

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2024

**STEFANOS
PANAYI**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
V PRAZE**

FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Bakalářská práce

CLT – KŘÍŽEM VRSTVENÉ DŘEVO

CLT – Cross Laminated Timber

Stefanos Panayi

studijní program: Stavební inženýrství
studijní obor: Konstrukce pozemních staveb
vedoucí práce: doc. Ing. Petr Kuklík, CSc

2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Panayi** Jméno: **Stefanos** Osobní číslo: **504082**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Pozemní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

CLT - Křížem vrstvené dřevo

Název bakalářské práce anglicky:

CLT - Cross Laminated Timber

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce bude esejí na téma CLT - Křížem vrstvené dřevo a jeho možnosti využití ve stavebnictví.

Seznam doporučené literatury:

CLT Handbook

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

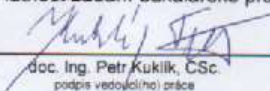
doc. Ing. Petr Kuklík, CSc. katedra ocelových a dřevěných konstrukcí FSv

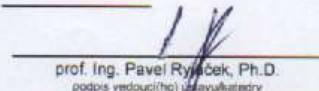
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.5.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: _____


doc. Ing. Petr Kuklík, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

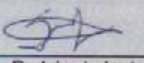

prof. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústav/katedry


prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis oškara(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

21/2/2024
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou práci na téma Křížem vrstvené dřevo vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů, a to v souladu s metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací. Práci jsem vykonal pod odborným vedením vedoucího bakalářské práce pana doc. Ing. Petra Kuklíka, CSc.

V Praze dne 20.5.2024

.....

Stefanos Panayi

Poděkování: Rád bych poděkoval doc. Petru Kuklíkovi, CSc. za odborné vedení, pomoc a poskytnuté materiály při vypracování této práce. Dále bych také chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

Děkuji.

Abstrakt

Tato bakalářská práce si klade za cíl podrobněji zkoumat vlastnosti křížem vrstveného dřeva a jeho význam v rámci stavebnictví. Konkrétně je zaměřena na analýzu historického vývoje, procesu výroby a hodnocení požární odolnosti, akustických, izolačních a mechanických vlastností tohoto materiálu, stejně jako na identifikaci metod, jak lze tyto vlastnosti dále zdokonalit. Výsledky studie poukazují na to, že CLT představuje udržitelnou a efektivní alternativu k tradičním stavebním materiálům, zejména díky svým ekologickým a konstrukčním vlastnostem. Významná role CLT ve stavebnictví je klíčová, protože tento materiál přináší inovativní přístup k konstrukci budov. Jeho použití přispívá k evoluci tohoto odvětví tím, že umožňuje stavbu budov s větší efektivitou, rychlostí a účinností. Cílem práce je podrobně popsat výhody CLT (Cross-Laminated Timber) a poskytnout přehled současných aplikací, jakož i zkoumat možnosti jeho rozšířeného využití ve stavebnictví.

Klíčova slova

Dřevo, kříženém vrstvené dřevo (CLT), manufaktura CLT, protipožární odolnost, požární kritéria, požární ochrana, tepelné vlastnosti, vlhkost, protihluková opatření, lepidla, proteinová lepidla, oxid uhličitý (CO₂), ohyb, tlak, spoje, připojení k rovině, montáž, stavební objekty z CLT.

Abstract

This bachelor's thesis aims to delve deeper into the properties of cross-laminated timber (CLT) and its significance within the construction industry. Specifically, it focuses on analyzing the historical development, production process, and evaluation of fire resistance, acoustic, insulation, and mechanical properties of this material, as well as identifying methods to further enhance these properties. The results of the study indicate that CLT represents a sustainable and efficient alternative to traditional construction materials, particularly due to its ecological and structural properties. The significant role of CLT in construction is crucial, as this material brings an innovative approach to building construction. Its use contributes to the evolution of this industry by enabling the construction of buildings with greater efficiency, speed, and effectiveness. The goal of the thesis is to thoroughly describe the advantages of CLT (Cross-Laminated Timber) and provide an overview of current applications, as well as to explore the possibilities of its expanded utilization in construction.

Key words

Wood, cross-laminated timber (CLT), CLT manufacturing, fire resistance, fire criteria, fire protection, thermal properties, moisture, soundproofing measures, adhesives, protein adhesives, carbon dioxide (CO₂), bending, pressure, joints, flat connection, assembly, CLT structures.

Seznam použitých zkratek

CLT – Cross Laminated Timber (Křížené vrstvené dřevo)

PUR – Polyuretanová lepidla

EPI – Emulzní polymerové izokyanátové lepidlo

CNC – Computer Numerical Control (Počítačem řízené stroje)

MF – Melaminová pryskyřice s formaldehydem

MUF – Melamin-urea-formaldehydová pryskyřice

PRF – Fenolová pryskyřice s resorcinolem a formaldehydem

ECH – Epichlorhydrin

LVL – Lamelová dřevotříska

CO₂ – Oxid uhličitý

xt – Tloušťka zuhelnatění ztrácející pevnost

xc – Hloubka zuhelnatění

Obsah

1. Úvod.....	1
1.1 Dřevo v historii lidských dějin	1
1.2 Dřevo je moderní stavební materiál.....	3
2. Definice kříženého vrstveného dřeva	4
3. Druhy dřeva pro výrobu křížem vrstveného dřeva	5
3.1 Borovice	5
3.2 Smrk.....	5
3.3 Modřin	6
4. Výroba křížem vrstveného dřeva.....	7
5. Výhody CLT masivních panelů v současné době.....	13
6. Protipožární odolnost CLT panelu	14
6.1 Rychlost zuhelnatění a hloubka zuhelnatění	15
6.2 Výzkumy na požární odolnost	17
6.3 Požární kritéria	18
6.3.1 Odolnost konstrukce	18
6.3.2 Celistvost.....	19
6.3.3 Izolace prvku	19
6.4 Analýza CLT na požár.....	20
6.5 Požární ochrana CLT panelu pomocí sádrokartonu	23
6.6 Požární ochrana CLT panelu pomocí retardérů	24
6.7 Požární ochrana – Sprinklerové systémy	25
7. Tepelné vlastnosti křížem vrstveného dřeva	26
7.1 Jak lze dosáhnout lepších tepelných vlastností křížem vrstveného dřeva? 26	
7.1.1 Vakuová membrána	28
7.1.2 Hydraulický boční tlak	28
7.1.3 Stroj (CNC) (Computer Numerical Control).....	29
7.2 Součinitel prostupu tepla CLT panelu.....	30
8. Vlhkost u CLT	30
8.1 Mechanické sušení CLT	32
8.2 Přirozené sušení	32
9. Protihlukové opatření.....	33
9.1 Metody pro zvýšení akustické izolace u podlah.....	35

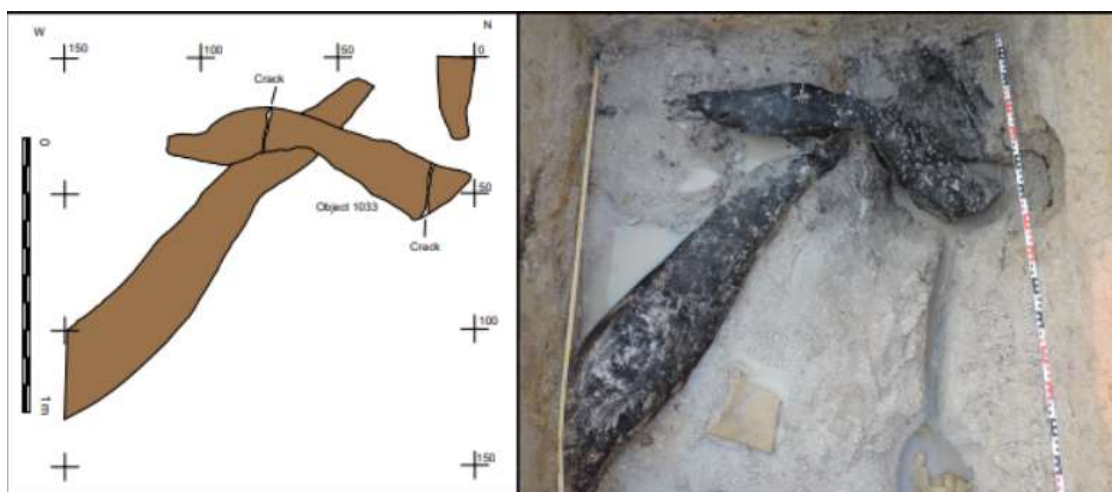
9.1.1	Metody-zhutnění panelu CLT	35
9.1.2	Použití viskoelastického tlumiče	36
10.	Rostoucí trend CLT ve 21 století	37
11.	Snížení CO ₂ využitím CLT panelu	38
11.1	Výzkum využití CLT panelu, aby byl šetrnější k životnímu prostředí	40
11.2	Srovnání variant nosné konstrukce z CLT a železobetonu a dopad na životní prostředí	41
12.	Lepidla používaná při výrobě CLT panelu	42
12.1	Polyuretanová lepidla	43
12.1.1	Jednosložková a dvousložková polyuretanová lepidla	44
12.2	Epoxidová lepidla:	44
12.3	Lepidla na bázi melaminu (močoviny) formaldehydu.....	45
12.4	Lepidla na bázi fenolu, resorcinu a formaldehydu	45
12.5	Alternativní proteinová lepidla	46
12.6	Proces lepení CLT panelu	47
13.	Nové poznatky o chování CLT panelu při kombinovaném ohybu tlaku	48
14.	Spoje v konstrukcích z CLT	50
14.1	Připojení v rovině (detail A)	51
14.1.1	Vnitřní drážkování	51
14.1.2	Drážkování jednoho povrchu.....	52
14.1.3	Dvojité povrchové drážkování	53
14.1.4	Půlkruhový kloub.....	53
15.	Efektivita a rychlá montáž CLT panelů	54
16.	Stavební objekty z CLT panelu využívané ve stavebnictví	56
16.1	Centrum péče o novorozence “ Dyson“	56
16.2	Moderní fitness centrum	58
16.3	Plavecká hala	60
17.	Závěr	62
18.	Seznam zdrojů	63
19.	Seznam obrázků	68

1. Úvod

1.1 Dřevo v historii lidských dějin

Dřevo nám slouží již po tisíciletí a tuto skutečnost lze pozorovat v rámci mnoha archeologických výzkumů a expedic, které probíhají každodenně po celém světě. Archeologové objevují dřevěné artefakty, jako jsou misky, nože, oštěpy a různé dřevěné nástroje, které používali naši vzdálení předkové v každodenním životě.

V odlehlém severu Zambie, v místě vodopádu Kaloambo Falls (druhý největší vodopád v Africe), došlo k neočekávanému archeologickému objevu. Pod řekou Kabompo byl objeven zachovalý kousek dřeva, který se ukázal být téměř půl milionu let starý. Není to pouze běžný kus dřeva, ale jedná se o artefakt zpracovaný lidskou rukou, pocházející z období mnoha tisíc let před tím, než jsme si dosud mysleli, že naši vzdálení předkové začali aktivně pracovat se dřevem. Výzkum provedený na Univerzitě v Liverpoolu potvrdil, že dřevo může být částečně fosilizováno, když se voda rozpustí v silikátových minerálech. Tyto minerály proniknou do struktury dřeva a nahradí některé z jeho částí, poskytující mu specifickou odolnost, která mu umožnila přežít tisíce let. Pro stanovení stáří těchto artefaktů byly využity inovativní luminiscenční datovací metody. Tyto metody umožňují odhalit dobu, kdy byly minerály v písku okolo nálezů naposledy vystaveny slunečnímu záření. (1). Tato skutečnost otevírá nové perspektivy v historii lidské technologie a ukazuje na evoluční pokrok ve vztahu k využívání dřeva jako stavebního materiálu (1), (2).



Obrázek 1: Starodávny dřevěný artefakt, který je starý přes 500 000 let



Obrázek 2: Vodopád Kalambo Fall - Severní Zambie



Obrázek 3: Archeologové ve výzkumu University Liverpoolu

V průběhu evoluce lidského druhu došlo ke změnám jak v životním stylu, tak v celkovém způsobu života. Lidé přestali obývat jeskyně a začali využívat dřevo jako hlavní stavební materiál při výrobě svých obydlí. Ve starověké Evropě, konkrétně na nalezišti Terra Amata v jižní Francii, byly odhaleny stopy velkých chýší (3). Tyto chýše byly precizně uspořádány tak, že kolem nich byly systematicky umístovány dřevěné větve podle určitého vzoru, a následně se vrcholy těchto dřevěných větví spojovaly uprostřed. Kromě toho byly boční strany chýší podepřeny kameny tak, aby vytvářely pevný obvod kolem celé chýše. Tato evoluční proměna představovala jeden z mnoha klíčových kroků, které lidstvo učinilo směrem k budoucímu rozvoji, zejména v oblasti stavitelství, avšak i ve všech dalších odvětvích.



Obrázek 4: Chýše-Terra Amata Francie-Proces stavení



Obrázek 5: Chýše Terra Amata kde žili naši předkové

1.2 Dřevo je moderní stavební materiál

Dřevo od pravěku, jak bylo zmíněno v předchozí kapitole patřilo a také patří i v dnešní moderní době k mnoha nejdůležitějším nástrojům. Patří mezi hlavní faktory, které přispěly v cestě při postupné evoluci lidstva, jelikož má spoustu pozitivních charakteristik a vlastností, které to dokazují po tisíciletí jeho existence.

Dřevo jako stavební materiál pro výstavbu rodinných domů, získává v posledních letech na popularitě, což lze pozorovat i na základě výsledků mnoha veřejných anket.



Obrázek 6: Anketa Seznam.cz

Dle veřejné ankety, která se konala na webové stránce Seznam.cz, mohli lidé hlasovat o tom, z kterého stavebního materiálu by preferovali, aby jejich vysněný dům byl postaven. Dřevo obsadilo druhé místo mezi nejoblíbenějšími materiály.

Tato preference může být ovlivněna estetickými, ekologickými nebo jinými faktory, které jsou významné pro jednotlivé respondenty. Výsledky této ankety poskytují zajímavý pohled na aktuální trendy ve výběru stavebních materiálů pro individuální domovy a mohou být využity, jako cenný zdroj informací pro další analýzy a rozhodování v oblasti stavebnictví a designu domů (4).

2. Definice kříženého vrstveného dřeva

Křížem vrstvené dřevo, označované jako CLT (Cross-laminated timber) představuje nový a perspektivní dřevěný stavební systém, jenž má potenciál významně transformovat vnímání dřeva ve stavitelství. Křížem vrstvené dřevo bylo poprvé uvedeno na trh na začátku devadesátých let 20. století v Rakousku a Německu a od té doby získává stále rostoucí popularitu, zejména pro svou vysokou účinnost při výstavbě bytových domů a výškových budov.

Využívání a zájem o CLT panely ve 21. století po celé Evropě a Americe je natolik rozsáhlé, že již bylo postaveno několik tisíce budov po celém světě. Tento fakt naznačuje, že tento systém disponuje mnoha výhodami, které mohou přispět k celosvětovému stavitelství. Je již jasné, že CLT panely se prosadí ještě více v průmyslu. V dnešní době konkuruje ve velkém měřítku stavebním materiálům beton a ocel, díky svým neocenitelným výhodám, které tento systém vlastní (5).

CLT panely představují konstrukční materiál z masivního dřeva, kde základem jsou smrkové lamely. Tyto lamelové desky jsou spojeny křížem a počet kolmých desek je vždy lichý. Panely se skládají nejméně ze tří vrstev. K lepení vrstev se využívá ekologické lepidlo bez obsahu formaldehydu. Kromě lepení lze k připevnění použít hřebíky, šrouby nebo dřevěné hmoždinky, které upevní jednotlivé vrstvy. Výsledné panely jsou vyráběny v různých rozměrech a dosahují velikostí na délku až 2,95 x 16,00m s tloušťkou od 60 mm až do 400 mm.

Díky svým ojedinělým vlastnostem se jedná o stavební prvek, který lze označit za klíčový prvek budoucnosti ve stavitelství. S pomocí dnešních moderních technologií, bude tento stavební prvek zlepšovat svou kvalitu a získávat si přízeň lidí na trhu (6), (7)

3. Druhy dřeva pro výrobu křížem vrstveného dřeva

Výběr vhodného dřeva pro výrobu křížem vrstveného dřeva je nezbytný a klíčovým faktorem, který přispívá k dosažení maximální kvality našeho dřevěného produktu. Kvalitní dřevo zajišťuje pevnost, stabilitu a odolnost celého našeho stavebního objektu z CLT. Nejčastěji používané dřeviny pro výrobu jsou borovice, smrk a modřín.

3.1 Borovice

Borovice je jedním z nejrozšířenějších druhů dřeva na světě, který se nachází po celé severní polokouli, a je tak jedním z nejběžnějších zdrojů dřeva. Borovicové dřevo se může pochlubit dobrou pevností a pružností ve srovnání s jinými druhy dřeva, zatímco zároveň je relativně měkké. Dostupnost borovice z něj dělá cenově dostupný materiál, což v kombinaci s jeho žádanými vlastnostmi a širokými možnostmi použití vede k tomu, že borovice je jedním z nejoblíbenějších zdrojů dřeva pro stavební materiály (36).



Obrázek 7: Borovice

3.2 Smrk

Smrk se zařadil mezi nejčastěji využívané druhy dřeva při výrobě CLT díky jeho schopnosti dobře se lepit při aplikaci lepidla. Kromě toho má smrk i další žádané vlastnosti, jelikož je relativně lehký a měkký druh dřeva, avšak stále dokáže nabídnout vynikající pevnost a pružnost. Při správném vysušení se příliš nesráží.

Tyto vlastnosti přirozeně činí smrkové dřevo velmi důležitým materiálem pro stavebnictví (36).



Obrázek 8: Smrk

3.3 Modřin

Díky své odolnosti vůči vlhkosti a hnilobě je dřevo modřínu jedním z nejhledanějších typů dřeva. Kromě toho je díky své příjemné vizuální podobě sibiřský modřin zvláště vhodný pro vizuálně hodnocené dřevěné dílce CLT, které mohou být použity k vytváření úchvatných vnějších povrchů (36).



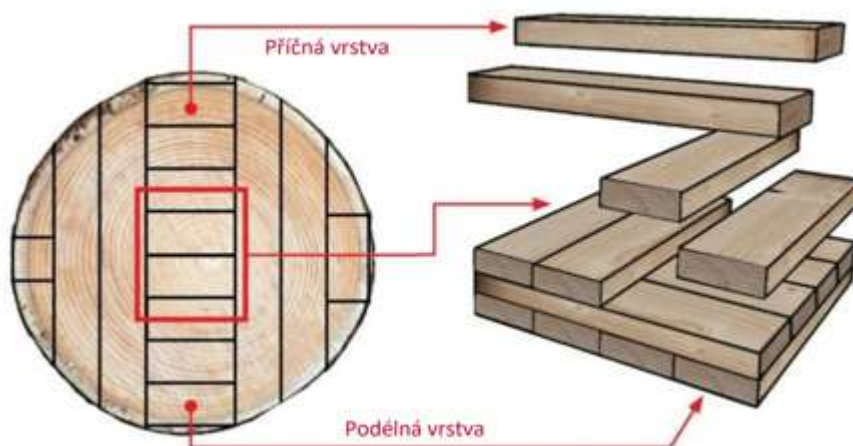
Obrázek 9: Modřin

4. Výroba křížem vrstveného dřeva

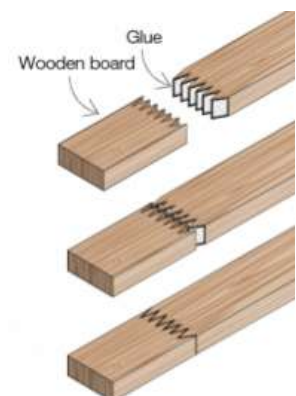
Pro současnou výstavbu dřevěných objektů z CLT panelů je nezbytné, aby tyto konstrukce splňovaly základní požadavky na dlouhodobou spolehlivost, bezpečnost a udržitelnost. Důsledné dodržování těchto standardů zajišťuje, že budoucí stavby budou odolávat různorodým vnějším vlivům, jako jsou déšť, sníh, vítr a teplotní změny, a současně budou disponovat dostatečnou protipožární odolností. Aby byla dosažena dostatečná odolnost konstrukce, musí být proces výroby CLT panelů prováděn s nejvyšší kvalitou a přesností.

Prvním krokem je výběr vhodného dřeva. Existuje mnoho různých druhů dřeva, ze kterých lze vyrábět CLT panely, ale nejčastějšími jsou borovice a smrk, které mají své jedinečné vlastnosti, které byly zmíněny v kapitole 3.

