech, podélném a příčném, jsou dané vrstvením lamel křížem na sebe (Aicher et al. 2013). Konstrukce snižuje bobtnání a sesychání panelu na minimum. Díky použitému materiálu má oproti ostatním stavebním materiálům, například betonu, nebo oceli výhodu v nižší objemové hmotnosti (Němcová 2020). Jako pozitivum lze vnímat skutečnost, že panely nejsou vyráběny sériově, ale dle konkrétního zadání projektu přesně na míru, což umožňuje velkou míru volnosti při projektování (Pavlas 2016).

CLT panely lze spojovat pomocí tesařských vrtů (Obr. 13), hřebíků, kolíků nebo čepů. Dále je možné využívat nejrůznější úhelníky a podobně (AGROP NOVA a.s. 2021). Díky jednoduché montáži, během které se nevyužívají mokré procesy, se zvyšuje rychlost a efektivita sestavení stavby, což je jedna z největších výhod CLT panelů. Připravené panely lze na staveništi sestavit během krátkého času v řádu několika dní. Pracovat lze na stavbě i v zimě.



Obr. 13 Příklad spojování panelů pomocí vrtů (Pavlas 2015)

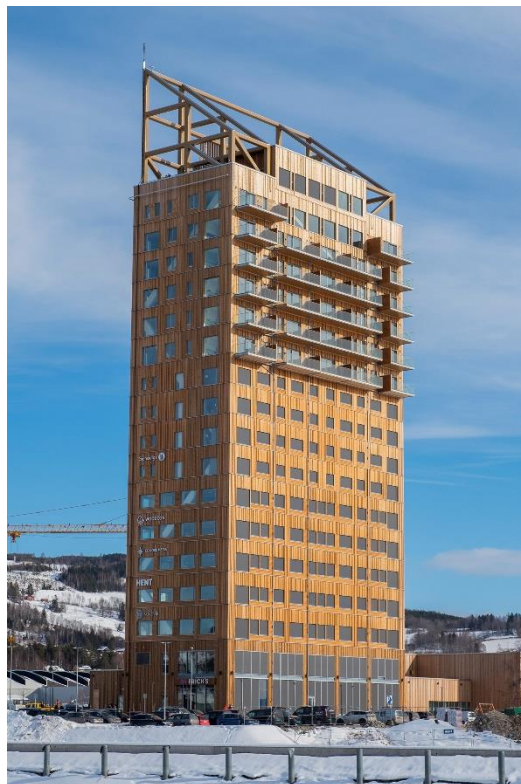
S velkými rozměry panelů a vyšší hmotností oproti rámové konstrukci je nutné využít při stavbě jeřáb (Obr. 14) a je tedy nezbytné, aby bylo staveniště pro tuto techniku dobře dostupné. Panely lze využívat pro rozpory s délkou až 7 m. Při větších rozponech by bylo nutné vyrobit panely větší tloušťky, která by zvyšovala váhu a cenu celé konstrukce. Pro zvýšení akustického útlumu například mezi jednotlivými byty je vhodné použít zvukovou izolaci (Pavlas 2016).



Obr. 14 Umisťování CLT panelu pomocí jeřábu (Nešporová 2017)

Výrobci uvádějí šetrnost materiálu k životnímu prostředí a používání lepidel bez uvolňování formaldehydu (Nešporová 2017). Například při projektování Budovy Murray Grove Tower Londýně se ukázalo, že uhlíková stopa je záporná, neboť dřevo použité na stavbu uchovává 185 000 tun CO₂. Tento typ konstrukce se tedy řadí k trvale udržitelné (Pavlas 2015). CLT panely jsou vzduchotěsné a zároveň dostatečně paropropustné. Vytváří tak vhodné a příjemné vnitřní klima. Po zateplení samotných panelů je budova vhodná i z hlediska úspor energie, neboť má dobré tepelné technické vlastnosti (Němcová 2020). CLT panely bývají využívány pro difuzně otevřenou konstrukci. V případě správně vybrané skladby obvodových konstrukcí se lze vyhnout riziku kondenzace vodních par, případně špatně provedené parozábrany, což bývá problém u difuzně uzavřených konstrukcí (Pavlas 2016).

Povrch se vyrábí v pohledové a nepohledové variantě, kterou si může zákazník sám zvolit podle využití konkrétních panelů (Pavlas 2016; Němcová 2020). Nepohledová kvalita panelů znamená, že panel může obsahovat některé estetické vady například v podobě zamodrání, nebo vypadavých suků. Materiál je hoblovaný. Pohledová kvalita panelů je vyráběna z výběrového dřeva, kde je povrch broušený a svým charakterem jsou panely vhodné pro užití v interiéru (Pavlas 2016).



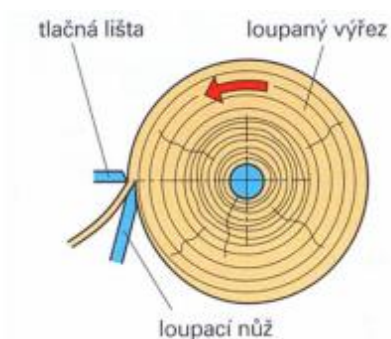
Obr. 15 Využití CLT technologie částečně při stavbě vícepodlažní budovy (Moelven Limtre AS 2021)

Cena CLT panelů je vždy závislá na domluvě s výrobcem. Obecně lze tvrdit, že tento konstrukční systém je spíše dražší, cena stěny o tloušťce 80-90 mm se pohybuje mezi 2 000-3 000 Kč/m² (Nešporová 2017). Vzhledem k mnoha proměnným a skutečnosti, že každý originální projekt má svá specifika, lze těžko hledat univerzální ukazatel, který by porovnal ekonomickou efektivitu několika konstrukčních typů staveb. Zvýšená cena materiálu může být například vyrovnána výhodou vysoké rychlosti výstavby, která šetří finance investorů (Pavlas 2015).

3.4. Nosné materiály na bázi dýh

Kategorii nosných materiálů na bázi dýh představují produkty ve formě deskových materiálů, trámů, nosníků a konstrukčních panelů. Tyto materiály se vyrábí slisováním souboru dýh.

Dýha je slabý plát dřeva, který vznikne loupáním (Obr. 16), krájením (Obr. 17), nebo řezáním dýhárenské kulatiny (Patričný 2019). Zhruba 95 % vyrobených dýh na světě vzniká loupáním (Kollmann et al. 2012). V případě výroby konstrukčních dýh se využívá rovněž loupání. Při loupání vzniká nekonečný pás dýhy, jež se následně formátuje na požadovaný rozměr. Dýha má tloušťku 7 mm a nižší (Král a Hrázský 2006). Dřeviny pro výrobu konstrukčních dýh bývají nejčastěji smrk, buk, nebo bříza (Böhm et al. 2012). Materiály na bázi dýh nacházejí uplatnění v moderním stavebnictví jako trámy, nosníky o velkých rozponech, krokve, stěnové, střešní a stropní panely. Tyto materiály se vyznačují vysokou pevností, rozměrovou stabilitou, odolností vůči ohni a materiálovou úsporou díky lepším pevnostním vlastnostem stejného průřezu, oproti rostlému dřevu (Steico SE 2021).