Dalším krokem pro výrobu CLT panelů, je proces opracování masivního dřeva ve výrobních závodech. Následně vznikají prkna, která jsou vyřezávána z jednotlivých kmenů. Prkna jsou naložena na výrobní linku, kde se kontroluje obsah vlhkosti, který by měl být v rozmezí 10-12 % (39). Aby se tohoto dosáhlo, dřevo prochází procesem sušení. Dále jednotlivá prkna jsou na obou koncích opatřena klínovým ozubem a následně se prkna spojují do požadovaných délek pomocí nanesení polyuretanového lepidla (PUR). Tato prkna se následně hobluji (37).



Obrázek 11: Řezaná kulatina a uspořádání prken



Obrázek 10: Slepění prken



Obrázek 12: Prkna ve výrobních závodech



Obrázek 13: Vznikají desky

Poté jsou jednotlivá prkna opatřena po bočních stranách emulzním polymerovým izokyanátovým lepidlem (EPI) a následně se lepí k sobě tak, aby vznikla velká deska. Tyto jednotlivé desky jsou poté rozloženy do střídavých kolmých vrstev (po 90 stupních), aby se dosáhla vysoká pevnost a stabilita. Mezi nimi je nanesena vrstva lepidla (polyuretanové lepidlo, PUR). Každý panel obvykle obsahuje 3 až 7 vrstev, v některých případech i 9 vrstev, v závislosti na požadované tloušťce a pevnosti finálního CLT panelu. Množství aplikovaného lepidla pro výrobu CLT panelu nepřesahuje 1 % (37), (38).



Obrázek 14: Lepení desek

Poté CLT panely jsou stlačeny pomocí hydraulického lisu za vysoké teploty a tlaku. Panely jsou poté vytvrzeny pod tlakem, aby se umožnilo správné nastavení lepidla.



Obrázek 15: Hydraulické lisování panelu

Poté jsou jednotlivé panely přebroušeny, aby byly minimalizovány nerovnosti a vznikla tak dokonale hladká plocha.



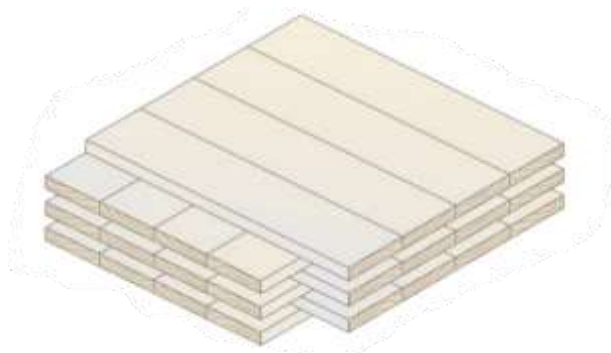
Obrázek 16: Přebroušení panelu

Následně stroj CNC, který je počítačem řízený, podle projektové dokumentace pracuje s extrémní přesností až na úroveň milimetrů. Jeho úkolem je vytvořit veškeré potřebné otvory pro dveře, okna, spoje pro vzájemné napojení, drážky a provrtání pro rozvody. Tento proces zajišťuje, že konstrukce CLT panelů bude precizně přizpůsobena specifickým potřebám a požadavkům daného projektu (37).

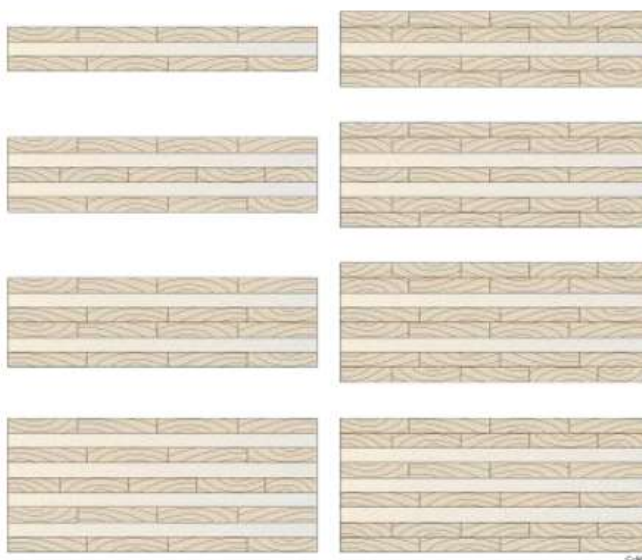


Obrázek 17: Stroj CNC vytváří otvory v panelu

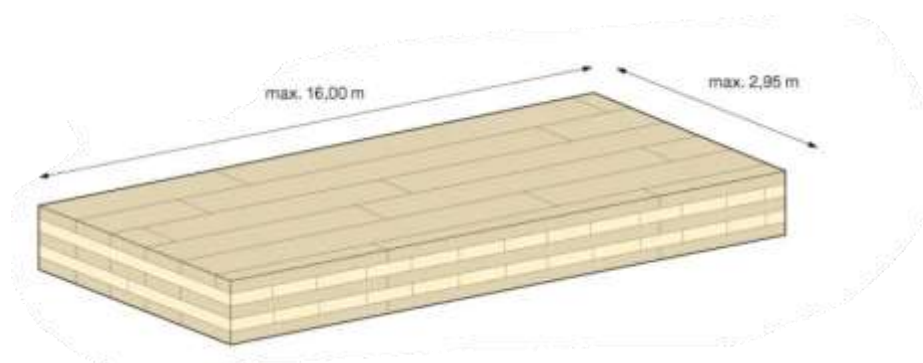
Poslední fáze zahrnuje důkladné posouzení kvality finálního produktu. To se provádí s cílem zajistit, že CLT panely úspěšně splňují standardy průmyslu a specifikace projektu. To může zahrnovat testování pevnosti, přesnosti rozměrů a obsahu vlhkosti.



Obrázek 18: Desky jsou položeny kolmo na sobě po 90 stupních



Obrázek 19: Vrstvy CLT panelu



Obrázek 20: Rozměry panelu

5. Výhody CLT masivních panelů v současné době

To, co činí CLT panely jedinečným prvkem v dnešním stavebním průmyslu, spočívá v tom, že při jejich výrobě dochází k výrazné redukci emisí produktů až o 70 % ve srovnání s použitím standardních stavebních materiálů, jako je beton a ocel. Tento výrazný krok má v dnešní době značně pozitivní dopad na životní prostředí. Je naší povinností věnovat pozornost těmto inovativním stavebním materiálům, které nabízejí ekologické výhody. Musíme být zodpovědní a aktivně podporovat takové materiály, které mají pozitivní vliv na životní prostředí.

Dalším zajímavým faktorem, který činí CLT panely ojedinělými, je jejich rychlá a snadná montáž při výstavbě dřevostaveb, což vede ke snížení celkových nákladů při konstrukci našeho objektu. Montáž průměrného rodinného domu zabere pouhé dva až tři dny. Jedná se o materiál s vysokou pevností a stabilitou, který efektivně přenáší zatížení ve dvou směrech. Taktéž má atraktivní vizuální vzhled, který přispívá k designu jak vnitřního, tak vnějšího prostoru. Při využití CLT panelů při stavbě je možné dosáhnout až o 10 % zvětšení obytného prostoru ve srovnání s tradičními stavebními materiály. Jedná se o velmi flexibilní prvek, který umožňuje kombinaci s jinými stavebními materiály, jako je například sklo nebo ocel. Tento materiál je vhodný pro všechny typy střech. CLT panely jsou známé svými vynikajícími tepelnými, izolačními, protipožárními a akustickými vlastnostmi. Tyto panely představují ekonomickou alternativu k oceli nebo betonu a zároveň poskytují vyšší odolnost a schopnost odolat zemětřesením díky své stabilitě a pevnosti. Jsou také difuzně otevřené prvky, což umožňuje regulaci vlhkosti v interiéru (8), (9), (10).

Spojení všech těchto výhod představuje významné zlepšení v evoluci stavebnictví. Podrobnější analýza těchto panelů bude uvedena v následujících kapitolách.

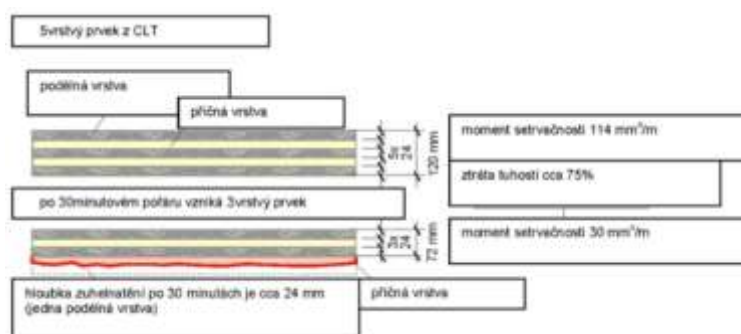
6. Protipožární odolnost CLT panelu

V této kapitole se zaměříme na důkladné vysvětlení, proč jsou CLT panely v 21. století považovány za vynikající materiál v oblasti odolnosti proti požáru.

Je-li nějaká konstrukce postavená z dřevěného materiálu, většina lidí považuje tento typ řešení za rizikový. Dřevo si získalo špatnou pověst ohledně požárního rizika, na rozdíl od CLT panelů, které se snaží tuto pověst vyvrátit. Výhodou CLT panelů je jejich přirozená odolnost vůči požáru. Konstrukce z CLT zůstává stabilní i při vysokých teplotách, na rozdíl od ocelové konstrukce. Panely lze navrhnout a vyrábět s požární odolností 30, 60 nebo 90 minut (11).

V dnešní době musí každá dřevostavba nebo jakákoli jiná stavba z jiného stavebního materiálu splňovat stavební předpisy a normy, aby dosáhla dostatečné požární odolnosti. Tím je zajištěn dostatečný čas pro evakuaci a únik lidí ze stavby. Hlavním cílem je minimalizovat ztráty na životech a následné materiálové ztráty. To lze dosáhnout pomocí rozdělení budovy do požárních sekcí (pomocí stěn, stropů, podlah, příček). V důsledku toho se požár nebude šířit do dalších místností budovy. Požární odolnost se stanovuje v hodinách a minutách podle toho, jak dlouho daný konstrukční systém dokáže plnit svoji funkci, aby stavba nebyla zničena.

Výrobky z masivního dřeva jsou obecně známé pro své vynikající vlastnosti při požáru, když jsou vystaveny teplotám přesahujícím 400 °C. To je díky jejich pomalému zuhelnatění, které vytváří silnou vrstvu izolačního uhlíku s nízkou hustotou. Tato zuhelnatělá vrstva funguje jako izolant a chrání konstrukci před požárem tím, že zabrání nadměrnému nárůstu teploty v nespáleném jádru, které nadále plní svoji nosnou funkci (12).



Obrázek 21: Hloubka zuhelnatění po 30 minutách

Dalším faktorem, který ovlivňuje požární odolnost CLT panelů, je jejich tloušťka. Při tloušťce CLT panelu 80 mm může požární odolnost dosáhnout až na REI30, a při větších tloušťkách dokonce až na úroveň REI60 a REI90 (13).

Dalším aspektem, který činí CLT panely odolnějšími vůči požáru a ovlivňuje jejich tloušťku, jsou také lepidla, kterými jsou tyto křížem panely spojovány. Výzkum zjistil, že při použití odlišného typu lepidla byl jeden systém odolnější vůči vysokým teplotám. Proto bylo rozhodnuto, že od roku 2021 by měly všechny CLT panely obsahovat lepidla s vyšší odolností vůči vysokým teplotám při požáru.

Prvky z CLT (Cross-Laminated Timber) vykazují vynikající požární vlastnosti, jsou srovnatelné s mnoha nehořlavými materiály (12).

6.1 Rychlost zuhelnatění a hloubka zuhelnatění

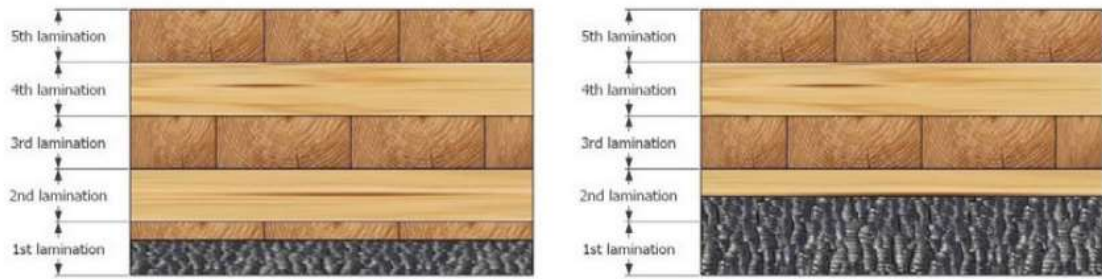
Pro požární odolnost konstrukce z CLT panelů je nutné předběžně ověřit hloubky zuhelnatění (x_c , v mm) v závislosti na trvání (t , v minutách). Pro výpočet zuhelnatění se použije rovnice (1) $x_{c,0} = \beta_0 \cdot t$. Tato rovnice říká, že pokud se zuhelnatění materiálu nedostane přes první spojovací linii mezi dvěma vrstvami, použijeme rychlost zuhelnatění 0,65 mm za minutu rovnice (1). Ale pokud očekáváme, že se zuhelnatění dostane za tuto linii, musíme použít efektivní rychlost zuhelnatění 0,80 mm za minutu podle rovnice (2) $x_{c,n} = \beta_n \cdot t$. To znamená, že materiál by zuhelnatěl rychleji. Znázorněno v následujícím obrázku.

Kde $\beta_0 = 0,65$ mm/min když hloubka zuhelnatění ($x_{c,0}$) je menší a rovna jednoho laminátu Rovnice (1).... $x_{c,0} = \beta_0 \cdot t$

Kde $\beta_n = 0,80$ mm/min když hloubka zuhelnatění ($x_{c,0}$) je větší než tloušťka jednoho 1 laminátu Rovnice (2) $x_{c,n} = \beta_n \cdot t$

$\beta_0=0,65$ mm/min

$\beta_n=0,80$ mm/min



Obrázek 22: Návrh rychlosti zuhelnatění na základě očekávané hloubky zuhelnatění

Následně je nutné vypočítat další tloušťku zuhelnatění, která zohledňuje ztrátu pevnosti ve vyhřívané zóně pod zuhelněnou oblastí. Tuto vrstvu nazýváme "vrstva s nulovou pevností" a značíme ji jako x_t . Když je materiál vystaven teple, jeho pevnost postupně klesá. Tato ztráta pevnosti začíná na nule, což znamená, že na začátku není žádná ztráta pevnosti. Avšak postupně se zvyšuje až do hloubky 7 milimetrů během prvních 20 minut. To implikuje, že po uplynutí 20 minut expozice ohně, má dřevo na povrchu pouze minimální pevnost. Efektivní hloubku zuhelnatění ($x_{c,eff}$) poté lze vyhodnotit pomocí rovnice (4).

$$= t/20 \text{ pokud } t \text{ je menší než } 20 \text{ minut}$$

Rovnice (3) x_t

$$= 7 \text{ pokud } t \text{ je větší } 20 \text{ minut}$$

Rovnice (4) $x_{c,eff} = x_{c,0} + x_t$ nebo $x_{c,eff} = x_{c,n} + x_t$ (Podle toho co platí)

Zdroj: (12)

6.2 Výzkumy na požární odolnost

Výzkum provedený na Carletonově univerzitě v Ontariu se zaměřil na to, jak ovlivní požár místnost, která je buď plně odkrytá z CLT, nebo místnost, kde je CLT obloženo sádrokartonem. Zjistilo se, že v místnosti s odkrytým CLT došlo k rychlejšímu vzplanutí požáru. Naopak v místnosti, která byla obložena sádrokartonem se dvěma vrstvami, byl požár po určité době uhašen sám, když už byly spotřebovány všechny hořlaviny. CLT v tomto případě nebylo zapojeno ani nepřispělo k dalšímu rozšiřování požáru.

Požární zkoušky, které byly uskutečněny v laboratoři "National Research Council Canada" v Ontariu které se konaly v reálném měřítku obytného apartmánu o rozměrech 8,2 m x 6,4 m, měly za výsledek, že použití dvou vrstev sádrokartonových desek dokázalo omezit účinek požáru na prvku CLT. Tím se omezilo šíření požáru na více než 2 hodiny (12).



Obrázek 23 Požární zkouška místnosti: CLT na Carletonově univerzitě v Ontariu, Kanada

Další výzkum, který proběhl v laboratořích lesních produktů USDA Forest Service ve spolupráci s Americkou radou pro dřevo a Národní nadací pro výzkum požární ochrany, provedl šest zkoušek s cílem zjistit vliv odkrytých povrchů CLT na požár. Hlavními parametry těchto zkoušek byly:

Zkouška 1: Základní test, kde všechny povrchy CLT měly 3 vrstvy sádrokartonových desek typu X o tloušťce 15,9 mm a malý otvor.

Zkouška 2: Stejný jako první test, ale s větším otvorem.

Zkouška 3: Jedna stěna s odkrytým CLT, zatímco ostatní stěny měly 2 vrstvy sádrokartonu typu X o tloušťce 15,9 mm a strop měl 3 vrstvy sádrokartonu typu X o tloušťce 15,9 mm a velký otvor.

Zkouška 4: Strop s odkrytým CLT, přičemž všechny stěny měly 3 vrstvy sádrokartonu typu X o tloušťce 15,9 mm a malý otvor.

Zkouška 5: Jedna stěna s odkrytým CLT, zatímco ostatní stěny a strop měly 3 vrstvy sádrokartonu typu X o tloušťce 15,9 mm a malý otvor.

Zkouška 6: Jedna stěna a strop s odkrytým CLT, přičemž ostatní stěny měly 3 vrstvy sádrokartonu typu X o tloušťce 15,9 mm a malý otvor.

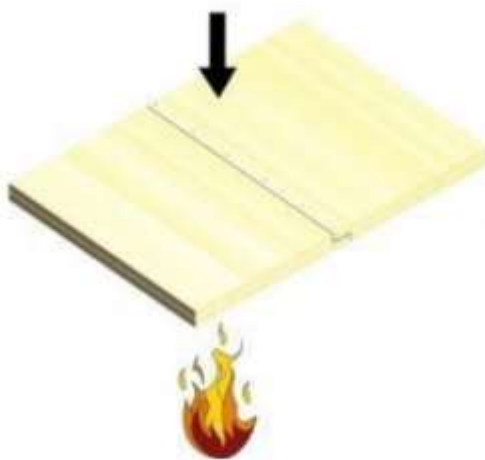
Shrnutí a výsledky těchto zkoušek potvrdily, že obložení výrazně zpomalilo a zabránilo zapojení CLT a omezilo nebo zcela vyloučilo jejich podíl na požáru. Ve variantě s menším okenním otvorem byl pozorován větší vliv hoření v prostoru (12).

6.3 Požární kritéria

Jsou tři základní kritéria požární odolnosti, podle kterých určujeme při požárních zkouškách, zda je nějaká stavební konstrukce požárně odolná či nikoliv.

6.3.1 Odolnost konstrukce

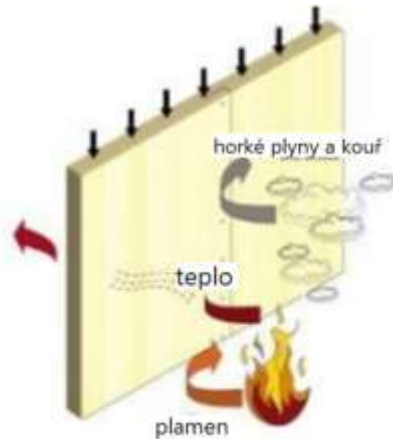
Jedním z nich je odolnost nosné konstrukce, což znamená že konstrukce musí přenášet aplikované zatížení po dobu trvání zkoušky působící žáru.



Obrázek 24: Odolnost konstrukce

6.3.2 Celistvost

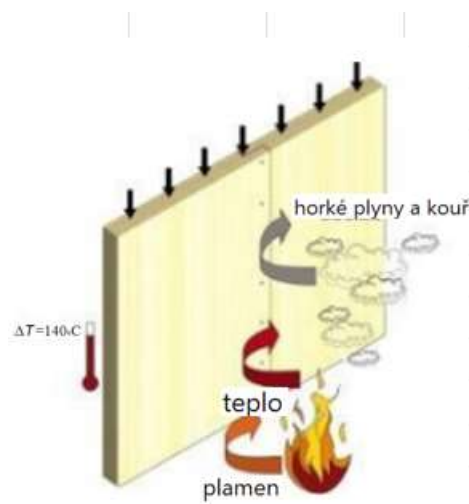
Celistvost konstrukce s primárně oddělovací funkcí musí zabránit šíření a průchodu plamene nebo plynu na obou stranách prvku po stanovenou dobu. Po uplynutí této doby zkoušky by prvek mohl být ohrožen vznikem trhlin nebo otvorů, skrz které by mohly procházet horké plyny a kouř (12),(43).