Obr. 16 Centrické loupání dýh
(Drexlerová 2018)



Obr. 17 Vodorovné krájení dýh
(Drexlerová 2018)

3.4.1. PSL – Parallam

Parallam je obchodní název materiálu Parallel Strand Lumber, zkratka PSL. V češtině zatím neexistuje ekvivalentní překlad, proto se používá tento obchodní název.

Tento nosný materiál je vyráběn ve formě hranolu (Obr. 18) (Král a Hrázský 2000). Základní surovinou jsou pásy dýh, které se vyrábí především z jedle, douglasky, nebo kanadské borovice (Böhm et al. 2012).



Obr. 18 Parallam (Great Central Lumber Co 2021)

Dýha pro výrobu Parallamu vzniká loupáním (Obr. 16). Následně je vysušena a kontrolována její kvalita. Dýha je poté rozstříhána na pásy, které mají šířku 13 mm a tloušťku 3 mm a jsou dlouhé přibližně 2,4 m. Nekvalitní proužky dýhy jsou vyřazeny. Pásy se skládají paralelně a za pomoci formaldehydového lepidla lisují do bloku (Obr. 19) v průběžných válcových lisech s mikrovlnným ohřevem. Materiál má ve výsledku hustotu cca 700 kg/m^3 . Výsledný hranol má rozměr až $285 \times 400 \text{ mm}$, zkracuje se na délku 20 m (Hrázský a Král 2008).

Parallam se používá v podobě trámů, sloupů, nosníků, vaznic, nebo překladů (Hrázský a Král 2008). PSL má vynikající pevnostní vlastnosti v tlaku a tahu v porovnání s rostlým dřevem. Jeho výhodou je absence přirozených vad dřeva. Má dobrou rozměrovou stabilitu, nekrotí se. I při vysokém zatížení se neprohýbá tolik jako jiné dřevěné nosníky. Výhodou je snadná opracovatelnost a možnost škálování rozměrů (Král a Hrázský 2000). Materiál vyniká v poměru hmotnosti a únosnosti i nad materiály jako například ocel (Hrázský a Král 2008). Parallam si prošel rozsáhlým testováním, technologie je chráněná mezinárodními patenty. Je typický svým vzhledem, který je charakteristický červenými spoji mezi jednotlivými dýhami. Barva je daná červeným fenol-formaldehydovým lepidlem (Böhm et al. 2012).



Obr. 19 Parallam – slisované pásky dřív (Fast + Epp GmbH 2021)

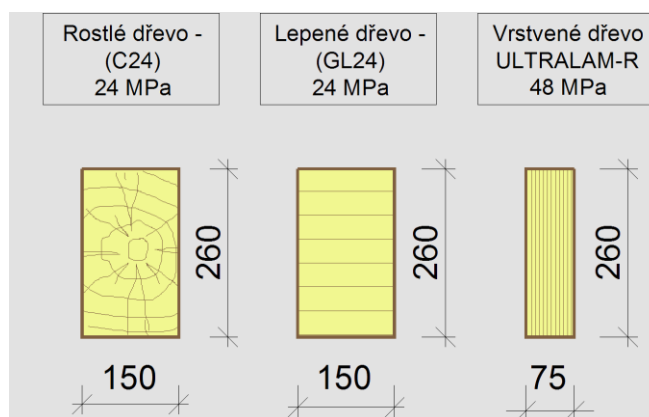
3.4.2. LVL – Lepené vrstvené dřevo

Vrstvené dřevo je v angličtině označováno jako Laminated Veneer Lumber, zkratka LVL. Lze se také setkat s obchodním názvem Microllam. Jedná se o nosný deskový materiál, který lze pomocí dřevo-řezných nástrojů formátovat do finálních požadovaných rozměrů pro cílové použití. Vrstvené dřevo vzniká slisováním souboru dřív (Obr. 20). Dřív pro výrobu LVL jsou nejčastěji ze smrkového, bukového, nebo březového dřeva. Kvalita vrchních dřív je před lisováním kontrolována vizuálním způsobem (Böhm et al. 2012).



Obr. 20 LVL (Carter Holt Harvey Ltd. 2021)

Deskový materiál je vyráběn z konstrukčních loupaných dých o tloušťce cca 3 mm. Dýhy jsou po naloupání vysušeny na vlhkost 8 %. Během výroby je kontrolována kvalita dých pomocí moderní technologie. Ta má za úkol měřit tloušťku, vlhkost a rozměry dýhy. Dýhy jsou následně sesazovány do souboru a je na ně nanášeno voděodolné lepidlo, nejčastěji fenol-formaldehydové. Soubor dých je následně slisován do kompaktní desky. Hustota vrstveného dřeva je cca 680 kg/m³ (Hrázský a Král 2008). Dýhy jsou na rozdíl od překližek vrstvené většinou pouze v podélném směru, neboť funkčnost materiálů vychází z faktu, že dřevní vlákna mají mnohonásobně vyšší pevnost v podélném, než v příčném směru (Obr. 21) (Böhm et al. 2012). Výsledná deska vrstveného dřeva může mít tloušťku až 275 mm, šířku 2 m a délku až 25 m (Sandberg et al. 2018).



Obr. 21 Porovnání ohybových pevností (STŘECHY 92 s.r.o. 2021)

LVL nachází uplatnění v podobě nosných konstrukcí (Obr. 22), krovů, nosníků (Obr. 23), stěnových prvků, trámů, krokví a podpěr (Sandberg et al. 2018). Vrstvené dřevo vyniká vysokou pevností (Tab. 3), rozměrovou stálostí a tvarovou stabilitou. Oproti dřevu má výhodu, že nesesychá a nekrouť se. Díky souboru dých neobsahuje trhliny jako rostlé dřevo. Na rozdíl od stavebních materiálů, jako ocel a beton, vyniká výborným poměrem pevnosti a hmotnosti. Materiál se snadno opracovává (Hrázský a Král 2008).

Tab. 3 Porovnání LVL (Ultralam) s ostatními materiály (Nešporová 2017)

TYP	Hustota [kg/m ³]	Ohybová pevnost [MPa]	Modul pružnosti [MPa]	Cena [Kč/m ³]
LVL	480	48	14 000	22 000
Rostlé dřevo	>350	24	11 000	6 000
KVH	350	24	11 000	11 000
BSH	380	24	11 600	15 000

Vrstvené dřevo se prodává pod několika obchodními názvy, mezi nimiž jsou nejvíce známe KERTO, nebo Microllam, či Ultralam. Tyto materiály se často liší v podílu podélně a příčně orientovaných dýh (Böhm et al. 2012).



Obr. 22 Příklad využití LVL (Modern Lumber Technology Ltd. 2021)

Od výše zmíněných firem jsou známy:

- Kerto S – Materiál, jehož dýhy jsou všechny položeny v podélném směru produktu, žádná dýha není položena napříč. Ohybový modul pružnosti Kerto S je zhruba o 10 % vyšší, než má rostlé dřevo, ze kterého je materiál vyroben.
- Kerto Q – Materiál, jehož každá šestá vrstva je pokládána napříč materiálu. Všechny ostatní vrstvy jsou ukládány podélně. Tento typ se využívá na střešní aplikace a stěnové prvky.
- Microllam A – U Microllamu jsou použité vrstvy dýh náhodně překryté a dohromady slisované do jednoho souboru.
- Microllam B – Microllam B se liší od typu A tím, že konce dýh jsou spojené klínovým spojem. Tloušťka jednotlivých dýh je nejčastěji 3,2 mm (Böhm et al. 2012).

- Ultralam R – Dýhy v tomto materiálu jsou pokládány v podélném směru. Tím je dána jeho vysoká pevnost a předurčuje materiál pro použití jako nosníky, vaznice a krokve.
- Ultralam X – Dýhy v tomto materiálu jsou pokládány z 80 % v podélném a z 20 % v příčném směru. Takto je dosažena tuhost desky a nosnost v obou směrech materiálu. Využití nachází v podobě velkoformátových desek při konstrukci stropů, či střech.
- Ultralam I – Materiál je složen z podélně i příčně naskládaných dýh. Tento materiál má vysokou tvarovou stabilitu, nehodí se na příliš namáhané konstrukce (Nešporová 2017).



Obr. 23 Konstrukce hospodářské budovy z LVL (Modern Lumber Technology Ltd. 2021)

3.4.3. MPP – Panel vyrobený z dýh

Panel vyrobený z dýh se v angličtině nazývá Mass Plywood Panel, zkratka MPP. Jedná se o nosný deskový materiál, panel, který je vyroben slepením několika vrstev předem připraveného LVL – vrstveného dřeva (Obr. 24). Počet použitých vrstev LVL závisí na požadované tloušťce finálního MPP panelu (Obr. 25). Základní výrobní surovinou je dýha. Dýhy se vyrábí z jehličnatých dřevin, nejčastěji douglasky, nebo modřínu. Panel vyrobený z dýh byl vyvinutý a patentovaný jako alternativa k CLT panelům firmou Freres Lumber Co. Inc. ve státě Oregon v USA v roce 2017. Tento podnik má stoletou tradici

v dřezpracujícím odvětví, zabývá se výrobou dřh, překližek a výrobou energie. Firma zaměstnává 450 zaměstnanců (Freres Lumber Co. Inc. 2021).



Obr. 24 MPP panel ve výrobě (Freres Lumber Co. Inc. 2021)



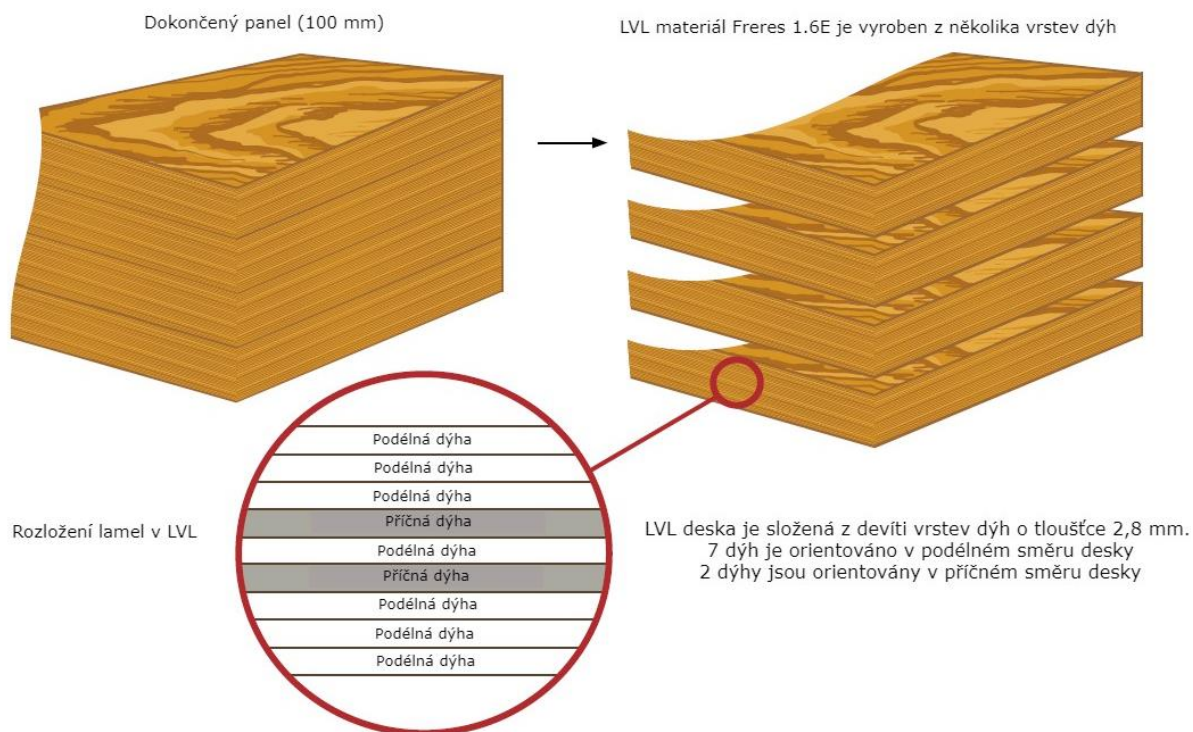
Obr. 25 Uskladněné panely (Freres Lumber Co. Inc. 2021)

Výroba panelů probíhá ve dvou etapách. V první etapě je nutné vyrobit LVL desky, jejichž výroba byla detailně popsána v předešlé kapitole. Vrstvené dřevo, konkrétně materiál

1.6E LVL (Tab. 4), který se používá pro konstrukci MPP, má tloušťku 25,4 mm a vyrábí se z devíti vrstev konstrukční dýhy o tloušťce 2,82 mm. Sedm vrstev dýh je položeno rovnoběžně ve směru desky, dvě dýhy jsou při výrobě položeny napříč podélnému směru desky (Obr. 26). Na dýhy je nanášeno fenol-formaldehydové lepidlo a soubor dýh je za zvýšeného tlaku a tepla slisován. Tento LVL materiál podléhá standardu ASTM D5456 (Freres Lumber Co. Inc. 2021).