Obrázek 25: Celistvost

6.3.3 Izolace prvku

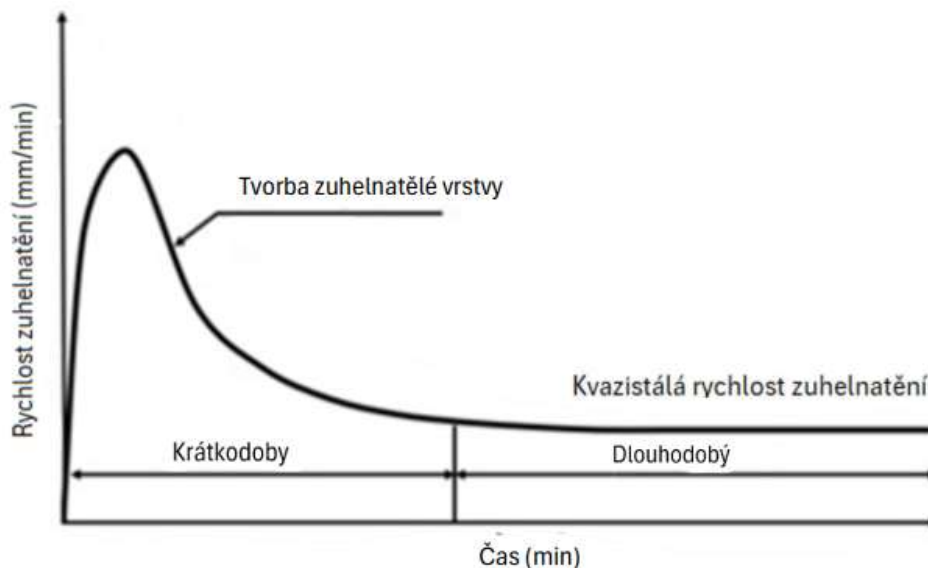
Poslední je schopnost izolace prvku. Jedná se o schopnost omezit nárůst teploty na nepožární (neexponované) straně prvku CLT. Prvek CLT musí zabránit tomu, aby nárůst teploty nebyl v kterémkoliv místě vyšší než 180 °C nebo průměrná teplota 140 °C naměřená na několika místech nad počáteční teplotou (týká se separační funkce) (12), (43).



Obrázek 26: Izolace prvku

6.4 Analýza CLT na požár

Při vysokých teplotách dřeva, začíná proces tepelné degradace, při kterém dochází k uvolňování hořlavých plynů a tepla z rozpadu vazeb jeho organických polymerů. Eurokód 5 přijímá 300 °C jako referenční hodnotu pro začátek zuhelnatění jehličnatého dřeva. Jako zbytek tohoto procesu se na povrchu dřeva vystaveného ohni vytváří zuhelnatělá vrstva. Zuhelnatělá vrstva působí jako tepelný izolant, chrání tak vnitřek prvku, který ještě nebyl tepelně degradován. Od vytvoření zuhelnatělého povrchu se rychlost zuhelnatění (β_0), měřená v mm/min, přibližuje kvazistálé hodnotě s vývojem zuhelnatělé vrstvy, jak je zobrazeno na obrázku 27.

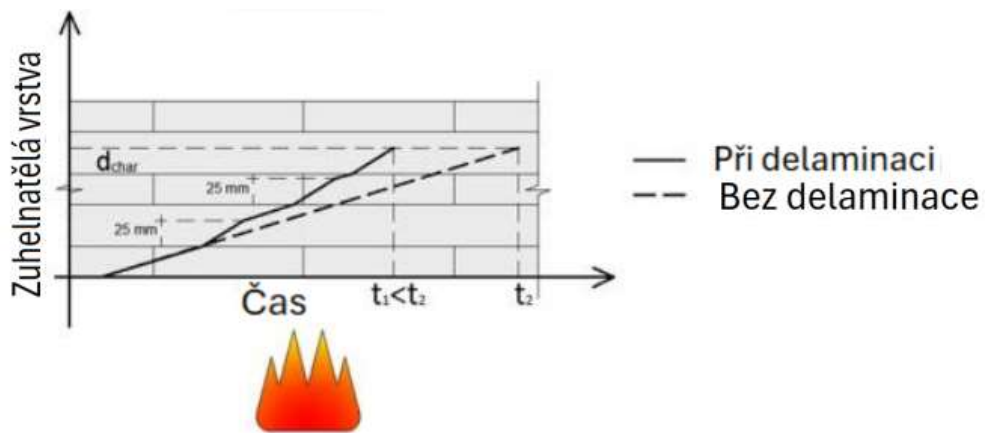


Obrázek 27: Graf zuhelnatění

CLT panely mají odlišné chování ve srovnání s rostlým dřevem (rostlé dřevo pochází z jednoho kusu stromu a je zpracováváno bez jakéhokoli dělení nebo lepení.) za požáru. Hlavními faktory, které mohou vést ke změně chování CLT panelů, jsou konfigurace a distribuce lamel podél průřezu, typ použitého strukturálního lepidla k výrobě panelů a mezery mezi sousedními lamelami.

Bylo zjištěno z testů CLT panelů, že lamela vystavená požáru se může odtrhnout před tím, než je úplně zuhelnatěla, což způsobuje zvýšení rychlosti zuhelnatění následující vrstvy. Když strukturální lepidlo dosáhne vysoké teploty, v rozmezí 200 °C, lamela vystavená požáru se odtrhne od panelu, nechávající sousední lamelu nechráněnou.

Testy provedené na CLT panelech ukazují, že fenomén delaminace se vyskytuje hlavně u panelů vyrobených s polyuretanovými (PUR) lepidly. Vědci dospěli k



Obrázek 28: Porovnání rychlostí zuhelnatění panelů CLT s a bez delaminace

závěru, že hodnota rychlosti zuhelnatění se může zdvojnásobit u CLT panelů pro prvních 25 mm vrstev ovlivněných delaminací zuhelnatělé vrstvy.

Po provedení testu odolnosti vůči požáru trvajících 30 minut a následného vyhodnocení po 24 hodinách, lze pozorovat následující aspekty:

- a) Celistvost CLT panelů se projevuje jejich schopností odolávat požáru a udržet strukturální stabilitu. Absence trhlin podél průřezu zabraňuje průniku plamenů a horkých plynů, což je klíčové pro ochranu budov v případě požáru. Tento faktor je zvláště důležitý, pokud jde o oddělení mezi podlažími, které slouží jako jedno z hlavních pasivních bezpečnostních opatření. Kromě toho je nezbytné, aby byly spoje mezi CLT panely pečlivě utěsněny protipožárními těsněními, aby se zachovala celistvost konstrukce a minimalizoval se přenos horkých plynů mezi panely. Tato opatření společně přispívají k zajištění maximální bezpečnosti a ochrany před požárem.
- b) Pokud se zaměříme na tepelnou izolaci CLT panelů, lze konstatovat, že v rámci 24hodinového testování, které zahrnovalo fázi přirozeného ochlazování vzorku, nedosáhla teplota nevystaveného povrchu CLT panelů hodnoty přesahující 50°C. Tento výsledek znamená, že CLT panely účinně plnily svou funkci, neboť nedovolovaly významné zvýšení teploty na průměrnou hodnotu 140 °C a maximální hodnotu na 180 °C. Tímto způsobem CLT panely dosáhly

stanovených tepelně izolačních standardů a byly schopny udržet stabilní teplotní prostředí.

- c) Pokud se podíváme na analýzu zuhelnatělé vrstvy CLT panelu, zjišťujeme zajímavý rozdíl mezi tloušťkou zuhelnatělé vrstvy naměřenou po provedeném požárním testu a tloušťkou vypočtenou pomocí metody redukovaného průřezu. Konkrétně, tloušťka zuhelnatělé vrstvy naměřená po testu dosáhla hodnoty 3,00 cm, zatímco vypočtená tloušťka pomocí metody redukovaného průřezu činila pouze 1,95 mm. Tento rozdíl v tloušťce naznačuje možnost dalšího zuhelnatění dřeva, což bylo patrné i po dalších 24 hodinách působení vysokých teplot, i poté, co byly vypnuty hořáky a požár zhasl. Tento faktor je důležitý z hlediska bezpečnosti reálné konstrukce CLT panelu a naznačuje potřebu dalšího zkoumání, abychom lépe porozuměli dopadu této odchylky na celkovou bezpečnostní situaci.

Nicméně ztráta tuhosti panelů způsobená zvýšením teploty napříč průřezem a žhnutím během 24 hodin po testu musí být zohledněna při analýze konstrukcí za požáru ohni. Tento aspekt platí také pro jiné stavební materiály, jako je železobeton a ocel, protože šíření tepelné vlny během fáze ochlazování ovlivňuje hořlavé i nehořlavé materiály.

Data předložená v této práci potvrzují závěry získané z výzkumů provedených jinými autory, které zdůrazňují nutnost, aby požární a stavební inženýři zohledňovali fázi ochlazování reálného požáru pro zajištění bezpečnosti dřevěných konstrukcí, zejména při zvažování vysokých budov z masivního dřeva (40).

6.5 Požární ochrana CLT panelu pomoci sádrokartonu

Z hlavních způsobů ochrany CLT panelů před požárem se často využívá kombinace nehořlavého povrchu a sádrokartonových desek "fermacell", které účinně snižují požární zatížení a chrání nosné konstrukce před vzplanutím. Tento materiál chrání jádro panelů před nedokončeným spálením a umožňuje, aby konstrukce z CLT panelů nadále plnily svou statickou a nosnou funkci. Dalším důležitým faktorem či způsobem ochrany CLT panelů je celkový návrh konstrukce, který hraje klíčovou roli při minimalizaci rizika požáru a šíření ohně (14).



Obrázek 29: Sádrokartonová deska

Jedním z hlavních prvků používaných dnes k zvýšení požární odolnosti CLT panelů jsou homogenní sádrovláknité desky, které se skládají ze sádry a papírových vláken, jež jsou recyklovány. V každém bodě průřezu desky mají vlákna stejné vlastnosti, jelikož vlákna ve směsi sádry a papíru tvoří pevnou vazbu. Sádrovláknité desky značky Fermacell mají vysokou objemovou hmotnost. Poskytují efektivní protipožární ochranu a lepší izolaci hluku. Jejich vlastnosti spočívají také v ochraně proti vlhkosti, tepelně izolační a statické vlastnosti (15).

6.6 Požární ochrana CLT panelu pomoci retardérů

Pro zvýšení požární odolnosti CLT panelů při požárním zatížení je nezbytné pečlivě je ošetřit pomocí hořlavých retardérů. Požární retardéry jsou látky, které zvyšují požární odolnost tím, že snižují rychlost šíření tepla a plamene a zároveň zpomalují čas potřebný k zapálení paliva. Existují dva typy těchto látek: povrchové retardéry a tlakově impregnované chemikálie. Jejich aplikací se proces vzniku a šíření požáru zpomaluje, což poskytuje budově dostatečný čas pro evakuaci osob v případě rizika požáru. Při použití těchto látek je třeba být opatrný, protože jejich aplikace při ošetření dřeva může ovlivnit jeho mechanické vlastnosti, a je nezbytné brát tyto vlivy v úvahu při návrhu objektu (12).

Při tlakové impregnaci dřeva se toto dřevo umístí do uzavřené tlakové nádoby. Nejprve se vytvoří podtlak, aby se z buněk dřeva odstranil veškerý vzduch. Poté se do nádoby napustí speciální tekutina a vytváří se hydraulický tlak, který tlačí tekutinu do struktury dřeva. Následně se odčerpá zbývající tekutina a dřevo se vyjme, aby mohlo zaschnout na vzduchu (16).



Obrázek 30: Tlaková impregnace dřeva

6.7 Požární ochrana – Sprinklerové systémy

Dalším protipožárním opatřením, které je nutné zavést v konstrukci obsahující CLT panely, jsou automatické požární trysky. Tyto trysky zajistí bezpečnost proti požáru v každé části budovy. Jejich použití a aplikace do budovy umožňuje povolení stavby do vyšší výšky. Snižuje požadavky na odolnost budovy proti požáru a umožňuje také použití materiálů s vyšší úrovní hořlavosti v souladu s normami (12).

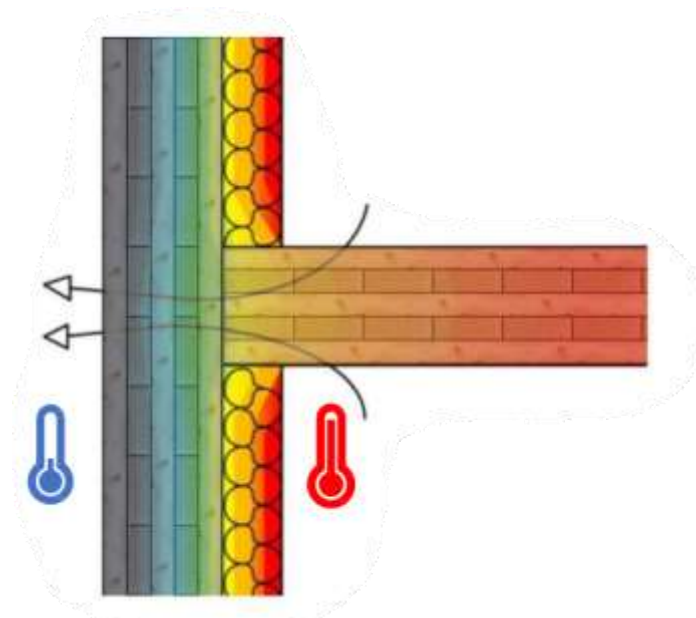
Podle datové statistiky, kterou vytvořily Spojené státy, naznačuje, že při aplikaci sprinklerových systémů do budov se snižují ztráty na lidských životech o polovinu až tři čtvrtiny a průměrné materiálové škody o polovinu až dvě třetiny. Sprinklerové systémy hrají významnou roli při snižování rychlosti šíření plamene a množství kouře do dalších místností budovy. Mají významnou roli v tom, aby zajistily dostatečný čas pro evakuaci všech obyvatel a pro zásah hasičů (17).



Obrázek 31: Sprinklerové systémy

7. Tepelné vlastnosti křížem vrstveného dřeva

Křížem vrstvené dřevo je známé svými vynikajícími tepelnými vlastnostmi, díky své konstrukci, která spočívá ve vrstvení dřeva v různých směrech, poskytují tyto panely vynikající izolační schopnosti. Tento design umožňuje minimalizovat tepelné mosty a zajišťuje efektivní ochranu proti tepelným ztrátám. Důsledkem je výrazné snížení energetické náročnosti budov a nižší náklady na provoz v důsledku menší potřeby vytápění či chlazení. Přirozené izolační vlastnosti dřeva v kombinaci se vzduchotěsností a hmotností CLT vytvářejí ve srovnání s většinou ostatních konstrukčních materiálů vysoce výkonný tepelný systém. Tepelné vlastnosti CLT panelů tak představují zásadní faktor pro dosažení energetické účinnosti a udržitelnosti v rámci stavebního průmyslu.



Obrázek 31: Řez CLT panelu

7.1 Jak lze dosáhnout lepších tepelných vlastností křížem vrstveného dřeva?

Při výrobě desek CLT se používá speciální technologie čelního lepení s bočním hydraulickým tlakem. Tento proces je důkladně navržen s cílem minimalizovat mezery mezi jednotlivými deskami v každé vrstvě. Tím je zajištěno, že konstrukce dosáhne co nejvyšší možné úrovně vzduchotěsnosti. Tato pečlivá práce přispívá k optimální kvalitě a výkonnosti desek CLT (43).



Obrázek 32 : Uspořádání vrstev s bočním přitlakem



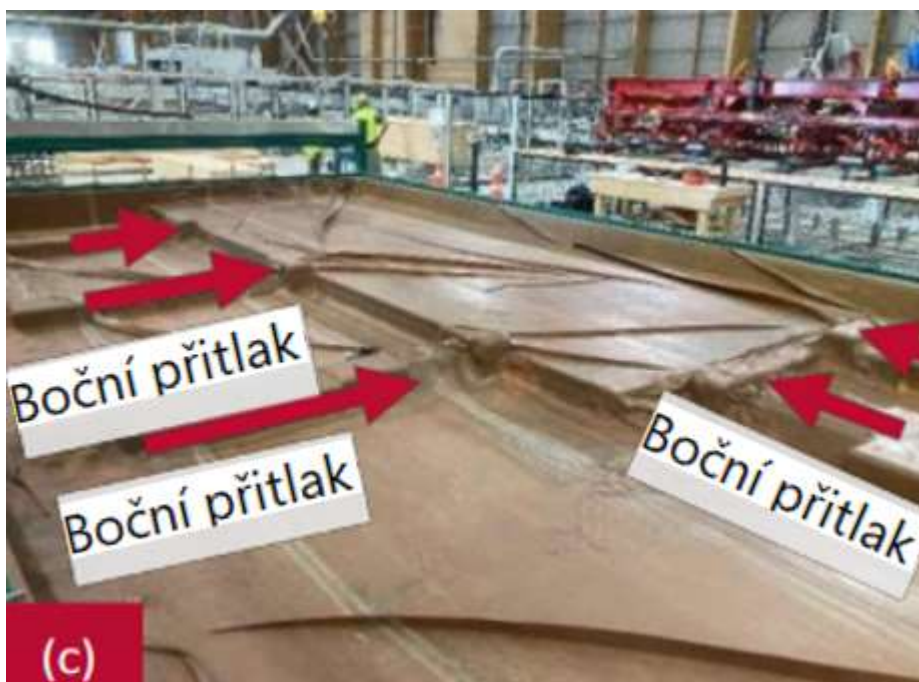
Obrázek 33: Rozložení lepidla

7.1.1 Vakuová membrána

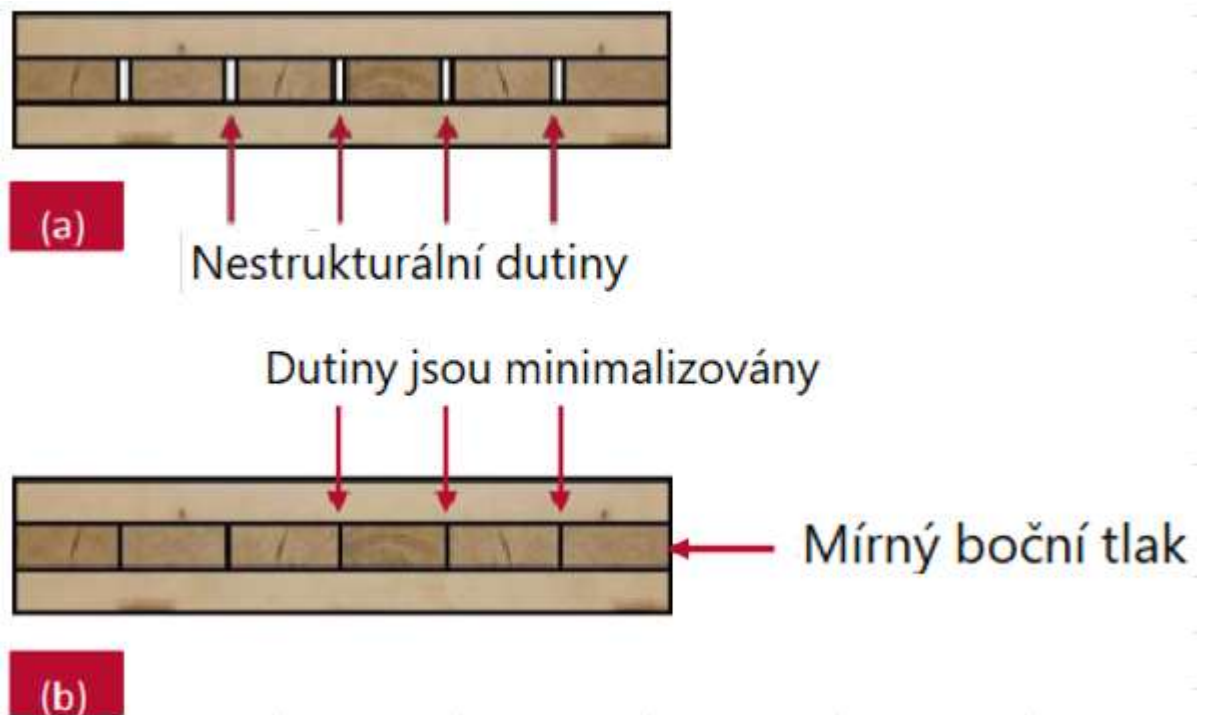
Vakuová membrána je speciální materiál, obvykle vyrobený z elastického, pružného plastu, který se používá k vytvoření vakuového prostoru kolem určitého objektu nebo povrchu. Tato membrána je schopna těsně přiléhat k povrchu a vytvořit uzavřený prostor, do kterého lze vytáhnout vzduch pomocí vakuového systému. V případě výroby CLT panelů je vakuová membrána umístěna nad lepenými vrstvami dřeva. Poté, co jsou vrstvy dřeva spojeny a nanášeno lepidlo, je vakuová membrána přiložena nad lepenou konstrukci. Poté je vzduch vytahován z prostoru pod membránou, čímž se vytváří podtlak. Tento podtlak pak tlačí membránu těsně k povrchu lepené konstrukce, odstraňuje vzduchové bubliny z lepeného spoje a umožňuje lepší spojení mezi vrstvami dřeva (43).