Tab. 4 Přípustné návrhové hodnoty 1.6E LVL (Freres Lumber Co. Inc. 2021)

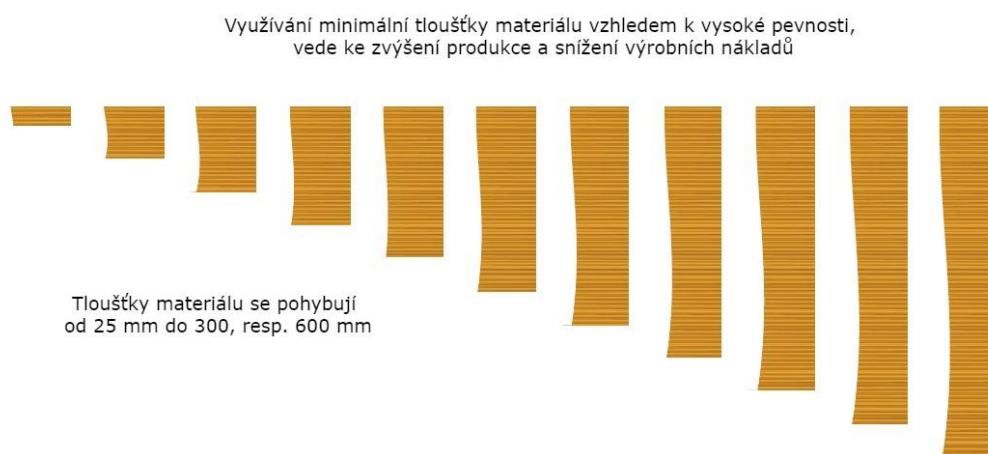
	1.6E LVL	
Ohybová pevnost [MPa]	Zatížení rovnoběžně s rovinou desky	13,11
	Zatížení kolmo na rovinu desky	20,7
Modul pružnosti [MPa]	Zatížení rovnoběžně s rovinou desky	11 040
	Zatížení kolmo na rovinu desky	9 660



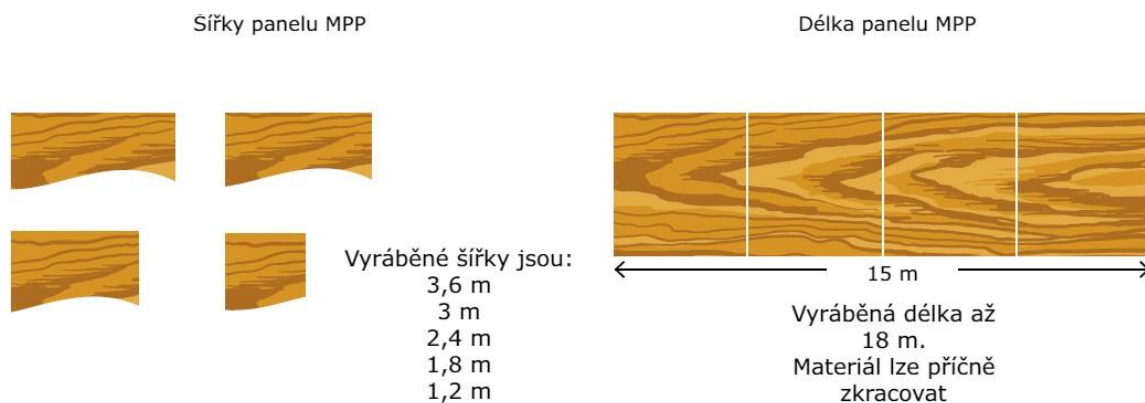
Obr. 26 Materiálové skladba MPP (Freres Lumber Co. Inc. 2021)

V druhé etapě se z připravených LVL desek lisují finální MPP panely o požadované tloušťce. Jednotlivé desky se k sobě lepí melamino-formaldehydovým lepidlem. Lisování probíhá za studena (Freres Lumber Co. Inc. 2021). Provoz je schopný vyrobit panely ve

formátu $3,6 \times 15$ m (Obr. 28) a v tloušťce 600 mm (Obr. 27) (Sandberg et al. 2018), resp. v násobcích tloušťky LVL desek, tedy 2,54 cm. Nosníky a sloupy lze vyrobit v délce 18 m. Deskový materiál lze pro potřebu zákazníka upravovat řezáním na požadovaný formát pomocí přesných CNC strojů. Rovněž jsou během výroby vyfrézovány stavební otvory podle výrobní dokumentace (Freres Lumber Co. Inc. 2021).



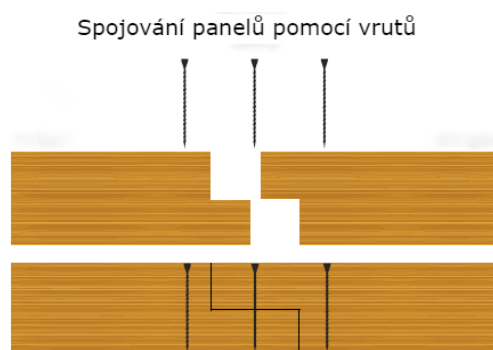
Obr. 27 Tloušťka MPP (Freres Lumber Co. Inc. 2021)



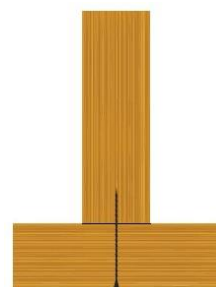
Obr. 28 Vyráběné šířky a délky (Freres Lumber Co. Inc. 2021)

Panely na bázi dřívka nacházejí uplatnění především při konstrukci střech (Obr. 31), stěn, stropů (Obr. 33) a podlah (Sandberg et al. 2018). Dále také jako nosníky, sloupy (Obr. 32), nebo výtahové šachty. Tento materiál lze použít i při konstrukci několikapatrových budov. Výhodami MPP je odolnost proti ohni, rozměrová stabilita a tuhost. Tuhost je zajištěna již při konstrukci LVL materiálu. Vrstvy dřívka jsou v soboru kladeny v různém poměru do podélného a příčného směru a tím jsou zajištěny specifické vlastnosti pro daný panel. Takto se optimalizuje řešení pro konkrétní rozměry a použití. Flexibilita při výrobě

může být výhodou například v porovnání s CLT materiálem. Skládání dých eliminuje vady v podobě suků, jejichž potenciální negativní dopad je potlačen. Přínosem MPP panelu je větší předvídatelnost v chování, což z něj činí vhodnou surovinu pro výstavbu budov s více podlažími. Výhodný je poměr mezi pevností a hmotností panelů. Rychlá konstrukce budov na staveništi, snadná montáž (Obr. 29) a jednoduché spojování pomocí tradičních spojovacích prvků jako jsou vruty (Obr. 30), hřebíky, úhelníky, snižuje dobu výstavby, a proto i výslednou cenu projektu (Freres Lumber Co. Inc. 2021).



Obr. 29 Spojení panelu na polodrážku
(Freres Lumber Co. Inc. 2021)



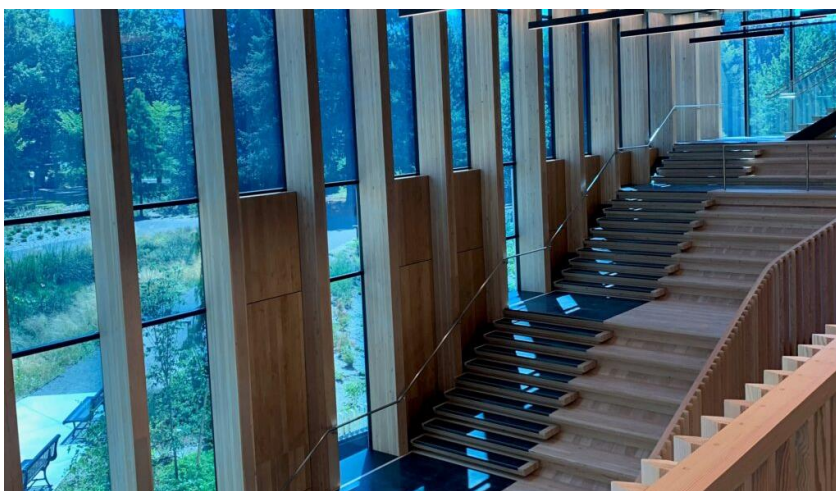
Obr. 30 Spojení stěnových panelů vruty
(Freres Lumber Co. Inc. 2021)

Materiál lze opracovávat jako klasické řezivo. Výhodou je i skutečnost, že se jedná o ekologicky udržitelný konstrukční systém, oproti tradičním stavebním materiálům oceli a betonu. Za pozitivum lze vnímat i estetičnost panelu (Freres Lumber Co. Inc. 2021). Výroba panelů na bázi dých využívá o 15-20 % méně dřeva než při ekvivalentní výrobě CLT panelů (Sandberg et al. 2018). Na výrobu panelů lze zužitkovat i menší kmeny, které by jinak byly nepoužitelné, nebo by byly použity s nižším zhodnocením, například jako palivo. Použití štíhlých MPP profilů je výhodné i z hlediska spotřeby energie, která je nutná na výrobu panelů. Rovněž se snižuje množství odpadního materiálu, který při výrobě vzniká (Freres Lumber Co. Inc. 2021).

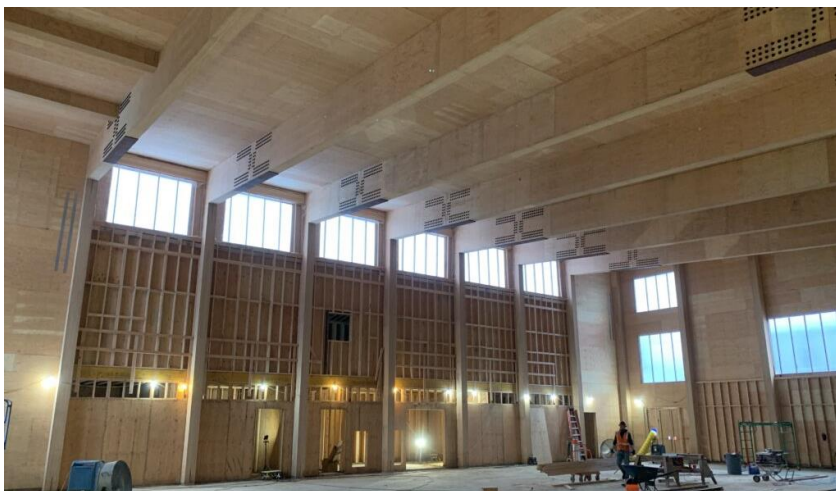
Cena MPP panelu firmy Freres Lumber Co. Inc. se při tloušťce 100 mm pohybuje okolo 2 020 Kč/m² (rok 2021). Tato cena je pouze orientační. Vždy se jedná o konkrétní požadavky zákazníka, složitost přípravy před aplikací v podobě vyřezávání stavebních otvorů, kvality povrchu a podobně. Tyto aspekty výslednou cenu zásadním způsobem ovlivňují.



Obr. 31 MPP v aplikaci jako střešní panel (Freres Lumber Co. Inc. 2021)



Obr. 32 MPP v aplikaci v interiéru (Freres Lumber Co. Inc. 2021)



Obr. 33 MPP v aplikaci jako stropní panely (Freres Lumber Co. Inc. 2021)

Povrch panelu lze získat v pohledové nebo nepohledové kvalitě. Nepohledový průmyslový povrch (Obr. 34) může obsahovat povrchové vady v souladu se standardy dých, které nemají vliv na pevnost materiálu. Tento typ je vhodný pro nepohledové použití, případně v prostředí, kde nezáleží na designu produktu. Pohledová varianta povrchu (Obr. 35) je upravovaná dle požadavku zákazníka. Povrch lze objednat s pohledovou dýhou na vnějších plochách, lze objednat broušený povrch, panely s kontrolovanou velikostí suků, případně jiné povrchové úpravy. Panely jsou náchylné na vystavení nepříznivým povětrnostním podmínkám, stejně jako všechny překližkové materiály. Proto je potřeba tento materiál chránit vůči působení těchto vlivů, zejména vůči zvýšené vlhkosti. Doporučuje se materiál opatřit i ochranným nátěrem proti UV degradaci (Freres Lumber Co. Inc. 2021).



Obr. 34 Nepohledový typ povrchu
(Freres Lumber Co. Inc. 2021)



Obr. 35 Pohledový typ povrchu (Freres
Lumber Co. Inc. 2021)

3.5. Diskuze

Provedením literární rešerše byly zjištěny rozdíly materiálů na bázi dřeva a materiálů na bázi dých z hlediska výroby, skladby materiálu, výhod a nevýhod plynoucích z jejich konstrukce a využití. Z pohledu zaměření této práce se jedná především o rozdíly mezi CLT a MPP panely. Panel vyrobený z dých má předpoklady stát se alternativou pro křížem vrstvené dřevo. Oba materiály mají mnoho společných vlastností, ale i své odlišnosti a specifika.

Panely se odlišují již vstupní surovinou. V případě MPP se jedná o dýhu, která do výroby vstupuje již ve formě LVL desek (Obr. 36). Panely CLT vznikají z lamel – prken (Obr. 37).



Obr. 36 MPP panel složený z dýh (Freres Lumber Co. Inc. 2021)



Obr. 37 CLT panel složený z lamel (AirGOL Ltd 2021)

Z hlediska využití dřevní suroviny je výhodnější výroba panelů z dýh, při které je možné zpracovat kmeny o menším průměru. Tak lze zužitkovat menší průměry dřeva, které by v případě výroby z prken, nebylo možné zpracovat. Rovněž výroba z dýh umožňuje větší škálovatelnost vlastností materiálu MPP. Tenkými dýhami lze materiál lépe tloušťkově optimalizovat než CLT panely. Spolu s variabilitou při skladbě dýh v příčném a podélném směru poskytují MPP panelu výhody materiálu LVL, tedy vysokou pevnost v podélném, případně i příčném směru při nižších průřezech. Při výrobě panelů o stejných pevnostních parametrech lze výrobou MPP panelů ušpóřit 20 % dřevní suroviny v porovnání s výrobou panelů CLT.