7.1.2 Hydraulický boční tlak

Hydraulický boční tlak je metoda, při které se aplikuje tlak na bocích lepených dřevěných desek pomocí hydraulického systému. Tento tlak pomáhá stlačit jednotlivé vrstvy dřeva dohromady a minimalizuje mezery mezi nimi, což zlepšuje těsnost a pevnost výsledné konstrukce (43).



Obrázek 34: Hydraulický boční přitlak a vakuová membrána



Obrázek 35: Řez CLT panelu s dutinami a bez

Obrázek (a) znázorňuje CLT panel s dutinami před aplikací bočního hydraulického tlaku. Na obrázku (b) je zobrazen CLT panel, u kterého byly po aplikaci bočního hydraulického tlaku eliminovány mezery a dutiny.

7.1.3 Stroj (CNC) (Computer Numerical Control)

CNC stroje s možností přesného řezání mají významný podíl na vylepšení tepelných vlastností CLT panelů. Jejich schopnost eliminovat dutiny a podporovat vzduchotěsnost mezi lamelami je velmi důležitým faktorem, který přispívá k vytvoření vysoce efektivních izolačních struktur (43).



Obrázek 36: CNC zařízení s možností přesného řezání.

7.2 Součinitel prostupu tepla CLT panelu

Jednou z mnoha dalších vyznaných vlastností CLT panelu je jeho součinitel prostupu tepla. Při tloušťce 84 mm CLT panelu je součinitel prostupu tepla $U = 1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, což naznačuje jeho skvělé izolační vlastnosti. V porovnání s typem konstrukce železobetonu, který má při stejné tloušťce 84 mm součinitel prostupu tepla až $U = 18,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ (19).

Součinitel prostupu tepla dle typu kce.	U [W/(m ² k)]
CLT panel tl. 84mm	1,24
Železobeton tl. 84 mm	18,9
Izolační dvojsklo	2 - 1,4
Izolační trojsklo	1,8 - 0,7

Obrázek 37: Součinitele prostupu tepla

Použití CLT panelů s nízkým součinitelem prostupu tepla v zimě zvyšuje tepelný komfort v našem stavebním objektu a v létě udržuje příjemně chladné prostředí. Tím dochází ke snížení spotřeby energie po celý rok.

Jelikož díky nižším součinitelům vodivosti a prostupu tepla při případném požáru CLT panely budou méně rychle přenášet teplo, a to může zpomalit šíření ohně v konstrukci, a tak získat drahocenný čas pro evakuaci všech osob v budově. To činí z CLT panelu vynikající konstrukční prvek, který dokáže konkurovat dalším stavebním materiálům a může být jejich alternativní variantou při jejich použití.

8. Vlhkost u CLT

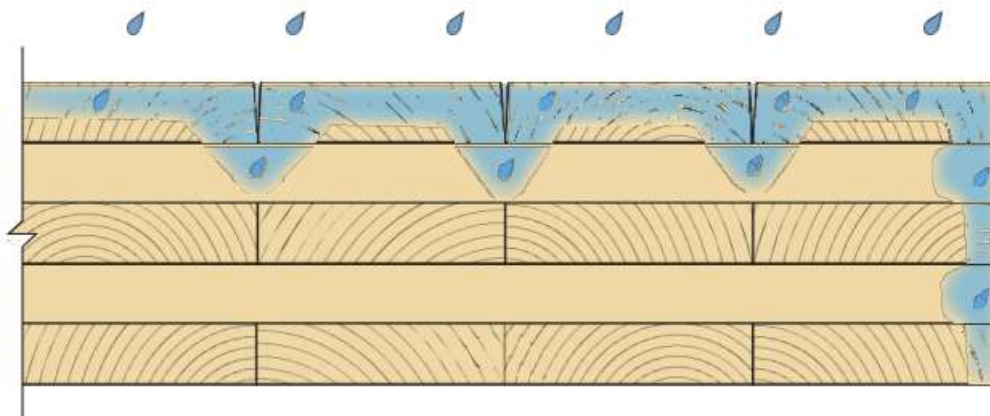
Vlhkost jako přirozený jev, ovlivňuje konstrukce z CLT panelů. Z tohoto důvodu je nutné stanovit veškerá opatření pro ochranu konstrukcí proti vlhkosti. Jedním způsobem, jak toho dosáhnout, je efektivní dodávka CLT panelů na stavbu a

maximální využití prefabrikace s cílem, minimalizovat veškerou ruční práci při výstavbě konstrukcí. Zároveň je možné využít dočasný přístřešek k ochraně CLT panelů na stavbě před deštěm. Také je možné použít speciální nátěry odpuzující vodu, které se aplikují již při výrobě na čelní plochy CLT panelů.

Jedním z hlavních důvodů, proč je tak důležité chránit CLT prvky před vlivem vodního faktoru, je skutečnost, že CLT prvky jsou mnohem masivnější než standardní rozměry dřeva. Pokud voda pronikne do těchto prvků, bude doba jejich vysychání delší a následně mohou vzniknout problémy s harmonogramem dokončení stavby včas. Výrobní firmy CLT prvků se musí řídit normami a předpisy, které stanovují, že vlhkost na jakémkoliv místě na povrchu, jádře či na okraji panelu musí být mezi hodnotami 16 % až 19 %, aby byly splněny podmínky.

Důvodem, proč je důležité mít stále pod kontrolou stabilní množství vlhkosti v CLT panelech, jsou možné následky dřeva, jako je roztažnost, smrštění, které jsou způsobeny vlhkostí a mohou výrazně poškodit a deformovat panel. Jestliže vlhkost není stabilní a stoupá nebo klesá, může dojít k bobtnání a smrštění panelu, což vytváří trhliny a spáry které mohou negativně ovlivnit celistvost panelu. Vlhkost proniká dovnitř a vyžaduje delší dobu pro vyschnutí panelu.

Horní povrch CLT je odolnější vůči vlhkosti než jeho hrany, ale pokud pronikne vlhkost do nižších vrstev, ztíží se vysychání. Okraje se snadno zvlhčí, ale také se snadno vysuší na vzduchu (18).



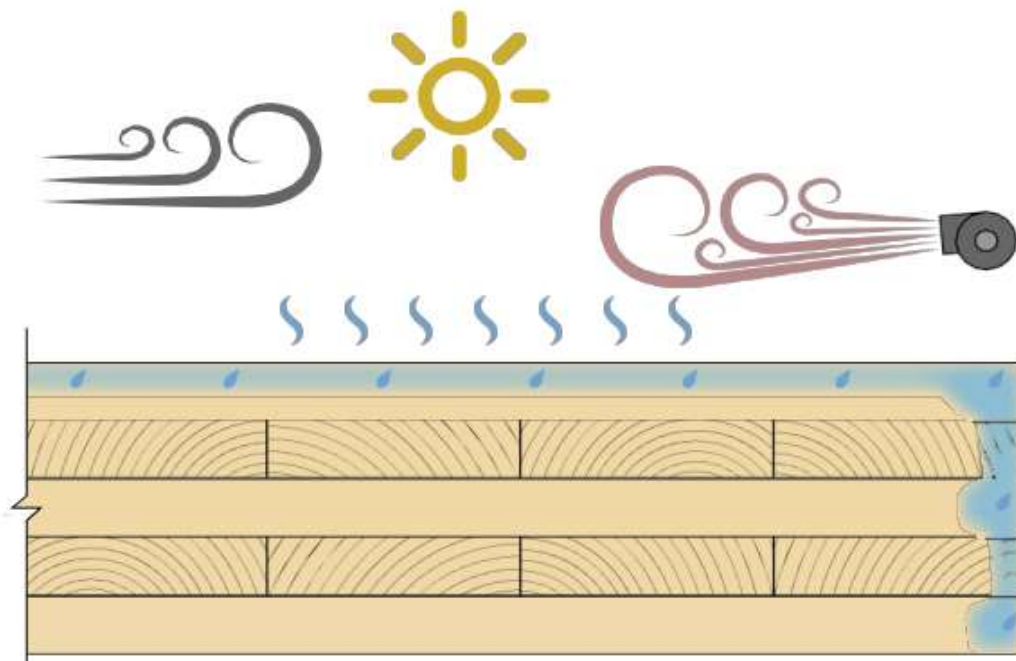
Obrázek 38: Smáčení panelů CLT během výstavby

8.1 Mechanické sušení CLT

Mechanické metody a postupy umožňující účinné vysušení povrchu CLT jsou založeny na použití speciálních strojů s ventilátory, které dokáží produkovat teplý nebo studený vzduch. Tyto ventilátory zajišťují dodávání suchého a vysušeného vzduchu, což napomáhá urychlit proces odpařování vlhkosti (18).

8.2 Přirozené sušení

Dalším způsobem, jak lze dosáhnout vysušení CLT, je přirozené sušení. Přirozené sušení závisí na řadě faktorů, jako je rychlost odpařování vlhkosti z CLT, což je dáno obsahem a množstvím vlhkosti. Dále je rozhodující povrchová teplota a následně teplota a relativní vlhkost vzduchu a síla větru. Sluneční záření výrazně přispívá k urychlení procesu vysychání, neboť zvyšuje povrchovou teplotu (18).



Obrázek 39: Mechanismy sušení vlhčených CLT zahrnují vítr, slunce, teplotu a ohřátý/sušený vzduch mechanickými prostředky

9. Protihlukové opatření

V dnešní době jsou akustické vlastnosti stavebních objektů klíčovým faktorem pro kvalitní bydlení. Přebytečný hluk má negativní dopady na lidský organismus a vytváří stresující prostředí pro život. Dochází k tomu, že lidé trpí různými zdravotními problémy, jako je nespavost, úzkost či zhoršená koncentrace, pokud jsou vystaveni nadměrnému hluku ve svém každodenním prostředí. Kvůli tomu musíme tyto negativní dopady hluku eliminovat nebo alespoň snížit pomocí protihlukových opatření. Je tedy zřejmé, že zajištění optimálních akustických podmínek v obytných prostorách je klíčové pro celkové blaho a pohodlí obyvatel (20). Nejdůležitějšími faktory ovlivňujícími vzduchovou a nárazovou neprůzvučnost budeme rozebírat následně.

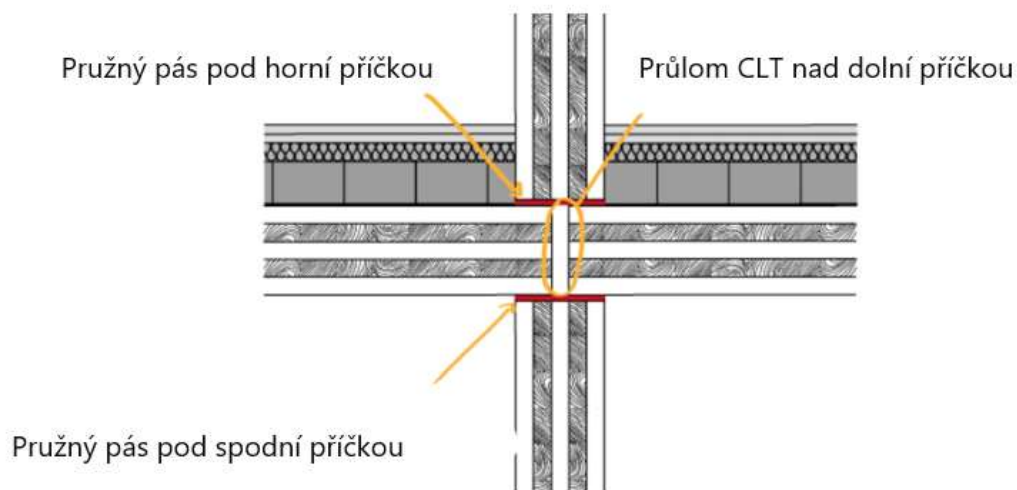
Jedním z nich je porozita materiálu, neboť čím nižší je porozita materiálu, tím lepší je vzduchová neprůzvučnost. Porozita materiálu je klíčovým parametrem, který určuje schopnost materiálu absorbovat zvukové vlny a minimalizovat jejich průchod skrz něj. Tento jev je způsoben tím, že materiály s nižší porozitou mají tendenci lépe odrazit zvuk a minimalizovat jeho pronikání skrze sebe, čímž poskytují efektivnější ochranu před akustickými vlnami.

Dalším faktorem, který má vliv na zvukovou izolaci, je celková hmotnost na jednotku plochy. Čím větší je hmotnost, tím lepší je zvuková izolace. To znamená, že pokud má stavební konstrukce větší hmotnost na jednotku plochy, bude lépe tlumit zvukové vlny a minimalizovat jejich průnik skrz materiál. Tento princip je založen na faktu, že těžší materiály mají tendenci lépe odrážet zvukové vlny než lehčí materiály. Tím se dosahuje vyšší úrovně zvukové izolace a zlepšuje se celkové prostředí uvnitř budovy.

Významnou klíčovou roli hrají také vzduchové mezery mezi vrstvami. Tyto mezery jsou zásadní pro akustické vlastnosti stavebních konstrukcí. Čím větší je tato vzduchová mezera mezi vrstvami, tím lepší je zvuková izolace. Dochází k tomu, že vzduchové mezery fungují jako efektivní tlumiče zvuku. Jejich správné využití může vést k významnému zlepšení odhlučnění prostoru a celkovému zvýšení akustického komfortu uvnitř budovy (21).

Dalším významným faktorem, který ovlivňuje úroveň zvukové izolace v budovách, je spojitost CLT prvků a jejich překrytí mezi sousedními místnostmi.

Rozdělení desek nad příčkami snižuje přenos vibrací z jedné strany příčky na druhou. Proto je nezbytné, aby byla tato spojitost eliminována, aby se minimalizovalo šíření hluku, vibrací a zajistila se lepší akustická izolace v rámci budovy (21), (22).

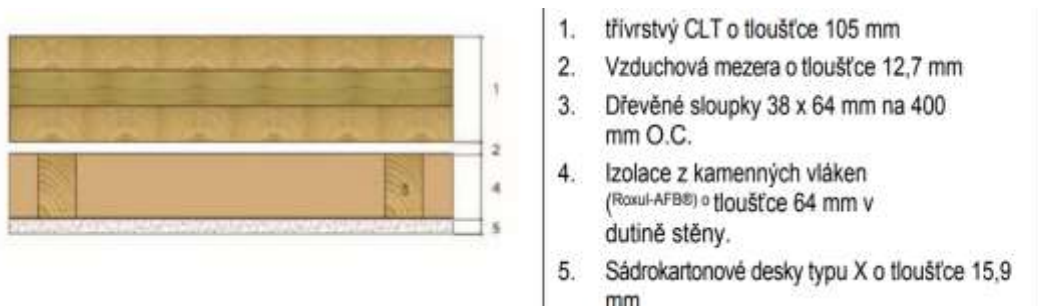


Obrázek 40: Rozdělení desek CLT a použití pružného prvku

Aplikace různých kontaktních prvků, jako například u CLT panelů společně s připevněnými sádkartonovými deskami, je důležitá pro zlepšení zvukové izolace objektu. Čím měkčí jsou tyto kontaktní vrstvy, tím lepší je zvuková izolace. Je důležité používat pružné materiály v těchto spojích, aby se maximalizovala jejich schopnost tlumit zvuk a minimalizoval se přenos zvuku z jedné vrstvy na druhou (21).

Řešení pro dosažení $ASTC \geq 45$ u stěn CLT testovaných v terénu v budovách CLT.

(***ASTC – Apparent Sound Transmission Class. Označuje akustickou izolační třídu. Tato hodnota se týká celkového účinku izolace zvuku, což zahrnuje různé zdroje hluku.)



47

Obrázek 41: Skladba s CLT

9.1 Metody pro zvýšení akustické izolace u podlah

9.1.1 Metody-zhutnění panelu CLT

Je důležité, aby CLT panely měly optimalizované akustické vlastnosti, neboť kvalita bydlení závisí mnohokrát právě na akustických faktorech. Aby bylo dosaženo těchto akustických vlastností, je nezbytné provádět metody, které tyto vlastnosti dokáží vylepšit. Provádění detailní analýzy a testování umožňuje odhalit slabá akustická místa u CLT panelů, a tak zvýšit jejich akustickou výkonnost v místnosti.

Pomocí metody zhutnění CLT panelů lze dosáhnout vyšší hustoty. Jak již bylo zmíněno, hustota materiálu hraje klíčovou roli při akustické izolaci. To lze docílit s metodou, kde jednotlivá prkna jsou mechanicky stlačována za tepla, což umožňuje výrobu CLT desky o celkově vyšší hustotě. S tímto způsobem se přibližně hustota smrku zvyšuje z 400-440 kg/m³ na 720-790 kg/m³, což činí stlačení přibližně 55 % na původní výšku (23).



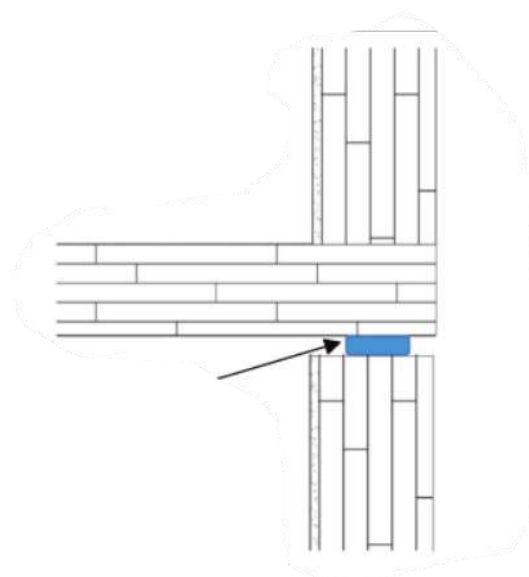
Obrázek 42: Původní prkno ze 38 mm smrku (vlevo) a identické prkno stlačené do desky o tloušťce 21 mm (vpravo).

Alternativní dřevinou pro výrobu CLT panelů je bříza, a to díky její hustotě, která dosahuje přibližně 600-650 kg/m³. I když břízový CLT panel bude lehčí než panel technicky vyrobený ze smrku, stále bude mít vyšší hmotnost než přírodní smrkový panel, a tak i lepší akustické izolační vlastnosti (23).

9.1.2 Použití viskoelastického tlumiče

Plovoucí podlaha z CLT představuje konstrukční systém využívaný k tlumení vibrací a zvuku mezi různými úrovněmi podlah v budovách. Tento systém bere v úvahu hmotnost podlahy, její tuhost a schopnost odolávat zatížení v jednom směru. Pro optimální funkčnost tohoto systému je nezbytné, aby tuhost pružné vrstvy byla dostatečně nízká pro tlumení nízkofrekvenčních vibrací, avšak zároveň dostatečně vysoká pro udržení stability a nosnost. K řešení tohoto problému se navrhuje elastická vrstva s důrazem na její smykové vlastnosti. Tato elastická vrstva je koncipována tak, aby byla tužší, avšak stále elastická, což umožňuje efektivní tlumení ohybových módů. Nejlepší výsledky jsou dosahovány, když jsou obě desky (například CLT panely) stejně silné s elastickou vrstvou umístěnou mezi nimi (23).