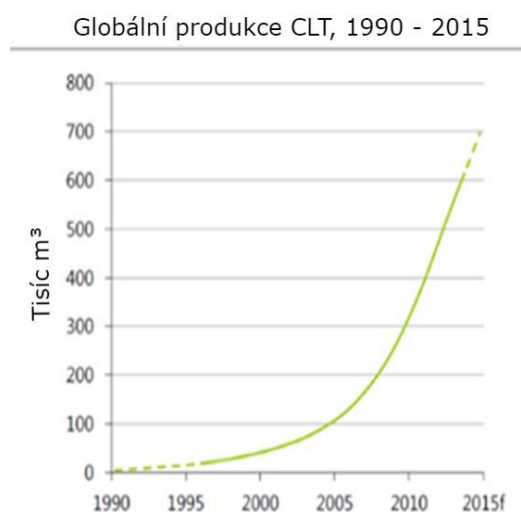
S nižší vahou a tloušťkou materiálu se snižují i náklady nutné na přepravu materiálu z výrobního závodu přímo na místo stavby. V této oblasti dominují CLT panely, neboť jejich rozšířená výroba po celém světě umožňuje efektivnější a kratší dopravu na místo stavby než v případě panelů MPP, jejichž produkce je prozatím vázaná na stát Oregon v USA. S menšími tloušťkami materiálu souvisí potenciální úspora energie vynaložená na zpracování suroviny a sušení materiálu. Dobré mechanické vlastnosti vyplývající z lepení dýh v případě MPP přinášejí nevýhodu v podobě vyššího množství spotřebovaného lepidla na výrobu a využívání lepidel na bázi formaldehydu, který se z materiálu postupně uvolňuje, a přináší větší ekologickou zátěž než zdraví méně riziková polyuretanová lepidla, jimiž jsou lepeny CLT panely. Panely lze vyrábět v nejrůznějších rozměrech (Tab. 5), dle konkrétního

přání zákazníka. Rozměry panelů jsou limitovány možnostmi výrobní linky a také způsobem dopravy.

Tab. 5 Rozměry CLT a MPP panelů

Nabízené rozměry panelů CLT a MPP			
	Tloušťka	Šířka	Délka
CLT	60-240 mm	3 m	18 m
MPP	50-600 mm	3,6 m	15-18 m

Roční objem celosvětově vyrobených CLT panelů přesáhl hranici 700 000 m³ (Leggate 2018). Tomuto objemu nemohou MPP panely, zatím, konkurovat. Na grafu níže je zřejmý evidentní prudký nárůst produkce CLT za 25 let (Obr. 38). Tento zvyšující se trend lze očekávat i do budoucna a nevyklučuje ani zvýšení produkce materiálu MPP.



Obr. 38 Globální produkce CLT (Leggate 2018)

Mechanické vlastnosti materiálu MPP bývají často srovnávány s hodnotami materiálu CLT kategorie E2 (Tab. 6), které jsou definované v normě ANSI/APA PRG 320-2012. Minimální návrhové hodnoty materiálu MPP překračují dle výrobce minimální návrhové hodnoty CLT E2 v každé srovnatelné tloušťce ve směru hlavní osy. Tato skutečnost ukazuje, že materiál může být z pevnostního hlediska rovnocenným partnerem zavedenému konstrukčnímu systému CLT, navíc s výhodou menších dimenzí při stejných pevnostních vlastnostech. MPP panely o tloušťce 152 mm jsou schopny nahradit CLT panely o tloušťce 174 mm, a tak při výrobě uspořit dřevní surovinu i energii (Freres Lumber Co. Inc. 2021).

Tab. 6 Návrhové pevnostní hodnoty CLT E2 a MPP (ANSI/APA PRG 320 2012)

Návrhové pevnostní hodnoty CLT E2 dle PRG 320 ve směru hlavní osy [MPa]	
Pevnost v ohybu	11,4
Modul pružnosti v ohybu	10 342
Pevnost v tahu	7
Pevnost v tlaku	11,7
Pevnost ve smyku	1,2

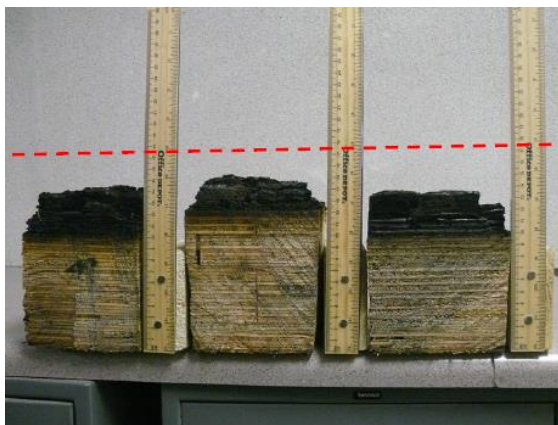
Dřevo samo o sobě nedosahuje požadovaných tepelně izolačních vlastností, součiniteli prostupu tepla pro obvodové konstrukce. Je tedy vhodné obvodové zdi zateplit, čímž se nejen sníží prostup tepla stěnou, ale rovněž se ochrání konstrukční materiál před nepřízní povětrnostních vlivů (Pavlas 2015). Opláštění budovy tepelnou izolací nicméně snižuje estetický dojem z přiznaného dřeva. Následující tabulka (Tab. 7) zobrazuje hodnoty součinitele prostupu tepla obou panelů při shodné tloušťce bez zateplení. Z tabulky je zřejmé, že oba materiály dosahují podobných hodnot prostupu tepla.

Tab. 7 Součinitel prostupu tepla (Pavlas 2015; Freres Lumber Co. Inc. 2021)

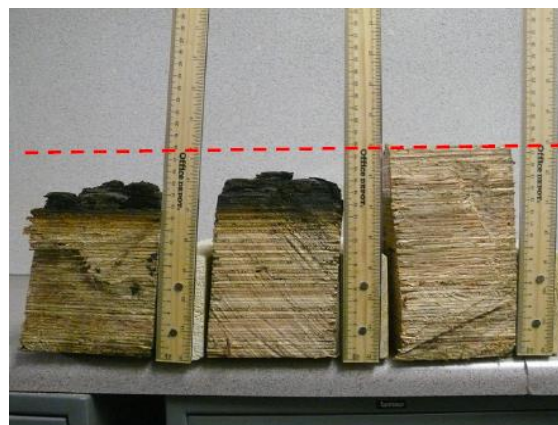
Tloušťka konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² ·K)]
CLT panel 124 mm	0,89
MPP panel 127 mm	0,91

Z hlediska spojovacího materiálu využitého při spojování jednotlivých dílců jsou oba materiály shodné, neboť ke spojování lze používat hřebíky, vruty, úhelníky a podobné spojovací prvky vhodné i pro spojování masivního dřeva. Panely lze rovněž opracovávat nástroji jako klasické řezivo. Výhodou obou materiálů je možnost detailní přípravy jednotlivých dílců ve výrobním závodě ještě před odvozem na stavební místo. Prefabrikace zajišťuje vysokou přesnost a precizní provedení jednotlivých dílců. Během výroby jsou do materiálu vyřezány potřebné stavební otvory v podobě dveří a oken, což šetří čas a práci při výstavbě. S prefabrikací je spojena nutnost dopravovat jednotlivé dílce z výrobního závodu na místo stavby, a tedy i limity spojené s dopravou a náklady na dopravu. Dále je nutné využití těžké techniky v podobě jeřábu pro umístění jednotlivých panelů.

Dřevo, přestože se jedná o hořlavý materiál, dokáže často déle plnit nosnou funkci v případě požáru než například ocel. V případě požáru vzplane vnější vrstva dřeva, která zuhelnatí a vytvoří tak ochrannou vrstvu, která izoluje vnitřní strukturu dřeva od požáru. Odhořívání materiálu se zpomalí, teplo se šíří pomaleji, a i přes zmenšený průřez prvek dřeva plní po dlouhou dobu svou nosnou funkci. Odolnost proti požáru u materiálů na bázi dřeva udává tloušťka zuhelnatělé vrstvy, která je charakterizována rychlostí zuhelnatění. Požární zkoušky na CLT panelech ukázaly, že stropní panel tloušťky 125 mm a stěnové panely tloušťky 95 mm jsou schopné odolávat ohni 60 minut. Panely nebyly opláštěny žádnými dodatečnými nehořlavými materiály. Zkouškou byla zjištěna střední hodnota hoření 0,76 mm/min. Některé firmy uvádějí rychlost zuhelnatění první vrstvy 0,65 mm/min., další vrstvy 0,8 mm/min. (Vopatová 2017). MPP panely byly rovněž testovány na působení ohně. Testovány byly stropní a stěnové panely o tloušťce 152 mm. Stropní panely (Obr. 39) byly schopné odolávat ohni 120 min., stěnové panely 90 min. (Obr. 40). Rychlost zuhelnatění materiálu při požáru byla stanovena na 0,63 mm/min. (Freres Lumber Co. Inc. 2021).



Obr. 39 Stropní MPP panel po požární zkoušce (Freres Lumber Co. Inc. 2021)



Obr. 40 Stěnový MPP panel po požární zkoušce (Freres Lumber Co. Inc. 2021)

Cenové srovnání výstavby z CLT, nebo MPP panelů je velmi komplexní téma, do kterého vstupuje mnoho proměnných, například měřítko stavby, složitost projektu, dostupnost místa stavby, rychlost výstavby a podobně. Nelze tedy použít univerzální měřítko, které by cenu výstavby z obou materiálů přesně porovnálo. Lze přibližně porovnat výrobní cenu panelů srovnatelné tloušťky a plochy. Cena CLT panelu tloušťky 80-90 mm se pohybuje mezi 2 000-3 000 Kč/m², cena MPP panelu stejné tloušťky začíná na 1 725 Kč/m².

4. Závěr

V této práci jsem se zabýval charakteristikou lepených nosných materiálů na bázi masivního dřeva a dýh. Zejména pak analýzou materiálu MPP a jeho porovnáním s konstrukční technologií CLT.

Lidstvo je se dřevem spojeno od nepaměti. Vzhledem k současnému stavu tenčících se zásob některých neobnovitelných přírodních zdrojů se začíná projevovat snaha o ekologický a udržitelný rozvoj v mnoha odvětví lidského konání, tedy i ve stavebnictví. Trend dřevostaveb nemusí být, jako v mnoha jiných příkladech, pouze módní záležitostí, ale i logickým směřováním udržitelného rozvoje, který se v této oblasti neomezuje pouze na tradiční roubenky a sruby, ale využívá moderní materiály a technologie. Panely vyrobené z dýh lze ve vztahu k CLT, dle získaných poznatků, hodnotit jako potenciální alternativu, která může v budoucnu křížem vrstvené dřevo v nosných konstrukcích nahrazovat, případně doplňovat. MPP se hodí zejména na konstrukci stěn, stropů a střech. Není vhodný pro použití v nekrytých venkovních podmínkách. Jeho výhoda spočívá zejména v využití menších kmenů, nevhodných na výrobu CLT, dobrých pevnostních vlastnostech, které vycházejí z materiálu LVL a možnosti aplikovat v konstrukci menší průřezy materiálu. Jeho krátká existence na trhu, těžko dostupné informace, nedostatečná produkce a omezující legislativa může znamenat delší nástup tohoto materiálu do povědomí architektů a stavebních firem. Přesto lze, vzhledem ke kvalitě a možnostem využití materiálů LVL, očekávat zájem o tento panelový konstrukční systém.

Z hlediska budoucího vývoje a produkce zejména v Evropě lze předpokládat zapojení firem především z oblasti zpracování dýh a výroby LVL materiálů, které mají v oboru zkušenosti, disponují nutnou výrobní technologií a kapacitou. Potenciál lze spatřovat i v možnostech získání patentů nejen pro evropský trh.

5. Literatura

AGROP NOVA A.S. Jak se montují masivní dřevěné panely NOVATOP [online] [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz>

AICHER, S., REINHARDT, H.-W., GARRECHT, H., 2013. *Materials and Joints in Timber Structures: Recent Developments of Technology*. Dordrecht: Springer Science & Business Media, 819 s. ISBN: 978-94-007-7810-8

AIRGOL LTD. [online] [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://wigo.haus/>

ANSI/APA PRG 320, 2012. Standard for Performance-Rated Cross-Laminated Timber. Tacoma: APA – The Engineered Wood Association, 24 s.