Z vědeckých pokusů bylo zjištěno, že těžší druhy dřeva, jako je bříza a stlačený smrk, působí snižování nízkofrekvenční mobility vibrací u testovaného CLT panelu v porovnání s běžným panelem. Bylo zjištěno, že použití vrstev viskoelastického tlumiče mezi dvěma CLT panely ovlivňuje mobilitu podobným způsobem. Byla testována zvuková izolace CLT podlahy, která byla vyrobena z



Obrázek 43: Aplikace elastické vrstvy

dvou 60 mm březových panelů s použitím 12 mm elastické vrstvy umístěné mezi nimi. Následně byla porovnána s běžným 130 mm panelem. Bylo zjištěno, že vzduchovou zvuková izolace se zvýšila o 4-5 dB, zatímco nárazová zvuková

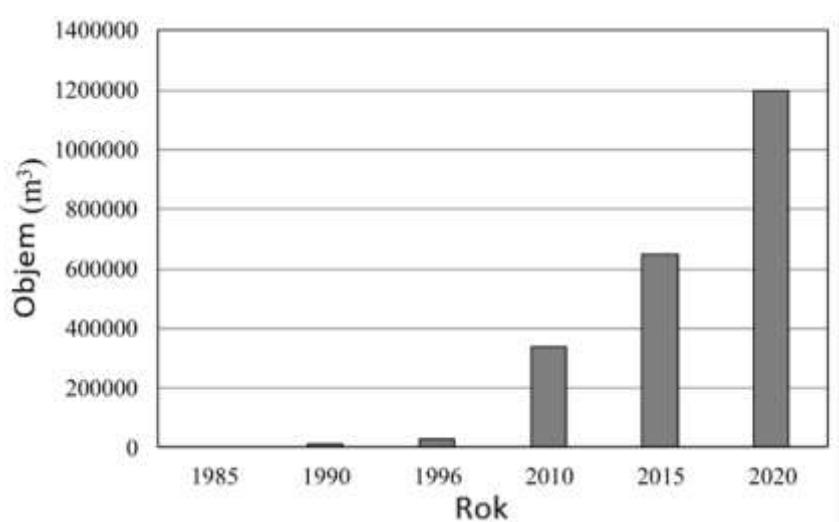


Obrázek 44: CLT podlahy k testování: a) těžké 2 × 60 mm 3-vrstvé panely s elastickou vrstvou mezi nimi a b) standardní 130 mm 5-vrstvý panel.

izolace se zlepšila o 6-5 dB (23).

10. Rostoucí trend CLT ve 21 století

Dřevěné produkty z CLT získávají na popularitě, což je zřejmé z různých celosvětových statistických databází. Odhaduje se, že celosvětová roční produkce CLT v Evropě roste exponenciálně: v roce 1996 činila 25 000 m³, v roce 2010 340 000 m³, v roce 2015 650 000 m³ až na 1,2 milionu m³ v roce 2020. Byl zaznamenán i roční nárůst výroby CLT ve Spojených státech, Kanadě, Austrálii, Japonsku a Novém Zélandu. Tímto způsobem je naznačeno, jak výrazný evoluční nárůst CLT zažívá v posledních letech a že je možné jej považovat za stavební materiál budoucnosti (24).



Obrázek 45: Objem ve m³ výroby křížově lepeného dřeva (CLT) v Evropě.

11. Snížení CO₂ využitím CLT panelu

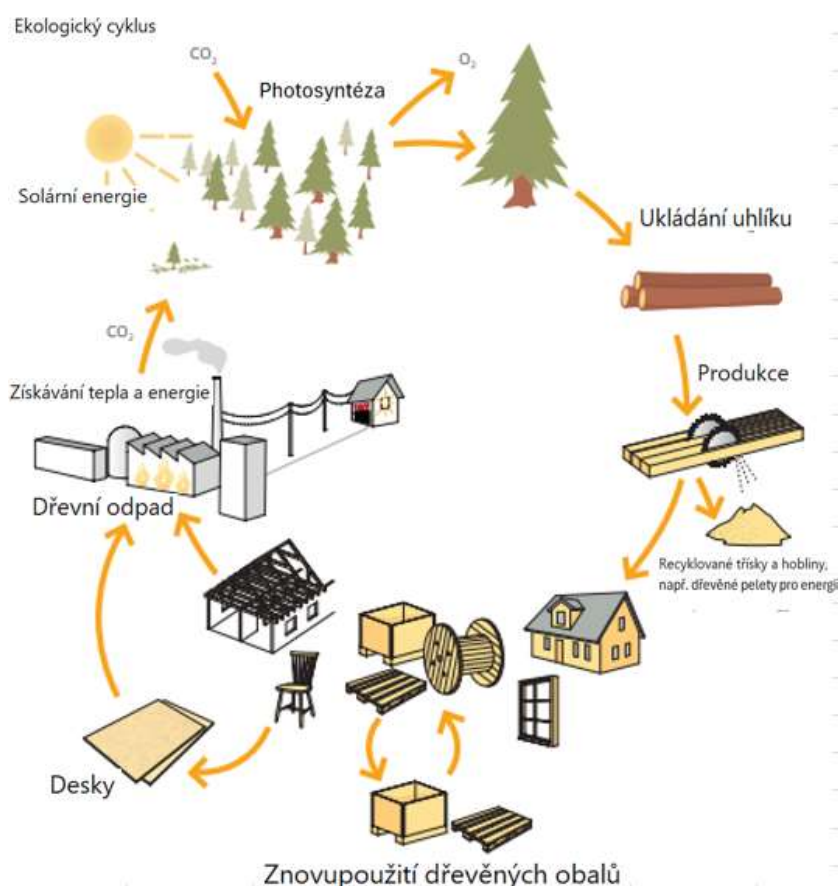
Jedním z největších environmentálních problémů v dnešní době je globální oteplování, které má rozsáhlé negativní důsledky na život na Zemi. Důsledky globálního oteplování jsou natolik vážné, že ovlivňují celkovou rovnováhu klimatu což má za následek nejenom změny v teplotách a srážkách, ale také další komplexní změny v atmosféře, v mořích a na pevnině, které mohou způsobit nepředvídatelné a často katastrofické události, ohrožující bezpečnost a prosperitu lidstva i dalších živých organismů na planetě. Jedním z hlavních faktorů spojených s tímto globálním problémem jsou skleníkové plyny. Jsou to látky ve vzduchu, které zadržují teplo v zemské atmosféře a přispívají k jejímu ohřívání. Mezi hlavní plyny patří oxid uhličitý (CO₂), který vzniká při průmyslových procesech a v zemědělství.

Při výrobě stavebních materiálů, představují celosvětově emise skleníkových plynů z energetické spotřeby 9-11 %, což je více než emise z energie celé Evropské unie (25), (26). Největší podíl emisí v dnešní době pochází hlavně z dvou produktů: oceli a betonu. Při výrobě těchto dvou materiálů se spaluje velké množství fosilních paliv, což přispívá k uvolňování skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého (CO₂). Při výrobě jedné tuny betonu se vypustí půl tuny oxidu uhličitého (CO₂) a při výrobě jedné tuny oceli se vypustí 2 tuny oxidu uhličitého (CO₂) (27).

Tomuto negativnímu celosvětovému jevu lze dočasně předcházet použitím materiálů s nižšími emisemi. V dnešní době při realizaci stavebních objektů lze efektivně použít CLT panely. Zajímavostí při použití CLT panelů při stavbách v současnosti je skutečnost, že přispívá ke zpomalení klimatických změn tím, že udržuje oxid uhličitý mimo atmosféru. Toto je dosaženo prostřednictvím absorpce CO₂ ze vzduchu a jeho ukládání ve dřevě. Určité množství uhlíku je uloženo v budovách, které mohou trvat od 50 do několika set let. Přesné množství CO₂ bude záviset na druhu stromu, lesnických procesech, nákladech na dopravu a řadě dalších faktorů (27). Obvykle, když jsou stromy pokáceny a zpracovány, se tento uhlík vrací zpět do atmosféry. Avšak pokud zůstane většina jeho dřeva nedotčena a použije se ve stavbě, bude tento uhlík uzamčen po desetiletí, i staletí v této stavbě. Dokonce i po zboření jakékoliv budovy z CLT panelů, existují příklady toho, že toto dřevo je využíváno v nových produktech, jako je nábytek

(25). Jeden krychlový metr CLT panelu ukládá 180 kg oxidu uhličitého. To znamená, že jeden krychlový metr materiálu obsahuje 180 kg oxidu uhličitého ve své struktuře po dobu, po kterou materiál zůstává nedotčený. Je již známo, že dřevo je velmi dlouhotrvající materiál. Nejstarší dřevěná stavba na světě stará 1400 let se nachází v Japonsku (28). Přehled 27 studií o celoživotních emisích spojených s CLT panely ukázal, že tento materiál může snížit emise uhlíku u velkých budov zhruba o 40 % oproti tradičním stavebním materiálům (25).

V dnešní době uhlíková stopa se stává klíčovým faktorem při výběru konstrukčních stavebních materiálů a kvůli tomu, již několik zemí na světě, jako je Švédsko, Dánsko, Finsko a Norsko, zavedlo novou generaci nařízení, která vyvolávají větší zájem o využití stavebních materiálů, které budou mít nižší produkci oxidu uhličitého a tím i nižší negativní dopad na životní prostředí (26). Mnoho dalších zemí na světě bude postupně tento významný krok následovat. Naší povinností je přerušit proces globálního oteplování. Je nezbytně nutné, aby se zapojilo co nejvíce zemí, abychom tento negativní proces ovlivňující rovnováhu klimatu na naší Zemi alespoň výrazně zpomalili.



Obrázek 46: Cyklus dřeva

11.1 Výzkum využití CLT panelu, aby byl šetrnější k životnímu prostředí

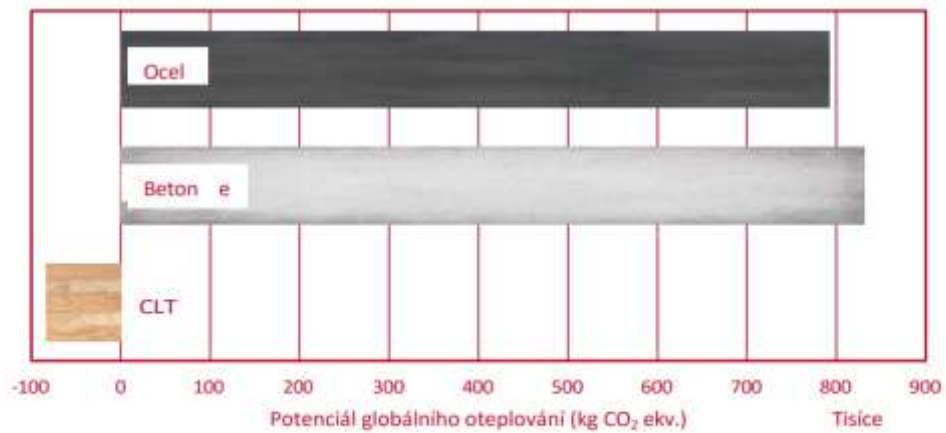
Výzkum, který prováděl tým vědců pod vedením autora Dodoo v roce 2021, se zabýval hledáním způsobů, jak zlepšit strukturální inženýrství a snížit klimatický dopad staveb z CLT panelů. Bylo zjištěno, že lze optimalizovat tloušťku jednoho



Obrázek 47: Těžba dřeva z lesa

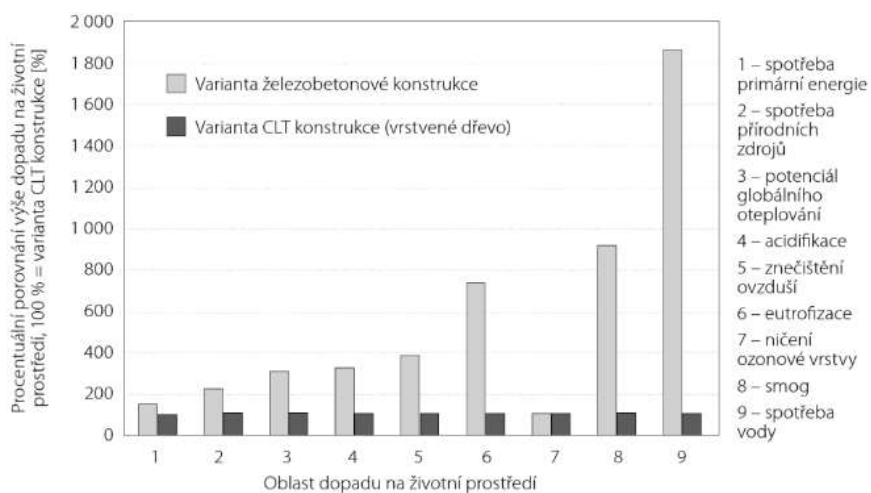
CLT panelu tak, aby byla stále dostatečně silná pro potřeby konstrukce, ale zároveň nebyla příliš tlustá a nevyužívala tak zbytečné množství dřeva. To znamená, že bychom se snažili dosáhnout potřebné pevnosti a stability konstrukce s co nejmenším množstvím materiálu. Tímto způsobem optimalizace je možné dosáhnout úspory materiálu dřeva při výrobě CLT panelu až o 5 %, aniž by byla ohrožena bezpečnost nebo funkčnost konstrukce. Dalším faktem, který byl zjištěn je že při použití spojovacích prvků, které drží tyto dřevěné díly pohromadě, mohou být také vylepšeny tak, že budou lehčí až o 25 %, ale stále budou udržovat stavbu pevnou a bezpečnou. Dále při sledování, jak dlouho vydrží stavba, můžeme předpovědět, kdy by se mohly začít dít nějaké problémy, a přijmout opatření, abychom problémům předešli. To znamená, že když něco začne selhávat, můžeme to opravit dříve, než se stane nějaká vážná škoda. Celkově, díky těmto návrhům, jako je snížení hmotnosti dřevěných prvků a spojů nebo zlepšením sledování stavby, můžeme minimalizovat problémy a získat

stavby, které jsou nejenom bezpečnější, ale také šetrnější k životnímu prostředí (26).



Obrázek 48: Ztělesněný uhlík dřevostaveb ve srovnání s betonovými a ocelovými budovami

11.2 Srovnání variant nosné konstrukce z CLT a železobetonu a dopad na životní prostředí



Obrázek 49: Dopad na životní prostředí (CLT a železobeton)

Na grafu jsou analyzované výsledky devítipodlažní budovy, která byla postavena ve dvou konstrukčních variantách. Prvním způsobem byla konstrukce budovy provedena ze železobetonu, zatímco druhým způsobem byla využita dřevěná nosná konstrukce z CLT. Cílem této analýzy bylo porovnat a zhodnotit ekologické dopady jednotlivých stavebních materiálů a jejich přínosy či negativní vlivy na životní prostředí. Z analýzy grafu je zřejmé, že konstrukce z CLT dřeva představuje mnohonásobně nižší negativní dopad na životní prostředí ve srovnání s konstrukcí ze železobetonu. Bylo zjištěno, že použití železobetonu vedlo k emisi 125 000 tun CO₂ do ovzduší, zatímco při využití konstrukce z CLT skeletu došlo k absorpci uhlíkové stopy až 185 000 tun CO₂.

Z analýzy grafu vyplývá také značný rozdíl v spotřebě vody. Konkrétně je zaznamenáno, že při využití železobetonu bylo zapotřebí až devatenáctkrát více vody než při preferenci CLT konstrukce. Tento fakt nejenže poukazuje na ekologické aspekty stavby a výroby, ale také podtrhuje výhody a účinnost alternativních materiálů, jako je CLT, v oblasti úspory zdrojů a udržitelného stavebnictví. Za zmínku stojí zdůraznit, že při využití varianty konstrukce z CLT byla prokázána pozitivní účinnost na životní prostředí ve srovnání s variantou ze železobetonu, protože bylo spotřebováno nižší množství primární energie, nižší spotřeba přírodních zdrojů, a to mělo nižší dopad na globální oteplování, acidifikaci, znečištění ovzduší a eutrofizaci. Dále se vyprodukovalo menší množství smogu do ovzduší. Při podrobném zkoumání vlivu na ničení ozonové vrstvy bylo zjištěno, že obě varianty konstrukce, tedy jak ta z CLT, tak i ta ze železobetonu, vykazovaly podobný dopad na tuto problematiku ekosystému (19). Tyto fakty zvýrazňují příznivější charakter CLT jako stavebního materiálu, což potvrzuje jeho výhody z hlediska udržitelnosti a ekologického ohledu.

12. Lepidla používaná při výrobě CLT panelu

Úvod do problematiky používání CLT panelů ve stavebnictví zahrnuje mnoho důležitých faktorů a jedním z klíčových je volba vhodného lepidla. Lepidlo hraje zásadní roli při spojování dřevěných lamel do jednoho kompaktního panelu a ovlivňuje jak pevnost, tak celkovou stabilitu konstrukce. Výběr správného typu lepidla je tedy nezbytným krokem při výrobě CLT panelů a má významný dopad na kvalitu výsledného produktu. Klíčové faktory, které je třeba zvážit při výběru

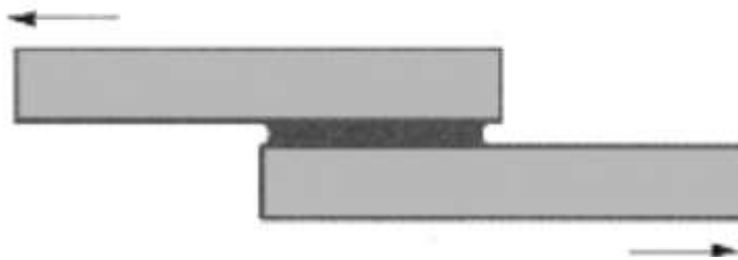
lepidla, zahrnují adhezi, odolnost vůči vlhkosti, teplotní stabilitu a ekologické hledisko. Existuje několik typů lepidel, které jsou běžně používány při výrobě CLT panelů. Patří sem polyuretanová lepidla, epoxidová lepidla, melaminová lepidla a polyvinylacetátová lepidla. Každý typ má své výhody a nevýhody v závislosti na konkrétních požadavcích a podmínkách použití.

12.1 Polyuretanová lepidla

Polyuretanová lepidla (PUR) představují novější alternativu tradičních lepidel obsahujících formaldehyd. Jsou šetrnější k životnímu prostředí a ekologičtější volbou. Jsou známá svou vysokou pevností a odolností vůči vlhkosti, což je zvláště důležité pro CLT panely používané ve venkovních aplikacích. Nabízejí dokonalou kombinaci kohezivní síly, která dokáže účinně spojit jednotlivé částice hmoty v tělesa a udržet je pevně pohromadě. Tato síla je klíčová pro zachování charakteristické pevnosti pevných látek a jejich odolnost vůči deformaci. Díky této kohezi je možné dosáhnout vynikající stability a celkové celistvosti materiálu. Navíc polyuretanová lepidla poskytují i flexibilitu, což je další faktor, který přispívá k jejich vysoké odolnosti. Flexibilita umožňuje materiálu přizpůsobit se různým podmínkám a pohybům, čímž zajišťuje trvanlivost a spolehlivost spoje.

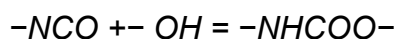
Polyuretanová lepidla jsou také velmi odolná při nízkých teplotách. Vytvářejí termostabilní polymery, což znamená, že jsou odolná vůči vysokým teplotám, a také mají dobrou odolnost vůči rozpouštědlům a chemikáliím. Teprve při dlouhodobém vystavení lepidla teplotám nad 150 stupňů se jejich pevnost snižuje (29), (36).

Dokáží rovnoměrně rozložit napětí v celém spojeném souboru. Naopak mechanické spojovací prvky mají tendenci koncentrovat napětí. Pro ověření odolnosti spoje se provádějí některé testy na vzorcích: hlavními testy jsou zatížení smykem a zatížení loupáním. Lepidla, bez ohledu na typ, se chovají lépe při smykovém zatížení než při loupáním (30).



Obrázek 50: Smykové zatížení

Polyuretanová lepidla se vyrábějí reakcí nízkomolekulárního polymeru obsahujícího nejméně dvě koncové skupiny $-OH$ s diisokyanátem. Polymery mohou být polyethery, alifatické polyestery nebo polybutadieny. Základní chemická reakce je (31):



12.1.1 Jednosložková a dvousložková polyuretanová lepidla

Jednosložkové polyuretanové lepidlo se nanáší přímo na povrchy, které chceme spojit, a samo se zatvrdí během několika hodin, přičemž úplné vytvrzení nastane během několika dnů. Tento typ lepidla nachází uplatnění při konstrukčním lepení lepených lamel a spojováním spojů. Během reakce aktivních isokyanátových skupin v lepidle s vlhkostí dřeva se uvolňuje CO_2 , což může způsobit mírné pění lepidelné linie. Po vytvrzení je spoj odolný proti působení vody nebo vlhkého prostředí, což je důležité v případě materiálů, které mají být spojeny v místech, kde je vystavení vlhkosti nevyhnutelné.

Na druhou stranu, dvousložkové polyuretanové lepidlo vyžaduje smíchání polymeru a isokyanátu těsně před aplikací na povrchy, které chceme spojit. Tento proces umožňuje přesnější kontrolu nad aplikací a reakcí lepidla. Výsledná lepidelná linie obvykle dosahuje vysoké odolnosti vůči vlhkosti a vodě (32). Nabízejí rychlejší vytvrzení než jednosložková polyuretanová lepidla a dosahují vyšší konečné pevnosti, avšak vyžadují opatrnější manipulaci a aplikaci (33).

12.2 Epoxidová lepidla:

Další zajímavou alternativou při volbě lepidla pro konstrukce s CLT panely jsou epoxidová lepidla. Epoxidová lepidla se skládají především z epoxidové pryskyřice a tvrdidla. Doplnkově lze přidat plastifikátor a další přísady, včetně silanového spojovacího tvrdidla a barviva, podle potřeby. Epoxidové pryskyřice

se převážně vyrábějí reakcí aktivního vodíku z fenolů, alkoholů, aminů a kyselin s epichlorhydrinem, běžně zkráceně označovaným jako ECH, za pečlivě regulovaných podmínek (34).

Epoxidová lepidla přinášejí celou řadu výhodných vlastností, které je činí atraktivními volbami pro mnoho aplikací. Jejich vynikající mechanické vlastnosti spočívají v pevné kohezivitě a kompaktní chemické struktuře epoxidové pryskyřice. Během vytvrzování epoxidů dochází k minimálnímu smrštění objemu, což vede k nízkému vnitřnímu napětí a zajišťuje stabilitu spoje. Zpracovatelnost epoxidových lepidel je vynikající, přičemž během procesu vytvrzování se téměř neuvolňují žádné nízkomolekulární těkavé látky. Díky absenci kontaminantů, jako je sůl a alkálie, a jejich vynikající stabilitě se nezhoršují ani s průběhem času. Kromě toho epoxidová lepidla obecně prokazují vysokou odolnost vůči teple (34).

12.3 Lepidla na bázi melaminu (močoviny) formaldehydu

Adheziva na bázi melaminu formaldehydu (MF) a melaminu močoviny formaldehydu (MUF) patří do skupiny polykondenzačních adheziv, které momentálně dominují trhu s lepidly pro dřevo. MF a MUF lepidla jsou vícesložková lepidla, která vyžadují tvrdidlo pro vytvrzení. Tyto lepidla pro lepení dřeva se vytvrzují odpařováním vody. Adheziva na bázi melaminu poskytují dřevu lepidelné linie s vylepšenou odolností vůči vodě. Navíc zejména adheziva MUF mají přirozenou odolnost proti ohni a mohou být, proto použita pro lepení dřeva i v náročných prostředích. MF a MUF lepidla obsahují formaldehyd, který je v některých případech látkou, od které by se mělo upustit kvůli emisím způsobeným jeho přítomností (36).

12.4 Lepidla na bázi fenolu, resorcinu a formaldehydu

Adheziva na bázi fenolu, resorcinolu a formaldehydu (PRF) se také vytvrzují polykondenzací a jsou vícesložkové systémy. PRF lepidla vytvářejí tmavě zbarvené lepidelné linie, které jsou extrémně pevné a odolné jak vůči počasí, tak vůči vodě.

Adheziva na bázi fenolu, resorcinolu a formaldehydu patří mezi nejběžnější lepidla používaná pro lepení dřeva v nosných i nenosných konstrukcích (36).

12.5 Alternativní proteinová lepidla

Studentka ze třetího ročníku doktorského studia na Univerzitě Laval v Kanadě byla oceněna za originální výzkum, který se zabýval tématem "Biologicky založená lepidla přizpůsobená pro křížově lamelové dřevěné desky (CLT)". Její výzkum si klade za cíl prozkoumat nové způsoby nahrazování petrochemikálií, jež jsou tradičně používány při vývoji lepených panelů (CLT). Konkrétně se studentka zaměřovala na využití recyklovaných biologicky založených proteinových materiálů, jako je sójová mouka, odpadové zrno z pivovaru, sušené mléko ve spreji, a dokonce i krunýře krevet.



Obrázek 51: Krunýře krevet



Obrázek 52: Sójová mouka



Obrázek 53: Sušené mléko



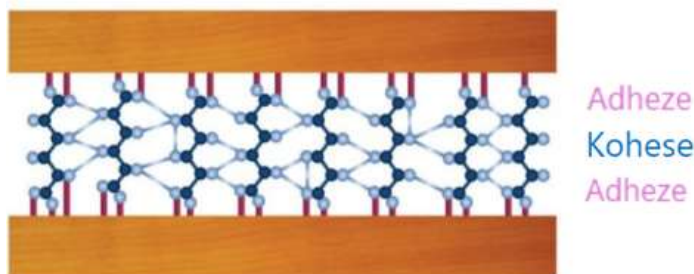
Obrázek 54: Odpadové zrno z pivovaru

Výsledky naznačují, že začlenění proteinů do polyuretanového lepidla může nejen zachovat, ale také zlepšit výkonnost lepidla. Tento efekt zahrnuje hlubší pronikání do dřevěných substrátů a celkové zvýšení mechanické pevnosti. Tyto výsledky zdůrazňují slibný potenciál proteinů jako udržitelné alternativy k petrochemickým polyolům ve složení lepidel. Mezi další výhody patří, že CLT s biologickými lepidly má lepší profil životního cyklu, neboť se kompletně rozkládá na konci svého použití, na rozdíl od CLT s petrochemikáliemi.

Tento typ lepidla představuje pro náš ekosystém pozitivní přínos, neboť nenesou žádné negativní dopady. Tradiční petrochemická lepidla často představují riziko pro životní prostředí svými emisemi a obtížnou likvidací. Naopak, biologicky založená lepidla, jak naznačují výsledky uvedené v této studii, se ukazují jako udržitelná alternativa, která minimalizuje škodlivý dopad na přírodu. Díky důrazu na využití obnovitelných zdrojů a ekologicky šetrných materiálů se tento výzkum stává klíčovým prvkem ve snaze o transformaci stavebního průmyslu směrem k udržitelnosti. Poskytuje nám konkrétní návody a inspiraci pro vytváření budov a infrastruktury, které minimalizují svůj negativní dopad na životní prostředí a přispívají k budování zelenější a zdravější budoucnosti (35).

12.6 Proces lepení CLT panelu

Lepení CLT panelů probíhá za studena pod vysokým tlakem a lze ho provádět dvěma způsoby. Prvním způsobem je lepení pouze mezi jednotlivými sousedními vrstvami, přičemž lamely v rámci jedné vrstvy nejsou vzájemně lepeny. Druhým způsobem je lepení jak mezi jednotlivými sousedními vrstvami, tak vzájemné lepení lamel na kratší hraně (19).



Obrázek 55: Adhezní a kohezní síly na dřevěných površích

13. Nové poznatky o chování CLT panelu při kombinovaném ohybu tlaku

Při konstrukci a návrhu dřevěných konstrukcí, zejména Cross-Laminated Timber (CLT) panelů, je důležité porozumět jejich chování při různých typech zatížení. Nedávné studie odhalily zajímavé vlastnosti smykového napětí v CLT panelech, které jsou podrobeny kombinovanému ohybu a tlaku.

Zjištěno bylo, že smykové napětí není v CLT panelech rozloženo rovnoměrně mezi jednotlivé podélné vrstvy, jak by se mohlo očekávat. Namísto toho sleduje exponenciální zákon, který se mění v závislosti na délce panelu. Toto napětí dosahuje své nejvyšší hodnoty na koncích CLT trámů. Čím je panel tlustší a obsahuje více podélných vrstev, tím jsou síly a momenty vyvolané smykovým posuvem větší.

Tyto nové poznatky mají zásadní důsledky pro návrh a konstrukci CLT panelů. Například, běžné předpoklady o chování CLT trámů, jak jsou definovány v projektových normách, jsou nyní zpochybňovány. Klasický předpoklad podle Euler-Bernoulliho, který se používá pro výpočty CLT trámů, je třeba přehodnotit s ohledem na tyto nové poznatky.

Experimentální studie také odhalily, že existují dva hlavní způsoby selhání CLT trámů při kombinovaném ohybu a tlaku. Buď dochází k rozdrčení laminátu na straně pod tlakem, nebo k prasknutí laminátu na straně pod tahem. Překvapivě nebyly pozorovány žádné smykové trhliny v příčných vrstvách CLT panelů před finálním selháním, což naznačuje, že tyto vrstvy mohou udržet svou elasticitu až do okamžiku selhání (41).

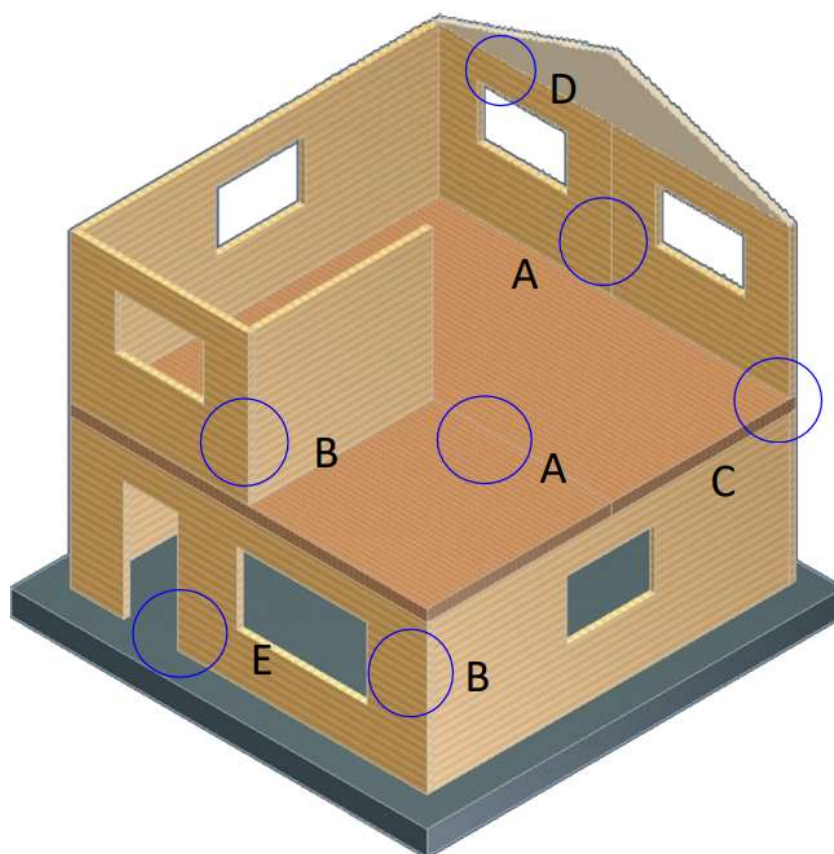
Tyto nové poznatky jsou důležitým přínosem pro inženýry a architekty, kteří se zabývají návrhem dřevěných konstrukcí, a mohou vést k lepšímu a bezpečnějšímu využití CLT panelů ve stavebnictví. Je však třeba provést další studie a ověření, aby bylo možné tyto poznatky plně začlenit do praxe.



Obrázek 56: Typický způsob selhání

14. Spoje v konstrukcích z CLT

V této části se zaměříme na problematiku spojů při realizaci konstrukcí s CLT panely. V současném kontextu je nezbytné si uvědomit, že správné navrhování spojů má klíčový vliv na celkovou stabilitu konstrukce. Konstrukce, které disponují detailně promyšlenými spoji, často přinášejí významné výhody, jako je nižší finanční nákladnost a zjednodušená výroba a montáž. Naopak, nedostatečně promyšlené nebo chybné detaily spojení CLT mohou vést k nadměrným nákladům a složitostem při konstrukci. V následujícím obrázku jsou naznačeny oblasti, kde se používají principy spojů ve vícepodlažní budově s CLT, které následně budeme analyzovat pouze spoj panelu detail A.



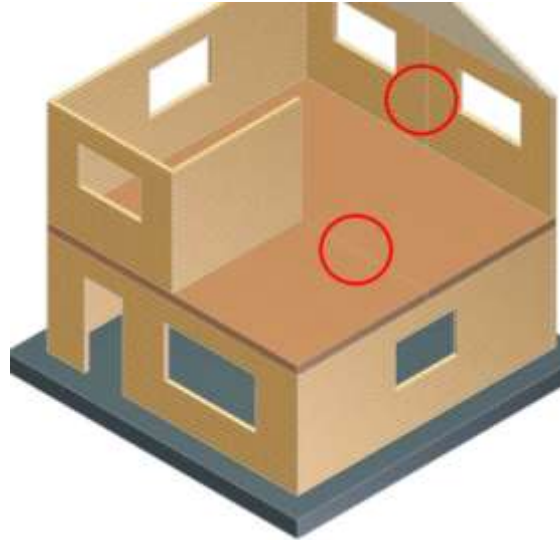
Obrázek 57: Typická dvoupodlažní budova z CLT s vyznačením různých míst vyžadujících

- Připojení v rovině (detail A)
- Rohové spoje (detail B)
- Připojení ke stěně (detail C)
- Spojení stěny se střechou (detail D)
- Spojení steny se základem (detail E)

14.1 Připojení v rovině (detail A)

Jedná se o základní spojení podél okrajů panelů ve stěnách nebo podlahách orientovaných v jedné rovině. Vzhledem k výrobním a dopravním omezením souvisejícím s velikostí panelu, který lze dodat na staveniště, se panely obvykle spojují až na místě. Proto je žádoucí, aby spoje umožňovaly snadnou a rychlou montáž konstrukce. Několik variant pro připojení v rovině jsou popsány níže.

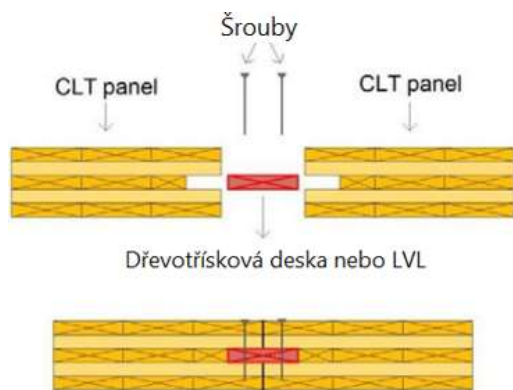
14.1.1 Vnitřní drážkování



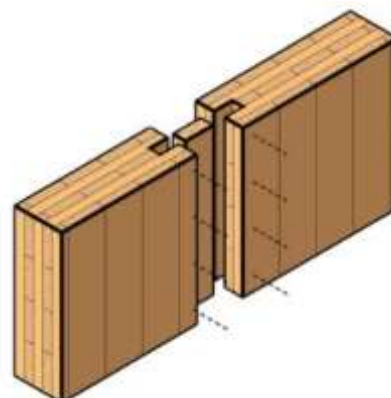
Obrázek 58: Typická dvoupodlažní budova z CLT s vyznačením připojení v rovině

Vnitřní drážkování může být provedeno různými materiály, jako je dřevotříska (plywood) nebo dřevěná lamela (LVL), což umožňují flexibilitu při návrhu konstrukce. Před dodáním na stavbu je nutné profilování panelu v továrně. Drážkování mezi hranami panelu lze připevnit pomocí samosvorných šroubů, dřevěných šroubů, hřebíků nebo kolíků. Výroba vyžaduje přesné profilování a montáž dílů na místě může být náročná. Výhodou tohoto spoje je však vysoká boční odolnost (spojovací prvky jsou schopny odolat tlakovým a tahovým silám, které se vyskytují ve směru kolmém na rovinu panelu), protože spojovací prvky jsou zatíženy dvojím smykem. Existují i další výhody týkající se odolnosti proti normálovým nebo mimorovinným silám, což je důležité zejména v konstrukcích vystavených různým zatížením. V případě potřeby lze kromě mechanických spojovacích prvků použít také konstrukční lepidlo, aby se zajistila větší tuhost spoje. Vnitřní drážkování umožňuje efektivní přenos sil mezi panely, což je velmi nezbytné pro celkovou spolehlivost a stabilitu konstrukce. Další výhodou při vnitřním drážkování u CLT panelů je, že představuje skvělou možnost pro

estetické zlepšení interiéru, jelikož spoj není viditelný na povrchu podlahy nebo stěny. Díky tomu může interiér působit jednotně a plynule, bez rušivých viditelných spojů. Schéma jednoho vnitřního drážkování je znázorněno na obrázku níže (42).



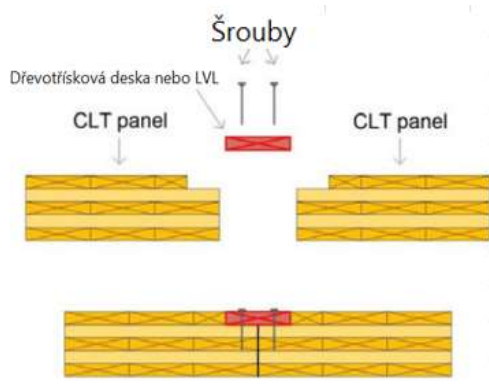
Obrázek 59: Vnitřní drážkování řez



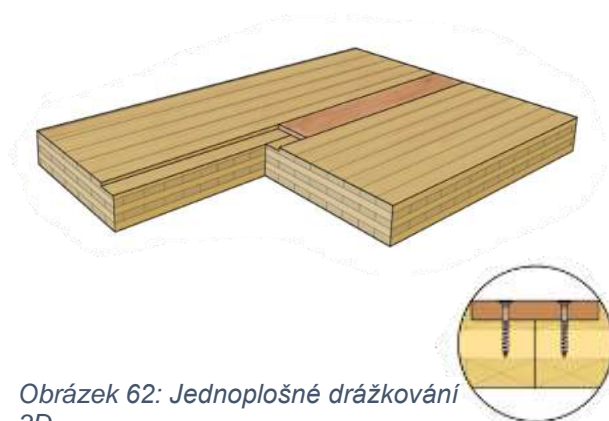
Obrázek 60: Vnitřní drážkování 3D

14.1.2 Drážkování jednoho povrchu

Jedná se o poměrně jednoduché spojení, které lze rychle sestavit na místě. Příčná odolnost tohoto spoje obvykle je nižší než u vnitřního drážkování. Důvodem je, že při této metodice spojování panelů, spojovací prvky, jako jsou vruty, hřebíky nebo trny, jsou umístěny na povrchu panelů a vystaveny síle působící přímo kolmo k rovině spoje. Tento jednoduchý smyk je méně účinný při přenášení sil než vnitřní drážky, které umožňují spojovacím prvkům působit výrazněji do hloubky materiálu. V procesu výroby jsou panely CLT podél okrajů profilovány tak, aby se do nich vešly pásy nebo drážky překližky. Tento jednoduchý spoj se často používá ke spojení podlahových panelů. Pro zvýšení tuhosti lze v tomto spoji použít také konstrukční lepidlo (42).



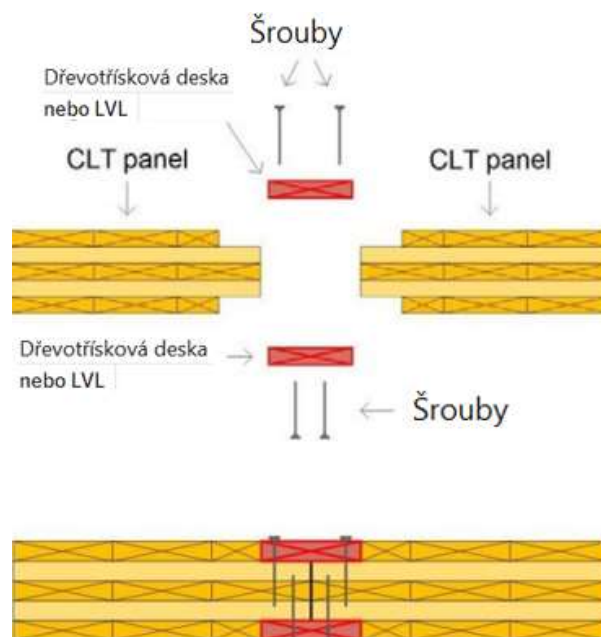
Obrázek 61: Jednoplášné drážkování řez



Obrázek 62: Jednoplášné drážkování 3D

14.1.3 Dvojité povrchové drážkování

Tento spoj je podobný spoji s jedním povrchovým drážkováním s tím rozdílem, že na opačnou stranu panelů je přidáno druhé drážkování, které zvyšuje pevnost a tuhost spoje. Vzhledem k tomu, že jsou použity dvě sady spojovacích prvků, což vede ke zdvojnásobení počtu smykových rovin odolávajících zatížení, lze dosáhnout vyšší odolnosti. Tento spoj však vyžaduje více obrábění a více času na montáž, protože je třeba upevnit drážky na obou stranách panelů. V tomto spoji by se také mohla použít konstrukční lepidla pro zvýšení tuhosti (42).

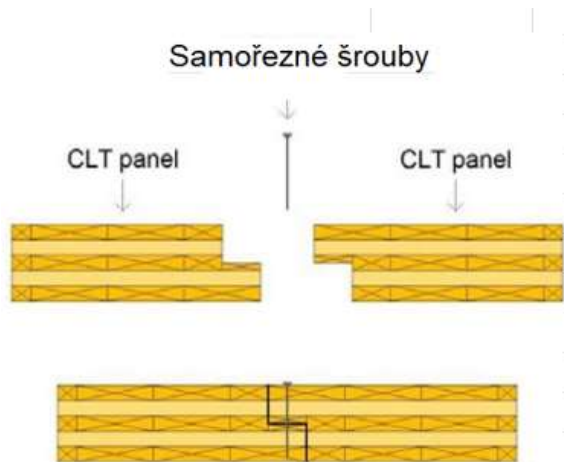


Obrázek 63: Dvojitý povrchový drážkování

14.1.4 Půlkruhový kloub

Tento spoj se běžně používá pro plošné spoje ve stěnách a podlahách. Polodrážky jsou podél okrajů panelů vyfrézovány ve výrobním procesu a na stavbě se ke spojení panelů běžně používají dlouhé samořezné šrouby. Tento spoj může odolávat smykovým a normálovým silám v rovině, ale nepovažuje se za spoj odolávající momentům. Ačkoli se jedná o velmi jednoduchý spoj, který usnadňuje rychlou montáž, existuje riziko rozštěpení průřezu v důsledku koncentrace napětí v tahu. To je rizikové zejména v případě, že může dojít k nerovnoměrnému zatížení podlahových prvků (Augustin, 2008). Další nevýhodou

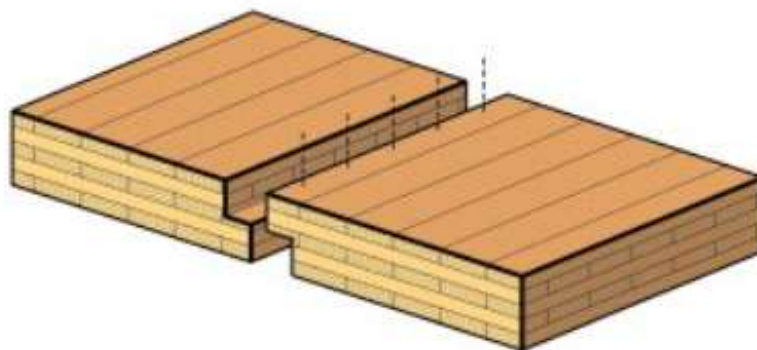
je ztráta vláken a zmenšení šířky panelu ve srovnání s jinými typy spojů (tj. povrchovými nebo vnitřními drážkami) (42).



Obrázek 64: Půlkruhový kloub



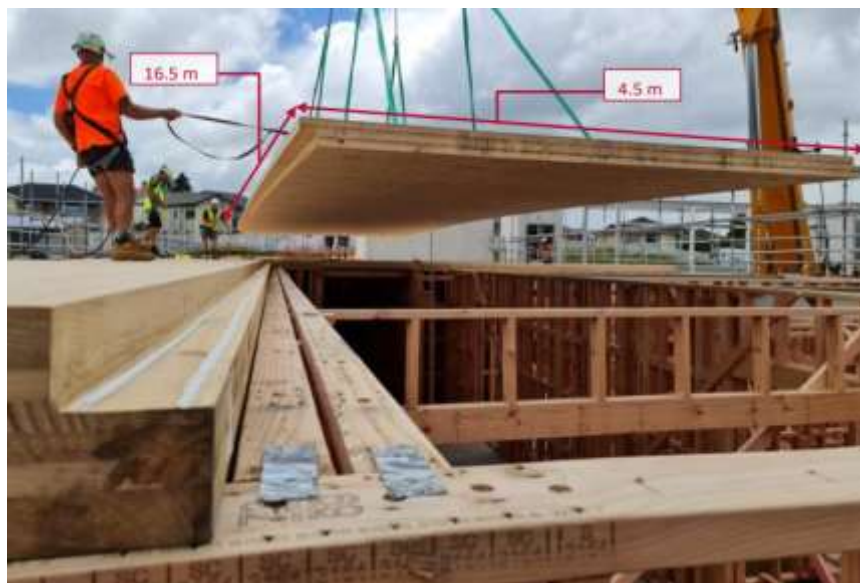
Obrázek 65: Půlkruhový kloub fotografie



Obrázek 66: Půlkruhový kloub 3D

15. Efektivita a rychlá montáž CLT panelů.

Jedním z hlavních benefitů CLT panelů je jejich rychlá a efektivní montáž, což je zvláště významné ve stavebnictví. Tento fakt především souvisí s přesnou výrobou CLT panelů v továrně s vysokou přesností a s vytvořením otvorů pro okna a dveře, což minimalizuje nutnost úprav na staveništi. Při stavbě CLT panelů není potřeba bednění ani různých typů vyztužení, které jsou typické pro železobeton, což značně zrychluje jeho proces výstavby. Betonové rámy lze postavit rychlostí přibližně 500 m² týdně, zatímco CLT je obvykle instalováno o 25-45 % rychleji (44).



Obrázek 67: Montáž CLT panelu

Díky své lehkosti jsou CLT panely snadno manipulovatelné, což výrazně urychluje proces jejich instalace. Tato charakteristika má významnou výhodu, neboť značně snižuje počet pracovníků potřebných k montáži o přibližně 50-70 % než při použití betonu. To vede k celkovému snížení nákladů výstavby. Tím se zlepšuje ekonomická i časová efektivita projektů, čímž přináší významné benefity jak pro developery, tak pro vlastníky nemovitostí a další účastníky výstavby.

Snadná manipulace s CLT panely umožňuje i větší flexibilitu při navrhování a stavbě, což může vést k inovativnějším a efektivnějším architektonickým řešením. Celkově lze konstatovat, že použití CLT panelů přináší mnoho výhod, které posilují atraktivitu tohoto stavebního materiálu na trhu (44).



Obrázek 68: Snížení počet personálu o 50-70 % při aplikaci CLT panelu

16. Stavební objekty z CLT panelu využívané ve stavebnictví

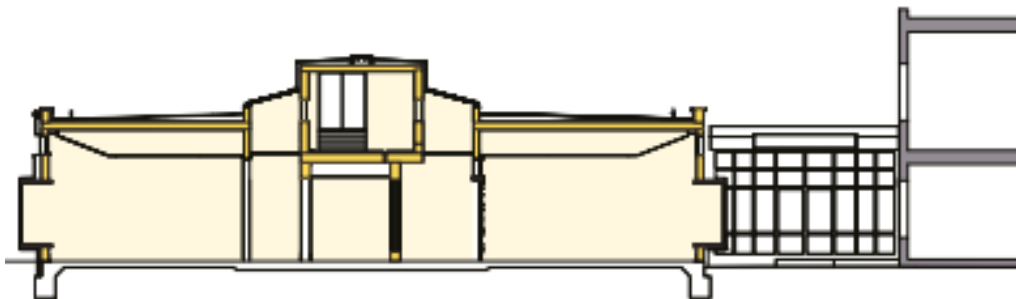
16.1 Centrum péče o novorozence “Dyson“

Centrum péče pro novorozence Dyson představuje první využití masivních lepených dřevěných panelů v rámci zdravotnického prostředí. Tento jednopatrový objekt byl navržen s cílem podpořit poskytování prostoru a soukromí rodičům pro interakci s jejich dětmi. Dispozice je koncipována tak, aby byla srozumitelná pro uživatele, a to s jasným, spirálovým průchodem kolem centrálního pracovního základu.

Stavební objekt byl navržen tak, aby poskytoval prostory s velkým množstvím denního světla, čímž se minimalizuje závislost na umělém osvětlení. Denní světlo vytváří vynikající pracovní prostředí ve spojení s dřevem a zároveň umožňuje dětem rozvíjet povědomí o denním cyklu.

Jelikož jsou CLT panely odkryté v interiéru v objektu, vytváří pocit příjemného prostředí. Tyto prvky přispívají k estetickému dojmu, který napomáhá vytvoření prostředí vhodného pro zotavení a péči. Spolu s kvalitním denním světlem pomáhají snižovat úroveň stresu a přispívají k pozitivní atmosféře, která ovlivňuje jak rodiče, tak i personál a léčené novorozence.

Pro výstavbu tohoto objektu bylo zapotřebí 52 týdnů a celková cena realizace činila 3 miliony liber (44).



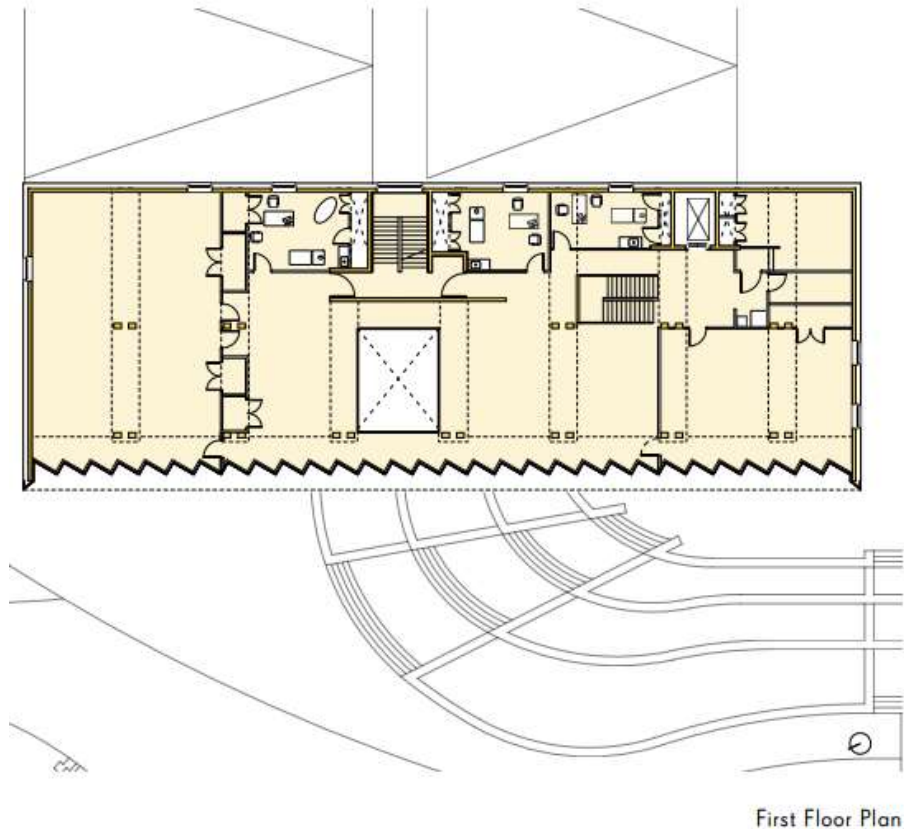
Obrázek 69: Zdravotnické zařízení – Řez



Obrázek 70: Interiér

16.2 Moderní fitness centrum

Jedná se o první dřevěný fitness sál ve Velké Británii. Moderní fitness centrum, postavené s použitím CLT panelů, exceluje svou svěžestí a praktickým uspořádáním. První pohled upoutá na esteticky působivou strukturu stěn, zdůrazňující přirozenou krásu dřeva, která je charakteristická pro CLT panely. Ty nejenže dodávají prostoru jedinečný vizuální ráz, ale zároveň poskytují masivní podporu centra. Díky širokým proskleným plochám vypadá interiér světle a otevřeně, propouštějící dostatek denního světla a vytvářející příjemnou atmosféru pro cvičení. Použití CLT panelů zajišťuje nejen estetickou atraktivitu, ale také pevnost a stabilitu, což je klíčové pro stavbu, která musí odolávat nárokům cvičících a zároveň být dlouhodobě spolehlivá a bezpečná. Interně jsou posilovny propojeny pomocí dřevěného schodiště, které spojuje tři patra. Pro realizaci tohoto objektu bylo zapotřebí 20 týdnů a celková cena činila 7 milionů liber (44).



Obrázek 71: Půdorys fitness centra



© Alex de Rijke / dRMM



© Alex de Rijke / dRMM

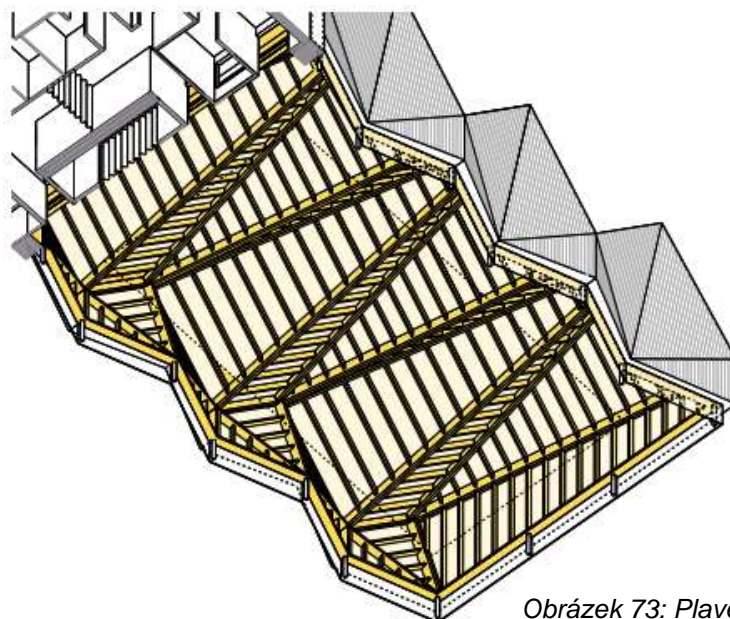


Obrázek 72: Interiér fitness centra

16.3 Plavecká hala

Plavecká hala je inovativním projektem postaveným z CLT (Cross-Laminated Timber), který poskytuje komplexní vybavení včetně čtyř drah bazénu, šaten, posilovny a fitness. Její architektonický design, založený na geometrii střechy, není pouze estetickým prvkem, ale má také praktický význam. Skládá se z tří složených střešních segmentů, které se otevírají dozadu. Její jedinečný tvar a geometrie střechy mají akustické vlastnosti, které slouží k potlačení vysoké ozvěny zvuku. Tato akustická vlastnost je klíčová pro poskytnutí klidného prostředí pro uživatele haly, ať už se jedná o plavce, návštěvníky v šatnách nebo cvičící ve fitness. Díky použití CLT je hala nejen pevná a stabilní, ale také má příjemnou estetiku dřeva, což přispívá k celkovému pocitu pohody a komfortu. Okna propouštějí dostatek denního světla, čímž vytvářejí pozitivní atmosféru a přispívají k příjemnému prostředí pro všechny uživatele. Svému účelu plně vyhovuje jako moderní a funkční zařízení, které splňuje potřeby a očekávání uživatelů, a to v souladu s nejnovějšími standardy udržitelnosti a architektonického designu.

Předvýrobní střešní struktura byla navržena kolem maximální velikosti, kterou lze dodat na stavbu na nákladním autě. Každý ze 12 trojúhelníkových modulů trámů byl vyroben mimo místo stavby a doručen na místo přesně včas. Pro realizaci tohoto objektu bylo zapotřebí 65 týdnů a celková cena činila 8 milionů liber (44).



Obrázek 73: Plavecká hala-model



Obrázek 74: Fotodokumentace

17. Závěr

Křížem vrstvené dřevo, ačkoli je stále na počátku své existence, již nyní prokázalo, že je to materiálem budoucnosti díky svým ekologickým, ekonomickým a technickým výhodám, což z něj činí atraktivní alternativu k tradičním stavebním materiálům. K jeho exponenciálnímu vývoji v posledních letech přispělo mnoho zkoušek a testů, které přispívají k jeho neustálému zlepšování a zdokonalování. Díky těmto rozsáhlým výzkumům a neustálému vývoji může CLT dosáhnout vyšší úrovně kvality a spolehlivosti. Křížem vrstvené dřevo nejenže nabízí vynikající technické vlastnosti, ale také vytváří krásné interiéry a exteriéry, což má pozitivní vliv na celkový design budov. V důsledku toho se CLT stává stále atraktivnější volbou pro různé stavební projekty, čímž posiluje svou pozici na trhu a představuje významný krok vpřed v moderním stavebnictví.

18. Seznam zdrojů

(1) Archaeologists discover world's oldest wooden structure. Online. UNIVERSITY OF LIVERPOOL. 2023. Dostupné z: <https://news.liverpool.ac.uk/2023/09/20/archaeologists-discover-worlds-oldest-wooden-structure/>. [cit. 2024-03-05].

(2) Archeologové našli nejstarší dřevěnou stavbu. Vznikla statisíce let předtím, než se na Zemi objevil Homo sapiens. Online. Č24. 26-9-2023. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/clanek/veda/archeologove-nasli-nejstarsi-drevenou-stavbu-vznikla-statisice-let-predtim-nez-se-na-zemi-objevil-ho-920>. [cit. 2024-03-05].

(3) Terra Amata Shelter. Online. Smithsonian National Museum of National History. 29-6-2022. Dostupné z: <https://humanorigins.si.edu/evidence/behavior/hearths-shelters/terra-amata-shelter>. [cit. 2024-03-05].

(4) V Česku stále vítězí cihly. Roste ale i obliba dřevostaveb. Online. Seznam Zprávy. 5-2-2022. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/fakta-v-cesku-vitezi-crihly-drevostavbam-lide-neduveruji-hlavne-z-jednoho-duvodu-187522>. [cit. 2024-03-06].

(5) Zdroj :CLT Handbook (Kapitola 1)

(6) Co je CLT ? CLT CZECHIA [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.cltcz.info/o-produktu/>

(7) Co je CLT ? (CROSS LAMINATED TIMBER). Futurami [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.futurami.cz/co-je-clt/>

(8) Křížem lepené dřevo (CLT)/Výhody navrhování a výstavby z materiálu CLT. Online. Storaenso. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/cs-cz/products/mass-timber-construction/building-products/clt#T68e15e43-1f51-4df8-b48d-7f8a753dd1b0>. [cit. 2024-03-14].

(9) CLT panely pro rodinné domy i komerční objekty. Jaké jsou jejich vlastnosti a limity? [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.tvbydleni.cz/clanek/clt->

[panely-pro-rodinne-domy-i-komerčni-objekty-jake-jsou-jejich-vlastnosti-a-limity/#:~:text=Jak%C3%A9%20jsou%20jejich%20vlastnosti%20a%20limity%3F%201%20Vlastnosti,panel%C5%AF%20...%203%20P%C5%99%C3%ADstavby%20z%20CLT%20panel%C5%AF%20](#)

(10) CO JE CLT? (CROSS LAMINATED TIMBER). Futurami [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.futurami.cz/co-je-clt/>

Vlastnosti CLT [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://m.tzb-info.cz/drevostavby/17481-ohybova-tuhost-vybranych-clt-panelu?fbclid=IwAR11qVPO-EqBB4mKK_aqEchvCWojLBvPbpQmQflhKpU0Dz8BosxWHAXDHP0

(11) *Crosslam timber / CLT- Fire resistance and rating* [online]. [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-fire-resistance-and-rating/>

(12) Zdroj:CLT Handbook (Kapitola 8-Požar)

(13) Požární odolnost CLT panelů Zdroj. Online. Dřevostavitel. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/clt-panely>. [cit. 2024-03-22].

(14) Plánování staveb z CLT panelu (Časopis)

(15) *Sádrovláknité desky fermacell* [online]. [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.fermacell.cz/cz/produkty/sadrovlaknité-desky/sadrovlaknité-desky>

(16) Vakuo-tlaková impregnace. *Bochemit* [online]. [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: <https://www.bochemit.eu/cs/o-impregnaci/metody-impregnace/vakuo-tlakova-impregnace/a-94/#:~:text=Vakuo-tlakov%C3%A1%20impregnace%201%20Tato%20metoda%20je%20zejm%C3%A9na%20vhodn%C3%A1,z%C3%A1le%C5%BE%C3%AD%20na%20proimpregnovatelnosti%20%28propustnosti%29%20d%C5%99evin.%20...%20Dal%C5%A1%C3%AD%20polo%C5%BEky>

(17) What you need to know about automatic fire sprinkler systems. *Warringtonfire* [online]. 11/ [cit. 2024-03-26]. Dostupné z: <https://www.warringtonfire.com/resources/what-you-need-to-know-about-automatic-fire-sprinkler-systems>

(18) CLT Handbook (Kapitola 10)

(19) M.Pavlas 2016

(20) [online]. [cit. 2024-03-29]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/stavba-odhlucneni-odvlhcneni-reakce-na-ohen/23021-akustika-staveb-i-zakladni-akusticke-pojmy-a-definice-a.html>

(21) Handbook CLT (kapitola 9 -Akustika)

(22) *The acoustic design implications of exposing CLT floor slabs* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://ateliercrescendo.ac/exposing-cross-laminated-timber-slabs/>

(23) Innovative solutions to improved sound insulation of CLT floors. *Science* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165922000515#sec2>

(24) Sustainable Cross-Laminated Timber Structures in a Seismic Area: Overview and Future Trends. Online. *Applied sciences*. 2021. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/5/2078>. [cit. 2024-03-30].

(25) *How does the climate impact of cross-laminated timber compare to steel or concrete?* Online. Climate Portal. 2023. Dostupné z: <https://climate.mit.edu/ask-mit/how-does-climate-impact-cross-laminated-timber-compare-steel-or-concrete>. [cit. 2024-04-07].

(26) Structural Engineering and Carbon Footprints of CLT Buildings. *Buildings and cities* [online]. 2022, 17/1/2022 [cit. 2024-04-08]. Dostupné z: <https://www.buildingsandcities.org/insig>

(27) *The hottest new thing in sustainable building is, uh, wood.* Online. VOX. 15/1/2022. Dostupné z: <https://www.vox.com/energy-and-environment/2020/1/15/21058051/climate-change-building-materials-mass-timber-cross-laminated-clt>. [cit. 2024-04-08].

(28) *A quick note on Carbon emissions in Construction and Light Weight.* Online. Lamella mmc. Dostupné z: <https://lamellammc.com/technical/what-is-clt-and-why-it-is-the-future-of-construction/>. [cit. 2024-04-08].

(29) *Polyurethane Adhesive/Three-Dimensional Printing, Wearables, Medical Textiles, Adhesives, and Coatings*. Online. Science Direct. 2022. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polyurethane-adhesive>.

Book :Vinny R. Sastri, in *Plastics in Medical Devices (Third Edition)*, 2022 [cit. 2024-04-15].

(30) *Polyurethane Adhesive/Polymer Matrix Composites*. Online. Science Direct. 2022. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polyurethane-adhesive>.

Book: M. REVELLINO, ... E. GAIERO, in *Comprehensive Composite Materials*, 2000 [cit. 2024-04-15].

(31) *Polyurethane Adhesive/What are adhesives and sealants and how do they work?* *Science Direct* [online]. 2022 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polyurethane-adhesive>

Book: John Comyn, in *Adhesive Bonding (Second Edition)*, 2021

(32) *Polyurethane Adhesive/What are adhesives and sealants and how do they work?* *Science Direct* [online]. 2022 [cit. 2024-04-15]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/polyurethane-adhesive>

Book : Fabien Choffat, ... Steffen Kelch, in *Advances in Structural Adhesive Bonding (Second Edition)*, 2023

(33) *Polyurethane Adhesive/Explore the versatile world of polyurethane adhesives – their composition, types, manufacturing process, and various applications*. Online. Nuclear-power. Dostupné z: <https://material-properties.org/polyurethane-adhesive/>. [cit. 2024-04-18].

(34) *Epoxy Adhesives*. Online. Iqsdirectory. Dostupné z: <https://www.iqsdirectory.com/articles/adhesive/epoxy-adhesives.html>. [cit. 2024-04-18].

(35) *Design of bio-based adhesives for cross-laminated timber (CLT)*. Online. CRMR Renewable Materials Research Centre. 15/1/2024. Dostupné

- (36) *CLT Wood*. Online. WIGO ECO-HOUSE. Dostupné z: <https://wigo.info/clt-timber#:~:text=CLT%20is%20created%20by%20bonding,the%20requirements%20of%20the%20project.&text=CLT%20panels%20are%20created%20in,of%20precision%20for%20interconnecting%20parts..> [cit. 2024-05-10].
- (37) *Z kulatiny po hotový panel: zákulisím výrobního procesu CLT panelu*. Online. Dřevo s stavby. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>. [cit. 2024-05-10].
- (38) *CLT: Manufacturing Process*. Online. Dostupné z: <https://www.construktclt.com/blog-posts/what-is-clt-the-future-of-sustainable-construction-cross-laminated-timber-a22kj-s747d>. [cit. 2024-05-10].
- (39) *Crosslam timber / CLT: Manufacturing process*. Online. Greenspec. Dostupné z: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/cross-laminated-timber-manufacturing-process/>. [cit. 2024-05-10].
- (40) *Behavior of cross-laminated timber panels during and after an ISO-fire: An experimental analysis*. Online. Science Direct. 23/3/2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123023000051#bib17>. [cit. 2024-05-01].
- (41) *Zdroj : Spent grain*. Online. Brewery wastewater design. September 23, 2014. Dostupné z: <https://brewerywastewater.com/spent-grain/>. [cit. 2024-04-18].
- (42) CLT Handbook (Kapitola 5)
- (43) Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: <https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/>. [cit. 2024-05-10].
- (44) Zdroj : 100 PROJECTS UK CLT

19. Seznam obrázků

- Obrázek 1:** [Starodávný dřevěný artefakt, který je starý přes 500 000 let](#) 1
Zdroj: Archaeologists discover world's oldest wooden structure. Online. UNIVERSITY OF LIVERPOOL. 2023. Dostupné z: <https://news.liverpool.ac.uk/2023/09/20/archaeologists-discover-worlds-oldest-wooden-structure/>. [cit. 2024-03-05].
- Obrázek 2:** [Vodopád Kalambo Fall -Severní Zambie](#) 2
Archaeologists discover world's oldest wooden structure. Online. UNIVERSITY OF LIVERPOOL. 2023. Dostupné z: <https://news.liverpool.ac.uk/2023/09/20/archaeologists-discover-worlds-oldest-wooden-structure/>. [cit. 2024-03-05].
- Obrázek 3:** [Archeologové ve výzkumu University Liverpoolu](#) 2
Archaeologists discover world's oldest wooden structure. Online. UNIVERSITY OF LIVERPOOL. 2023. Dostupné z: <https://news.liverpool.ac.uk/2023/09/20/archaeologists-discover-worlds-oldest-wooden-structure/>. [cit. 2024-03-05].
- Obrázek 4:** [Chyše Terra Amata kde žili naši předkové](#) 2
Zdroj: Terra Amata Shelter. Online. Smithsonian National Museum of National History. 29-6-2022. Dostupné z: <https://humanorigins.si.edu/evidence/behavior/hearths-shelters/terra-amata-shelter>. [cit. 2024-03-05].
- Obrázek 5:** [Chyše-Terra Amata Francie-Proces stavení](#) 2
Zdroj: Terra Amata. Online. Dostupné z: <https://cz.pinterest.com/pin/438889926166431859/>. [cit. 2024-03-05].
- Obrázek 6:** [Obrázek 6 Anketa Seznam.cz](#) 3
V Česku stále vítězí cihly. Roste ale i obliba dřevostaveb. Online. Seznam Zprávy. 5-2-2022. Dostupné z: <https://www.seznamzpravy.cz/clanek/fakta-v-cesku-vitezi-crihly-drevostavbam-lide-neduveruji-hlavne-z-jednoho-duvodu-187522>. [cit. 2024-03-06].
- Obrázek 7:** [Borovice](#) 5

CLT Wood. Online. WIGO ECO-HOUSE. Dostupné z: <https://wigo.info/clt-timber#:~:text=CLT%20is%20created%20by%20bonding,the%20requirements%20of%20the%20project.&text=CLT%20panels%20are%20created%20in,of%20precision%20for%20interconnecting%20parts..> [cit. 2024-05-10].

Obrázek 8: Smrk 6

CLT Wood. Online. WIGO ECO-HOUSE. Dostupné z: <https://wigo.info/clt-timber#:~:text=CLT%20is%20created%20by%20bonding,the%20requirements%20of%20the%20project.&text=CLT%20panels%20are%20created%20in,of%20precision%20for%20interconnecting%20parts..> [cit. 2024-05-10].

Obrázek 9: Modřín 6

CLT Wood. Online. WIGO ECO-HOUSE. Dostupné z: <https://wigo.info/clt-timber#:~:text=CLT%20is%20created%20by%20bonding,the%20requirements%20of%20the%20project.&text=CLT%20panels%20are%20created%20in,of%20precision%20for%20interconnecting%20parts..> [cit. 2024-05-10].

Obrázek 10: Spleení prken 7

How is CLT made? Online. WIGO ECO-HOUSE. Dostupné z: https://www.siga.swiss/global_en/knowledge/building-solutions/cross-laminated-timber-the-ultimate-guide-to-clt-and-how-to-protect-it#scroll-spy-8796e3bb-0125-46f5-9944-ac6253c42e64. [cit. 2024-05-10].

Obrázek: 11 Řezaná kulatina a uspořádání prken 7

Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: <https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/>. [cit. 2024-05-10].

Obrázek: 12 Prkna ve výrobních závodech 8

Z kulatiny po hotový panel: zákulisím výrobního procesu CLT panelu. Online. Dřevo s stavby. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>. [cit. 2024-05-10].

Obrázek 13: Vznikají desky 8

kulatiny po hotový panel: zákulisím výrobního procesu CLT panelu. Online. Dřevo s stavby. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba->

[drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel](https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel). [cit. 2024-05-10].

Obrázek 14: Lepení desek..... 9

Z kulatiny po hotový panel: zákulisím výrobního procesu CLT panelu. Online. Dřevo s stavby. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>. [cit. 2024-05-10].

Obrázek 15: Hydraulické lisování panelu 10

Z kulatiny po hotový panel: zákulisím výrobního procesu CLT panelu. Online. Dřevo s stavby. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>. [cit. 2024-05-10].

Obrázek 16: [Přebroušení panelu](#)..... 10

Z kulatiny po hotový panel: zákulisím výrobního procesu CLT panelu. Online. Dřevo s stavby. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>. [cit. 2024-05-10].

Obrázek 17: [Stroj CNC vytváří otvory v panelu](#) 11

Z kulatiny po hotový panel: zákulisím výrobního procesu CLT panelu. Online. Dřevo s stavby. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>. [cit. 2024-05-10].

Obrázek 19: [Vrstvy CLT panelu](#) 12

Zdroj CLT Handbook

Obrázek 20: [Rozměry panelu](#) 12

Technický popis produktu [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/cs-cz/products/mass-timber-construction/building-products/clt#T68e15e43-1f51-4df8-b48d-7f8a753dd1b0>

Obrázek 18: [Desky jsou položeny kolmo na sobě po 90 stupních](#) 12

Zdroj CLT Handbook

Obrázek 21: [Hloubka zuhelnatění po 30 minutách](#) 14

Požární odolnost. Online. Tzbinfo. Dostupné z: <https://m.tzb-info.cz/drevostavby/10314-pokrocile-metody-pro-navrhovani-konstrukci-z-clt>.

[cit. 2024-05-10].

Obrázek 22: [Návrh rychlosti zuhelnatění na základě očekávané hloubky zuhelnatění](#)..... 16

Zdroj CLT Handbook

Obrázek 23: Požární zkouška místnosti: CLT na Carletonově univerzitě v Ontariu ,Kanada..... 17

Zdroj CLT Handbook

Obrázek 24: [Odolnost konstrukce](#) 18

Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: <https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/>.

[cit. 2024-05-10].

Obrázek 25: [Celistvost](#) 19

Zdroj CLT Handbook

Obrázek 26: Izolace prvku 19

Zdroj CLT Handbook

Obrázek 27: [Graf zuhelnatění](#) 20

Behavior of cross-laminated timber panels during and after an ISO-fire: An experimental analysis. Online. Science Direct. 23/3/2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123023000051#bib17>

. [cit. 2024-05-01].

Obrázek 28: [Porovnání rychlostí zuhelnatění panelů CLT s a bez delaminace](#) 21

Behavior of cross-laminated timber panels during and after an ISO-fire: An experimental analysis. Online. Science Direct. 23/3/2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123023000051#bib17>

. [cit. 2024-05-01].

Obrázek 29: [Sádrokartonová deska](#) 23

Požární odolnost. Online. Bydlení.cz. Dostupné z: <https://www.bydleni.cz/clanek/Jak-a-cim-zateplit-koupelnu>. [cit. 2024-05-10].

<u>Obrázek 30: Tlaková impregnace dřeva</u>	24
Vakuo-tlaková impregnace. <i>Bochemit</i> [online]. [cit. 2024-03-25]. Dostupné z: https://www.bochemit.eu/cs/o-impregnaci/metody-impregnace/vakuo-tlakova-impregnace/a-94/#:~:text=Vakuo-tlakov%C3%A1%20impregnace%20%20Tato%20metoda%20je%20zejm%C3%A9na%20vhodn%C3%A1,z%C3%A1le%C5%BE%C3%AD%20na%20proimpr%20egnovatelnosti%20%28propustnosti%29%20d%C5%99evin.%20...%20Dal%C5%A1%C3%AD%20polo%C5%BEky	
<u>Obrázek 31: Řez CLT panelu</u>	26
Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 32: Uspořádání vrstevs bočním přtlakem</u>	27
Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 33: Rozložení lepidla</u>	27
Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 34: Hydraulický boční přtlak a vakuová membrána</u>	28
Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 35: Řez CLT panelu s dutinami a bez</u>	29
Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 36: CNC zařízení s možností přesného řezaní</u>	29

Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: <https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/>. [cit. 2024-05-10].

Obrázek 37: [Součinitele prostupu tepla](#)..... 30
M.Pavlas 2016

Obrázek 38: [Smáčení panelů CLT během výstavby](#)..... 31
Zdroj CLT Handbook

Obrázek 39: [Mechanismy sušení vlhčených CLT zahrnují vítr, slunce, teplotu a ohřátý/sušený vzduch mechanickými prostředky](#) 32
Zdroj CLT Handbook

Obrázek 40: [Rozdělení desek CLT a použití pružného prvku](#)..... 34
The acoustic design implications of exposing CLT floor slabs [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://ateliercrescendo.ac/exposing-cross-laminated-timber-slabs/>

Obrázek 41: [Skladba s CLT](#) 35
Zdroj CLT Handbook

Obrázek 42: [Původní prkno ze 38 mm smrku \(vlevo\) a identické prkno stlačené do desky o tloušťce 21 mm \(vpravo\)](#) 35
Zdroj : Innovative solutions to improved sound insulation of CLT floors. *Science* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165922000515#sec2>

Obrázek 43: [Aplikace elastické vrstvy](#) 36
Zdroj : Innovative solutions to improved sound insulation of CLT floors. *Science* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165922000515#sec2>

Obrázek 44: [CLT podlahy k testování: a\) těžké 2 × 60 mm 3-vrstvé panely s elastickou vrstvou mezi nimi a b\) standardní 130 mm 5-vrstvý panel](#) 37
Zdroj : Innovative solutions to improved sound insulation of CLT floors. *Science* [online]. [cit. 2024-03-30]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165922000515#sec2>

Obrázek 45: Objem ve m³ výroby křížově lepeného dřeva (CLT) v Evropě.(24)	37
.....	
Zdroj : Sustainable Cross-Laminated Timber Structures in a Seismic Area: Overview and Future Trends. Online. <i>Applied sciences</i> . 2021. Dostupné z: https://www.mdpi.com/2076-3417/11/5/2078 . [cit. 2024-03-30].	
Obrázek 46: Cyklus	39
.....	
Climate-positive products that build the future. Online. Bydlení.cz. SWEDISH WOOD. Dostupné z: https://www.swedishwood.com/wood-facts/about-wood/wood-and-sustainability/climate-positive-products-that-build-the-future/ . [cit. 2024-05-10].	
Obrázek 47: Těžba dřeva z lesa.....	40
.....	
Zdroj : <i>The hottest new thing in sustainable building is, uh, wood</i> . Online. VOX. 15/1/2022. Dostupné z: https://www.vox.com/energy-and-environment/2020/1/15/21058051/climate-change-building-materials-mass-timber-cross-laminated-clt . [cit. 2024-04-08].	
Obrázek 48: Ztělesněný uhlík dřevostaveb ve srovnání s betonovými a ocelovými budovami	41
.....	
Download Red Stag Guides Below. Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
Obrázek 49: Dopad na životní prostředí (CLT a železobeton)	41
.....	
Zdroj : M.Pavlas 2016	
Obrázek 50: Smykové zatížení	43
.....	
Zdroj: <i>Polyurethane Adhesive/Explore the versatile world of polyurethane adhesives – their composition, types, manufacturing process, and various applications</i> . Online. Nuclear-power. Dostupné z: https://material-properties.org/polyurethane-adhesive/ . [cit. 2024-04-18].	
Obrázek 51: Krunýře krevet	46
.....	
Zdroj: <i>Tygří krevety</i> . Online. Bidfood. Dostupné z: https://www.bidfood.cz/gastro/o-nas/novinky/tygri-krevety . [cit. 2024-04-18].	

- Obrázek 52: [Sójová mouka](#)** 46
 Zdroj : *What Is The Role Of Soy Flour In Baking Bread?* [online]. [cit. 2024-04-18]. Dostupné z: <https://www.busbysbakery.com/soy-flour-in-bread/>
- Obrázek 53: [Sušené mléko](#)** 46
 Zdroj : *How can I tell if powdered milk was made using the spray dried method from the drum type method?* Online. Quora. Dostupné z: <https://www.quora.com/How-can-I-tell-if-powdered-milk-was-made-using-the-spray-dried-method-from-the-drum-type-method>. [cit. 2024-04-18].
- Obrázek 54 : [Odpadové zrno z pivovaru](#)** 46
 Zdroj : *Spent grain*. Online. Brewery wastewater design. September 23, 2014. Dostupné z: <https://brewerywastewater.com/spent-grain/>. [cit. 2024-04-18].
- Obrázek 55: [Adhezní a kohezní síly na dřevěných površích](#)** 47
Nanocellulose in Heterogeneous Water-Based Polymerization for Wood Adhesives. Online. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2673-4176/3/1/12>. [cit. 2024-05-10].
- Obrázek 56: [Typický způsob selhání](#)** 48
Modeling of Cross-Laminated Timber (CLT) panels loaded with combined out-of-plane bending and compression. Online. Science Direct. 23/3/2023. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029621014504#f0010>. [cit. 2024-05-01].
- Obrázek 57: [Typická dvoupodlažní budova z CLT s vyznačením různých míst vyžadujících](#)** 49
 Zdroj CLT Handbook
- Obrázek 58: [Typická dvoupodlažní budova z CLT s vyznačením připojení v rovině](#)** 50
 Zdroj CLT Handbook
- Obrázek 60 : [Vnitřní drážkování 3D](#)** 50
Cross-Laminated Timber Structural Floor and Roof Design. Online. Structuremag. Dostupné z: <https://www.structuremag.org/?p=10054>. [cit. 2024-05-10].

<u>Obrázek 59 : Vnitřní drážkování řez</u>	51
Zdroj CLT Handbook	
<u>Obrázek 62: Jednoplošné drážkování 3D</u>	51
<i>Download Red Stag Guides Below.</i> Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 61 Jednoplošné drážkování řez</u>	51
Zdroj CLT Handbook	
<u>Obrázek 63: Dvojitý povrchový drážkování</u>	52
Zdroj CLT Handbook	
<u>Obrázek 64: Půlkruhový kloub</u>	53
Zdroj CLT Handbook	
<u>Obrázek 65 : Půlkruhový kloub fotografie</u>	53
Zdroj CLT Handbook	
<u>Obrázek 66: Půlkruhový kloub 3D</u>	53
<i>Cross-Laminated Timber Structural Floor and Roof Design.</i> Online. Structuremag. Dostupné z: https://www.structuremag.org/?p=10054 . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 67: Montáž panelu</u>	54
<i>Download Red Stag Guides Below.</i> Online. Redstagtimberlab. Dostupné z: https://redstagtimberlab.co.nz/products-services/cross-laminated-timber-clt/ . [cit. 2024-05-10].	
<u>Obrázek 68: Snižování počtu personálu o 50-70% při aplikaci CLT panelu</u>	54
100 PROJECTS UK CLT	
<u>Obrázek 69: Zdratnické zařízení</u>	55
100 PROJECTS UK CLT	
<u>Obrázek 70: Interier</u>	56
100 PROJECTS UK CLT	

Obrázek 71: Pudorys fitness centra	57
100 PROJECTS UK CLT	
Obrázek 72: Interie fitness centra	58
100 PROJECTS UK CLT	
Obrázek 73: Plavecka hala model	59
100 PROJECTS UK CLT	
Obrázek 74: Fotodokumentace	60
100 PROJECTS UK CLT	
Obrázek 75: Sprinklerové systémy	25
<i>SPRINKLER SYSTEM: LIGHT/ORDINARY/HIGH HAZARD.</i> Online. Dostupné z: https://www.ny-engineers.com/mep-engineering-services/sprinkler-services/sprinkler-system . [cit. 2024-05-17].	