BAUER-HOLZ GMBH. [online] [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.bauerholz.de>

BLAHA, V., 2018. Dřevostavby na vzestupu. Kolik průměrně stojí? [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz>

BLAHA, V., 2017. Statistika výstavby rodinných domů a dřevostaveb na území České republiky. [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.realizacedrevostavby.cz>

BÖHM, M., REISNER J., BOMBA, J., 2012. *Materiály na bázi dřeva*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 183 s. ISBN 978-80-213-2251-6

BREYR, D. E., 2015. *Design of wood structures-ASD/LRFD*. 7th ed. New York: McGraw-Hill Education, 1008 s. ISBN 978-00-717-4560-4

CARTER HOLT HARVEY LTD. [online] [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://futurebuild.co.nz/>

DREXLEROVÁ, D., 2018. Integrovaná technika. [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: http://www.ssprool.cz/wordpress/wp-content/uploads/texty/ucebni_texty/texty_drevarstvi/Drevarstvi_Vyukovy_material ITE1+2.rocnik.pdf

FAST+EPP GMBH. [online] [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.fastepp.com>

FRERES LUMBER CO. INC. [online] [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://frereslumber.com/>

- GLENFORT TIMBER ENGINEERING LTD. [online] [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://glenfort.com/>
- GREAT CENTRAL LUMBER CO. [online] [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.gclumber.com>
- GREGOROVÁ, L., 2019. Ekonomické hodnocení dřevostaveb. *Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.
- GRIMM, R., 2014. Konstruktionsvollholz und Brettsper Holz. [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.baustoffwissen.de>
- HAPEX. S.R.O. Rozměry-Lepené konstrukční hranoly-BSH. [online]. [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <http://www.hapex.cz>
- HORÁČEK, P., 1998. *Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 128 s. ISBN 80-7157-347-7
- HRÁZSKÝ, J., KRÁL, P., 2008. Progresivní konstrukční materiály. [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: https://fraxinus.mendelu.cz/vyuka/soubory/TMZD_BC/Povinne_predmety/Technika_a_tecnologie_vyroby_lepenych_materialu_z_reziva_a_dyh/Materialy_LVL,PSL,ISL.pdf
- HRÁZSKÝ, J., KRÁL, P., 1993. *Technologie výroby aglomerovaných materiálů, cvičení*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 133 s. ISBN 80-7157-098-2
- CHAMERNIK, M., 2016. The history of building with wood. [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.bdcnetwork.com>
- JAF HOLZ SPOL. S R.O. [online] [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.jafholz.cz>
- KOLLMANN, F. F. P., COTE, W. A. Jr., 2012. *Principles of Wood Science and Technology: I. Solid Wood*. Berlin: Springer Science & Business Media, 592 s. ISBN: 978-3-64287-928-9
- KOLLMANN, F. F. P., KUENZI, E. W., STAMM, A. J., 2012. *Principles of Wood Science and Technology: II. Wood Based Materials*. Berlin: Springer Science & Business Media, 703 s. ISBN: 978-3-642-87933-3

KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J., 2006. *Kompozitní materiály na bázi dřeva, část 2: Dýhy a vrstvené masivní materiály cvičení*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 170 s. ISBN 80-7157-934-3

KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J., 1999. *Výroba dýh a překližovaných materiálů I*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 142 s. ISBN 80-7157-358-2

KRÁL, P., HRÁZSKÝ, J., 2000. *Výroba dýh a překližovaných materiálů-cvičení*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 112 s. ISBN 80-7157-423-6

LEGGATE, W., 2018. Improving the durability performance of engineered wood products: A study tour of Europe and North America. [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://gottsteintrust.org/reports/improving-the-durability-performance-of-engineered-wood-products-a-study-tour-of-europe-and-north-america/>

LOKAJ, A., VAVRUŠOVÁ, K., 2012. Dřevo a materiály na jeho bázi ve stavebnictví. [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <http://www.msdk.cz/files/clanek-drevo-a-materialy-na-jeho-bazi.pdf>

MAHÚT, J., RÉH, R., VÍGLASKÝ, J., 1998. *Kompozitné drevné materiály*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 266 s. ISBN 80-228-0679-X

MODERN LUMBER TECHNOLOGY LTD. [online] [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://ultralam.com/>

MOELVEN LIMTRE AS. [online] [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://www.moelven.com>

NĚMCOVÁ, L., 2020. Masivní dřevo CLT panelů – materiál pro stavby budoucnosti? [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz>

NEŠPOROVÁ, K., 2017. CLT panely: Vrstvené masivní panely, které voní dřevem. [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz>

NEŠPOROVÁ, K., 2017. Microllam, LVL, Ultralam – žádný rozdíl? Dýha, která unese strop i střechu. [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz>

- PALIS PLZEŇ, SPOL. S R.O. BSH - lepené lamelové dřevo. [online] [cit. 2021-03-12].
Dostupné z: <https://www.palis.cz>
- PATŘIČNÝ, M., 2019. *Velká kniha o dřevě*. 2. vyd., Praha: Euromedia Group, a.s., 272 s.
ISBN 978-80-7617-829-8
- PAVLAS, M., 2016. *Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT*. Praha: Grada Publishing, a.s., 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2
- PAVLAS, M., 2015. Navrhování budov z panelů z vrstveného masivního dřeva. *Disertační práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze.
- SANDBERG, D., KITEK KUZMAN, M., GAFF, M., 2018. *Engineered wood products: wood as an engineering and architectural = Kompozitní materiály na bázi dřeva: dřevo jako kompozitní a konstrukční materiál*. České vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 181 s. ISBN 978-80-213-2869-3
- SLOVÁK, K., 2013. Lepené dřevo to natře oceli. [online]. [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz>
- SMUTNÝ, J., 2016. Co jsou to KVH hranoly? [online]. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: <https://drevosmutny.cz>
- SOUKUP, O., 2012. 6 důvodů pro KVH hranoly. [online]. [cit. 2021-03-17]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz>
- STAVEBNINY DEK A.S. BSH – lepené lamelové dřevo. [online] [cit. 2021-03-19].
Dostupné z: <https://cdn1.idek.cz/dek/document/1719400002>
- STEICO SE. Konstrukční systém STEICO – Lepené vrstvené dřevo LVL. [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: https://web.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Konstruktionshefte/Konstrukci_system_STEICO_LVL_i.pdf
- STŘECHY 92, S.R.O. [online] [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.ultralam-lvl.cz/>
- SVOBODA, L., BAŽANTOVÁ, Z., MYŠKA, M., NOVÁK, J., TOBOLKA, Z., VÁVRA, R., VIMMROVÁ, A., VÝBORNÝ, J., 2013. *Stavební hmoty*. 3. vyd., Praha: České vysoké učení technické v Praze, 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2

ŠTEFKA, V., 2002. *Kompozitné drevné materiály II, Technológia aglomerovaných materiálov*. 2. vyd., Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 205 s. ISBN 80-228-1136-X

ŠTEMBERK, T., 2018. Aplikace dřeva v moderním stavitelství. *Diplomová práce*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni.

ÜBERWACHUNGSGEMEINSCHAFT KONSTRUKTIONSVOLLHOLZ E.V.

KVH_TechnicalInformation. [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z:

https://www.kvh.eu/fileadmin/downloads/new/international/KVH_TechnicalInformation_2017_2019.06.04.pdf

VIGUÉ, J., 2006. *Dřevo od A do Z*. Čestlice: Rebo, 427 s. ISBN 80-7234-531-1

VOPATOVÁ, K., 2017. Návrh dřevěné konstrukce administrativní budovy z panelových prvků. *Bakalářská práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze.