

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Návrh realizace obytné dřevostavby
křížem lepeného dřeva pro trvalé užití**

Diplomová práce

Autor: Bohumil Zoufalík
Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Bohumil Zoufalík

Dřevěné konstrukce a stavby na bázi dřeva

Název práce

Návrh realizace obytné dřevostavby křížem lepeného dřeva pro trvalé užití

Název anglicky

Proposal for the realization of a residential wooden building with cross-glued wood for permanent use

Cíle práce

Cílem první části diplomového projektu je vypracování literárního rozboru oblasti provedení obytné dřevostavby z křížem lepeného dřeva pro trvalé užití z hlediska technologie výroby. Cílem druhé části je vypracování projektu ve stupni realizační dokumentace stavby pro trvalé užití dle stávajícího projektu či architektonické studie. Dalším cílem je zpracování výkresové dokumentace jako výstup pro výrobu dřevostavby včetně řešení vybraných konstrukčních detailů, řešených z hlediska technologie výroby. Součástí práce bude vypracování statického posudku konkrétního zvoleného konstrukčního prvku, třech detailů konstrukčních spojů, základní posouzení vybrané části objektu z hlediska stavební fyziky a rozpočet vybrané části pro realizaci objektu.

Metodika

V první části závěrečného diplomového projektu bude zpracování literárního rozboru oblasti technologie výroby panelů křížem lepeného dřeva pro obytné objekty pro trvalé užití. Bude vybrán projekt anebo architektonická studie návrhu objektu pro trvalé užití. Bude vypracován projekt ve stupni realizační dokumentace stavby, jejíž součástí bude technická zpráva, výkresová dokumentace jako výstup pro výrobu dřevostavby včetně funkčního řešení minimálně pěti vybraných konstrukčních detailů, řešených z hlediska technologie výroby, dokumentace vybraného konstrukčního prvku pro CNC a statický posudek konkrétního zvoleného konstrukčního prvku. Součástí práce pak bude základní posouzení vybrané části z hlediska stavební fyziky a z hlediska rozpočtu pro realizaci.

Červenec – srpen 2023:

- Literární rozbor problematiky výroby objektu.

Září – říjen 2023:

- Realizační dokumentace dřevostavby pro vybranou část na základě vzorového projektu či architektonické studie.

Říjen – prosinec 2023:

- Souhrnná technická zpráva.

Říjen 2023 – únor 2024:

- Výkresová dokumentace pro výrobu dřevostavby včetně funkčního řešení vybraných konstrukčních detailů.
- Statický posudek konkrétního konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů.
- Posouzení vybrané části objektu z hlediska stavební fyziky.
- Rozpočet vybrané části pro realizaci objektu.

Březen 2024:

- Prezentace kompletní závěrečné práce vedoucímu.

Duben 2024:

- Odevzdání závěrečné práce.



Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

Dřevostavba; křížem lepené dřevo; těžký skelet

Doporučené zdroje informací

- Borgström, E. Design of timber structures: Structural aspects of timber construction. SE 102 04 Stockholm: Swedish Forest Industries Federation, 2016. ISBN 978-91-980304-8-8
- Faherty, F.K. (1998). Wood Engineering and Construction Handbook. New York: McGraw Hill. ISBN-13: 978-0070220706
- Götz, K.H. Holzbau Atlas. Mnichov: Institut für Holzforschung und Holztechnik der Universität München, 2001.
- Kolb, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2. aktualizované vydání v České republice. Přeložil Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024740713
- Kuklík, P. Dřevěné konstrukce. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika. ISBN 8086769720
- Neufert, E., Neufert, P. Navrhování staveb: zásady, normy, předpisy o zařízeních, stavbě, vybavení, nárocích na prostor, prostorových vztazích, rozměrech budov, prostorech, vybavení, přístrojích z hlediska člověka jako měřítko a cíle. 2. české vyd., (35. německé vyd.). Praha: Consultinvest, 2000. ISBN 8090148662
- Newman, M. Design and Construction of Wood Framed Buildings, New York: McGraw-Hill Education, 1994. ISBN 978-0070463639
- Steiger, L. (2017). Basics Timber Construction. Birkhäuser. Basilej: ISBN-13: 978-3764381028
- Štefko, J., Reinprecht, L. Dřevěné stavby. Konstrukce, ochrana a údržba. Bratislava: Jaga Group, 2004. ISBN 8088905958
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 25. 6. 2023

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh realizace obytné dřevostavby křížem lepeného dřeva pro trvalé užití vypracoval samostatně pod vedením Ing. Přemysla Šedivky, Ph.D. a použil jsem jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze 5.4.2024

.....

Podpis autora

Poděkování

Rád bych využil této příležitosti a vyjádřil upřímné poděkování všem, kteří mi poskytli podporu, inspiraci a vedení během mé cesty při zpracování této diplomové práce. Bez Vašich příspěvků by tato práce nebyla možná a já si vážím Vaší neocenitelné role v tomto procesu.

Nejprve bych chtěl vyjádřit díky svému vedoucímu práce, Ing. Přemyslu Šedivkovi, Ph.D., za jeho odborné vedení, trpělivost a cenné rady, které mi pomohly utřídit myšlenky a směřovat mou práci k výsledkům.

Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za neustálou podporu, povzbuzení a trpělivost během mého studia. Vaše povzbuzení mi dávalo sílu pokračovat, když jsem čelil výzvám a náročným okamžikům.

Nesmím zapomenout na své kolegy a spolužáky, se kterými jsem měl možnost sdílet myšlenky, diskutovat problémy a společně hledat řešení. Vaše rozmanité pohledy a spolupráce byly pro mou práci nepostradatelné.

Abstrakt

Pro zpracování diplomové práce bylo vybráno téma „Návrh realizace obytné dřevostavby křížem lepeného dřeva pro trvalé užití“ a to jak v teoretické, tak i praktické části.

V rámci teoretické části je uvedena historie a problematiky řešení staveb z křížem vrstveného dřeva. V práci je přiblíženo samotné stavění staveb ze dřeva. Poté se v průběhu práce čtenář seznámí s problematikou výroby a vývoje konstrukcí křížem vrstveného dřeva. Dále dojde k seznámení se s vlastnostmi tohoto materiálu a poté i k řešení a způsobu možnosti jejich konstrukčních spojů. V neposlední řadě je možnost se seznámit v rámci práce s problematikou statických výpočtů těchto konstrukcí a jejich vlastností navázaných na stavební fyziku.

Nedílnou součástí této práce je praktická část, ve které byl zpracován návrh výrobní dokumentace spolu s vytvořením řešení detailů navrhované stavby. V praktické části je zpracováno statické posouzení vybraných částí stavby a vypracování posudků pro zjištění parametru v rámci prostupu tepla daných konstrukcí. V neposlední řadě je možnost nahlédnout na hrubý odhad ceny stavby dle stávajících cenových hladin.

Klíčová slova: Dřevostavba, křížem lepené dřevo, těžký skelet

Abstract:

For the elaboration of the diploma thesis the topic "The design of the realization of a residential wooden building of cross-laminated timber for permanent use" was chosen both in the theoretical and practical part.

In the theoretical part, the history and issues of the design of cross-laminated timber buildings are presented. The actual construction of timber buildings is presented in the thesis. Then, in the course of the thesis, the reader is introduced to the production and development of cross-laminated timber structures. Next, there will be an introduction to the properties of this material and then to the solution and method of their structural connection options. Last but not least, it is possible to get acquainted with the problems of static calculations of these structures and their properties related to building physics.

An integral part of this work is the practical part, in which the design of the production documentation has been prepared together with the creation of the solution of the details of the proposed building. Furthermore, in the practical part, it is possible to take into account the solution of the structural assessment of selected parts of the building and the development of assessments to determine the parameter within the heat transfer of the structures. Last but not least, it is possible to take into account the rough estimation of the construction price according to the current price levels.

Keywords: Wood construction, cross-glued wood, heavy skeleton

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam zkratk a značek | 11 |
| 1. Úvod..... | 12 |
| 2. Cíle práce | 13 |
| 3. Teoretická část..... | 14 |
| 3.1. Dřevo ve stavitelství | 14 |
| 3.1.1. Dřevo jako stavební materiál | 14 |
| 3.1.2. Konstruktivní systémy dřevostaveb | 16 |
| 3.1.3. Energetická efektivita staveb | 26 |
| 3.1.4. Udržitelný rozvoj | 27 |
| 3.2. Křížem vrstvené dřevo | 30 |
| 3.2.1. Základní popis CLT panelu | 30 |
| 3.2.2. Charakteristika panelu CLT | 32 |
| 3.2.3. Výroba CLT panelu | 37 |
| 3.2.4. Prvky křížem vrstveného dřeva | 41 |
| 3.3. Konstrukce CLT | 47 |
| 3.3.1. Konstruktivní spoje | 47 |
| 3.3.2. Mechanické vlastnosti | 50 |
| 3.3.3. Analytická metoda výpočtu CLT konstrukcí | 52 |
| 3.3.4. Stavební fyzika | 55 |
| 4. Metodika | 58 |
| 4.1.1. Popis problematiky | 58 |
| 5. Praktická část | 59 |
| 5.1. Výběr stávající studie | 59 |
| 5.2. Požadavky investora | 59 |
| 5.3. Urbanistické řešení | 60 |
| 5.4. Dispoziční a hmotové řešení | 60 |
| 5.5. Základní popis konstrukčních řešení | 61 |
| 5.6. Skladba konstrukčních částí | 63 |
| 5.6.1. Skladba obvodové stěny | 63 |
| 5.6.2. Skladba střešního pláště | 63 |
| 5.6.3. Skladba podlahy na terénu..... | 65 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6.4. Vnitřní nosná stěna | 66 |
| 5.6.5. Vnitřní příčky | 66 |
| 5.7. Statické řešení konstrukčních prvků | 66 |
| 5.8. Technické řešení objektu | 67 |
| 5.8.1. Vytápění, voda a větrání | 67 |
| 5.8.2. Elektroinstalace | 68 |
| 5.9. Výrobní dokumentace | 68 |
| 5.9.1. Obecně k vypracování dokumentace | 68 |
| 5.9.2. Dokumentace pro CNC | 69 |
| 6. Diskuze | 70 |
| 7. Závěr | 72 |
| 8. Zdroje | 74 |
| 8.1. Knižní zdroje: | 74 |
| 8.1.1. Webové zdroje: | 75 |
| 8.2. Odborné články a publikace | 78 |
| 8.3. Normy: | 80 |
| 9. Seznam obrázků, grafů a tabulek | 81 |
| 9.1. Seznam obrázků | 81 |
| 9.2. Seznam grafů | 81 |
| 9.3. Seznam tabulek | 81 |
| 10. Seznam příloh | 82 |

Seznam zkratk a značek

| | |
|-----|---|
| CLT | Cross Laminated Timber – Křížem lepené dřevo |
| EED | Energeticky efektivní dům |
| TZB | Technické zařízení budov |
| IPR | Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy |
| ČSN | Česká technická norma |
| EN | Evropská norma |
| TNI | Technické normalizační informace |
| CNC | Computer numerical control |
| PUR | Polyuretan |

1. Úvod

V dnešní době, kdy stavebnictví čelí narůstajícím výzvám ohledně udržitelnosti, energetické efektivity a ekologického dopadu, hledají architekti, inženýři a designéři nové a inovativní způsoby vytváření stavebních objektů. V tomto kontextu se dřevo stává stále atraktivnějším materiálem díky svým mechanickým vlastnostem, estetice a nízké environmentální zátěži.

Obytné dřevostavby nabízejí jedinečný způsob spojení moderního životního stylu s ekologickým a udržitelným přístupem. Tato práce se zaměřuje na návrh realizace obytné dřevostavby křížem lepeného dřeva pro trvalé užití. Křížem lepené dřevo neboli CLT, z anglického Cross Laminated Timber se stalo v posledních letech zásadním prvkem v moderním stavebnictví díky svým inovačním vlastnostem a schopnosti reagovat na aktuální výzvy. Konstruktivní systém CLT spočívá ve vrstvení tenkých dřevěných lamel, které jsou lepeny křížem na sebe, vytvářející pevné a odolné panely. Tyto panely pak slouží jako nosné a izolační prvky při výstavbě budov.

Cílem této práce je představit návrh obytné dřevostavby, která využívá potenciál křížem lepeného dřeva a reaguje na současné potřeby a výzvy stavebnictví. Analýza konstrukčních, funkčních, technických a estetických aspektů bude následována podrobným návrhem budovy, který zahrnuje rozložení místností, materiálové volby, izolační řešení a další důležité faktory.

Budova postavená z CLT panelů může nabídnout nejen rychlou montáž a přizpůsobivost architektonickým konceptům, ale také vynikající tepelnou izolaci a akustické vlastnosti. Tímto úvodem je položen základ pro zkoumání a návrh moderní obytné dřevostavby s využitím křížem lepeného dřeva a jeho možností.

Následující kapitoly budou detailněji prozkoumávat jednotlivé aspekty návrhu, aby vytvořily komplexní a inovativní přístup k trvalým dřevostavbám v dnešním proměnlivém stavebním prostředí. Tato práce přispěje k hlubšímu porozumění potenciálu CLT panelů a poskytne cenné poznatky pro architekty, inženýry a stavitelskou komunitu, kteří hledají inovativní a ekologické způsoby konstrukce budov pro budoucnost.

2. Cíle práce

Cílem první části diplomového projektu je provést literární rozbor oblasti výstavby obytných dřevěných staveb z křížem lepeného dřeva určených pro trvalé užití, a to z pohledu technologie výroby.

Druhou částí projektu je vypracování realizační dokumentace pro trvalé užití, vycházející z existujícího projektu nebo architektonické studie. Dalším cílem je vytvoření výkresové dokumentace, která bude sloužit jako podklad pro výrobu dřevěné konstrukce a zahrnuje řešení vybraných konstrukčních detailů.

Součástí práce je statický posudek pro konkrétní vybraný konstrukční prvek a jejich tři spoje. Základní posouzení vybrané části objektu z hlediska stavební fyziky a sestavení rámcového rozpočtu pro danou stavbu.

3. Teoretická část

3.1. Dřevo ve stavitelství

3.1.1. Dřevo jako stavební materiál

Tato kapitola pojednává o jednom z tradičních přírodních stavebních materiálů, kterým je dřevo. Od počátku lidské civilizace se dřevo stalo nedílnou součástí kultury a lidského vývoje. Z tohoto důvodu je použití dřeva v konstrukčních systémech doprovázeno nejen technologickým vývojem, ale i celkovými možnostmi využití a dostupnosti samotného materiálu. Vývoj staveb byl ovlivněn vývojem technik zpracování a opracování dřeva a samotným vývojem provádění staveb. Toto vše bylo ovlivněno vnějšími faktory lidského působení vyplývající ze samotné dostupnosti a kvality materiálu či množství času a zdrojů.¹

Dřevo jako stavební materiál našlo své uplatnění již v pravěku, kde za jeho pomoci byla vytvořena primitivní obydlí. Bylo to způsobeno vlastnostmi dřeva, jakožto možností relativně dobrého opracování, či samotnou lehkostí konstrukce, ale i jeho izolačními vlastnostmi.² V rámci vývoje využívání dřeva se dodnes můžeme pozastavit nad ukázkou jeho konstrukčně-zpracovatelských možností, které jsou patrné i na dochovaných stavbách z konce starověku. Tyto stavby lze nalézt dodnes v Japonsku. Jednou z takových staveb je chrámový komplex Horjúdži, jenž je zobrazen na obrázku 1. Jedná se o budhistický chrám v Japonsku v prefektuře Nara.³ Dalším historickým příkladem využití dřeva jsou dodnes dochované i evropské stavby z doby středověku. Jedná se nejčastěji o konstrukce krovu či vícepodlažní hrázděné stavby, které odolaly nepříznivým vlivům počasí či požárům. U středověké evropské architektury je patrný vývoj zpracování a technických metod, které měly za následek rozvoj různých architektonických slohů, a tím patrný i vývoj ve zpracování například chrámových krovů v období baroka. Jedná se dodnes o díla s obrovskou složitostí.⁴

¹ HÁJEK, Petr, 2020. *Pozemní stavitelství I: pro střední školy se stavebním zaměřením*. Praha: Sobotáles. 296 s. ISBN 978-80-86817-49-1., č.s.11-15

² DĚDEK, Ing. Miloň a Ing. František VOŠICKÝ, 2008. *Stavební materiály: pro 1. ročník SPŠ stavební*. Šesté, upravené. Sobotáles. 260 s. ISBN 978-80-86817-26-2., č.s.13-17

³ HORYUJI SANNAI IKARUGA-CHO, IKOMA-GUN, NARA JAPAN, 2013. Hōryūji [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <http://www.horyuji.or.jp/en/garan/>

⁴ HÁJEK, Petr, 2020. *Pozemní stavitelství I: pro střední školy se stavebním zaměřením*. Praha: Sobotáles. 296 s. ISBN 978-80-86817-49-1., č.s.15-28

V důsledku vývoje lidstva zaznamenáváme pokles využití dřeva, jakož to stavebního materiálu, v době technické revoluce. Dochází zde ke zlomu, kdy jsou objeveny a více využívány nové druhy materiálů jako železo, beton či železobeton.⁵ Toto období přetrvává v tuzemsku do konce 20. století a zásadně se na tomto trendu podepisuje období totality. Z tohoto důvodu došlo k částečné ztrátě důvěry v dřevo jakožto tradičního materiálu a dodnes se s tím vyrovnáváme. Po tomto období je na území Čech patrný rostoucí trend ve výstavbě dřevostaveb.⁶

Dnes dochází k opětovnému návratu používání dřeva ve stavebnictví. Technologie a zkušenosti, které dnes při výstavbě moderních budov jsou často získávány a navazují na již existující znalosti z míst, kde nedošlo k přerušení využívání dřevěných konstrukcí ze severní Evropy či Rakouska. Dnešní architektura pracuje se dřevem jako moderním materiálem, který se již s výhodou používá jako estetický a mnohdy i současně konstrukční materiál. Často je dřevo využito jako hlavní element u nosné konstrukce, a to nejen u objektu rodinné výstavby, ale také u objektu občanské vybavenosti či vícepodlažních budov nebo objektů většího formátu.⁷



Obrázek 1 - Ukázka chrámového komplexu Horjūdži⁸

⁵ ZAHRDADNÍČEK, Václav a Pavel HORÁK, 2007. Moderní dřevostavby. Brno: ERA group spol., 155 s., ISBN 978-80-7366-109-0.

⁶ VAVER, Jiří, 2008. Dřevostavby pro bydlení. Havlíčkův Brod: Grada Publishing, 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.,

⁷ THERMORY, 2024. A closer look at wood as a building material [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://thermory.com/blog-and-news/a-closer-look-at-wood-as-a-building-material/>

⁸ Bohumil Zoufalík - Zdroj vlastní – Foto chrámového komplexu Horjūdži

V důsledku vývoje staveb ze dřeva se vedle tradičních konstrukcí, které jsou již rozšířené a známé mnohdy i stovky let, objevují nové možnosti využití dřeva. V současnosti dochází k neustálému rozšiřování znalostí v oblasti dřeva, což má za následek také vývoj těžkých skeletů spolu s masivními panely známých jako křížem vrstvené dřevo neboli cross-laminated timber (dále jako CLT). Tato konstrukce představuje určitou formu a směr ve zpracování dřeva. Jedná se o ukázkou moderního přesného a relativně sofistikovaného konstrukčního systému ze dřeva.⁹

V rámci evropského společenství nesmíme zapomenout na jeden z aspektů, který zapříčinil možnost vývoje dřeva do podoby CLT panelu. Jedná se o myšlenku nutnosti nárůstu dřevních konstrukcí nebo přírodních materiálů v procentuálním zastoupení stavby, o princip a snahu zajištění trvalé udržitelnosti a zajištění ochrany životního prostředí. Díky stále větší nutnosti zohlednění, se dřevo dostává do podvědomí lidí nejen jako tradiční materiál, ale i moderní konstrukční systém vhodný pro dnešní dobu.¹⁰

3.1.2. Konstrukční systémy dřevostaveb

V dnešním stavebnictví je dřevostavba, tedy stavba tvořená z nosné dřevěné konstrukce, stále více vyhledávána. Jedná se o odvětví stavebnictví, které v dnešní době zažívá svůj rozvoj. Čím více je dnes kladen důraz na udržitelnost celého stavebního průmyslu, tím se dřevo, nebo tedy stavby využívající přírodní materiály, stává aktuální. Díky dlouhé tradici ve zpracování dřeva a jeho následném využívání pro stavební konstrukce je dnes velká možnost si vybrat z nepřeberného množství konstrukčních systémů na bázi dřeva.¹¹

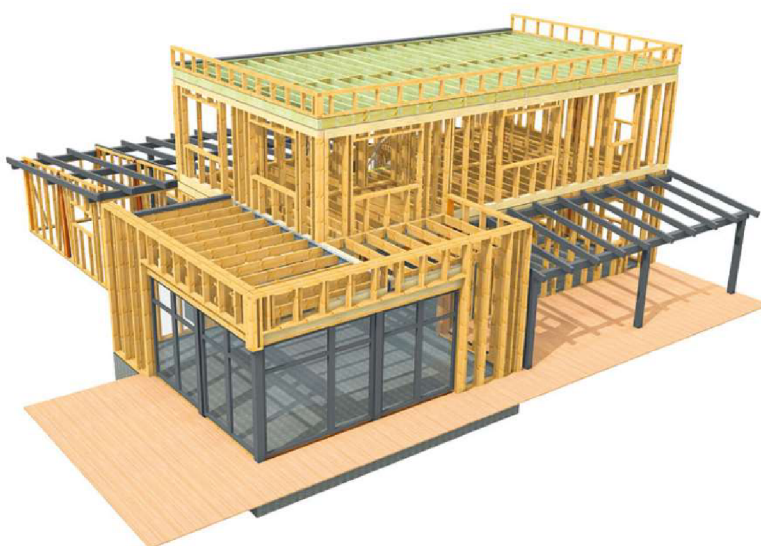
U dřevostaveb se dá využít stejného rozlišení na základě přenosu zatížení v konstrukci jako u jiných pozemních staveb. Dělení vychází ze základního využití stavebního konstrukčního systému staveb: monolitické, prefabrikované a prefamonolitické. Toto základní dělení nám definuje vlastně u pozemních staveb druh výstavby, a tím i návaznosti vyplývající z nutnosti provádění stavby. Dnes u

⁹ PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2., č.str. 10

¹⁰ Lehmann, S. Udržitelná výstavba pro rozvoj městských výplní s využitím systémů inženýrských masivních dřevěných panelů. Udržitelnost 2012 , 4 , 2707-2742. <https://doi.org/10.3390/su4102707>

¹¹ Bajno D, Grzybowska A, Bednarz Ł. Staré a moderní dřevostavby v kontextu udržitelného rozvoje. Energie . 2021; 14(18):5975. <https://doi.org/10.3390/cs14185975>

moderních dřevostaveb můžeme vidět velkou snahu o zajištění prefabrikované výstavby na základě projektové a výrobní dokumentace. V rámci rozdělení na výše uvedené druhy provádění staveb můžeme vnímat značný přínos procesu staveb na bázi dřeva, od návrhu až po užívání objektu. Dřevostavby si dnes prošly značným vývojem a neustále dochází k optimalizacím konstrukcí, a z toho vyplývá možnost nepřeborné škály volby materiálů a technologií, které lze použít pro daný výběr stavby ze dřeva.¹²



Obrázek 2 – Příklad softwarového konstrukčního řešení dřevostavby¹³

Každý druh dřevostavby, a tím pádem i její konstrukce, musí splňovat základní kritéria, aby bylo dosaženo optimálního výběru a řešení pro splnění všech požadavků na stavbu. Jako i u jiných staveb i zde je důležité již na začátku vývoje stavby definovat očekávání a určit plnění funkce pro daný objekt. Protože dřevostavby nejsou využitelné jen pro stavby rodinných domů, ale může se jednat i o další druhy pozemních staveb jako jsou objekty občanské vybavenosti či průmyslové stavby, až po další kategorie staveb na bázi dřeva, jako mohou být mosty či rozhledny. Z hlediska dřevostaveb je nutné pro výběr konstrukčního systému zohlednit dále požadovaný prostor a v souladu s tím vhodné umístění

¹² RŮŽIČKA, Martin, 2020. *Moderní dřevostavby*. Pardubice: Grada Publishing, 160 s. ISBN 978-80-247-3298-5., č.s.13

¹³ HOME - BYTY DŮM STYL ZAHRADA. Plánujete dřevostavbu? [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/drevostavby/planujete-drevostavbu-nerozhodujte-se-zbrkle/>

objektu v situaci, na základě které bude pro dřevo-stavbaře možno lépe definovat budoucí možnosti provádění a řešení. V neposlední řadě dnes hraje důležitou roli pro výběr konstrukce stavby i aspekt dostupnosti materiálů a typů konstrukcí. Jedná se i o aspekt dopravy a s tím spojené zohlednění stavby z hlediska udržitelnosti. Všechny předešlé aspekty se doplňují a prolínají. Jsou nezbytné pro efektivní zohlednění dřevostavby z hlediska výstavby a následného užívání konstrukce. Tedy díky výše uvedeným požadavkům a dnešnímu vývoji můžeme dřevostavby dělit do následujících šesti konstrukčních systémů dřevostaveb:

- a) Srubové: Tradiční typ dřevostavby z masivních dřevěných trámů.
- b) Hrázděné: Konstrukce tvořená dřevěným skeletem s výplní z cihel, kamene nebo hliněných omítek.
- c) Sloupové: Systém dřevěných sloupů nesoucí stropní a střešní konstrukce.
- d) Rámové: Moderní systém tvořený dřevěnými rámy s výplní z různých materiálů.
- e) Skeletové: Lehká konstrukce z dřevěných nosníků a stěn, která umožňuje rychlou montáž.
- f) Z masivních panelů: Moderní technologie s využitím velkoplošných dřevěných panelů.¹⁴

a) Srubové stavby

Stavby tohoto druhu se vyznačují svou robustní konstrukcí a rustikálním designem. V dnešní době začínají být znovu ve větší oblibě a z tradiční historické stavby se dnes díky vývoji této výstavby stává komfortní a ekologické bydlení.

Moderní technologie a způsoby zpracování posouvají stavby srubů na novou úroveň. Díky nim dosahují sruby již vynikající tepelně izolační schopnosti. Zajišťují spolu s moderními technologiemi nízkou energetickou náročnost. Díky vhodnému spojení staré technologie s moderním prolnutím výstavby srubové domy dosahují i na ty nejnáročnější požadavky kladené pro moderní bydlení.¹⁵

¹⁴ KOLBA, Josef, 2011. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada Publishing, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3., č.s.12-14

¹⁵ BOUZEK, Jan, 2010. WOODEN ARCHITECTURE: COMBINING DIFFERENT TECHNIQUES [online]. *Wooden architecture: Histria Antiqua*, 2010, 83-88 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z:

Výstavba takového objektu má ovšem i dnes mnoho problémů, které je nutné hlídat a zajistit jejich správné řešení. V důsledku relativní složitosti srubové stavby z hlediska řemeslné stránky je nutné dbát už na samotném začátku na vhodné používání a výběr řeziva pro stavbu. Celkové rozvržení systémů srubu vyplývá dle platných systémových řešení s přesným půdorysem a zajištění dodržení konstrukčních zásad. Jako jeden z klíčových aspektů stavby tohoto druhu, je využívání těžkých a masivních konstrukčních dílců, které v důsledku své zátěže způsobují sednutí stavby, jak je patrné z obrázku 3. Pro tyto případy se již při stavbě uvažuje sednutí až do 2,5 cm pro každé poschodí. Z tohoto důvodu je kladen důraz na konstrukce a materiály, které nemají nutnost daného řešení, aby při sedání stavby nedošlo k jejich poškození a neplnění tak své funkce. Nejvíce se bavíme o konstrukcích jako jsou okna, dveře či komíny. Z výše uvedené problematiky vyplývají znaky dnešní srubové stavby, jako jsou nutnosti vhodného výběru a použití řeziva, pevné zajištění uspořádání půdorysu, dále stále velký důraz na řemeslnou dovednost a v neposlední řadě nutnost zohlednění sednutí stavby.¹⁶



Obrázek 3 – Výstavba srubového objektu¹⁷

b) Hrázděné stavby

Hrázděná stavba je charakterizována jako konstrukční systém definovaný viditelnou nosnou dřevěnou konstrukcí s mezi výplní z cihel, kamene nebo vepřovice, které jsou následně omítnuty. Příklad této stavby je na obrázku 4. Jejich

<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7160478fb4b3537ddbc346faa643204ddfba59ad>

¹⁶ KOLBA, Josef, 2011. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada Publishing, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3., č.s.50

¹⁷ RD DŘEVO. STAVBA SRUBU [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.rddrevo.eu/stavba-srubu-na-sucho/>

rozvoj byl ve středověké Evropě. Jde o jeden z klasických historických systémů výstavby, kdy lehkost dřevěné konstrukce byla doplněna o tuhou konstrukci. Její variace se dodnes nachází po celé Evropě. V bohatších částech dochází ke značným dodnes dochovaným úpravám, které esteticky pravidelnou konstrukci doplňovaly o ornamenty na fasádách a tesařsky-truhlářské výřezy. Důraz byl u těchto staveb kladen na preciznost tesařských spojů jako je například čep a dlab. ¹⁸

Dnes je tento druh výstavby na značném ústupu. Moderní stavební technologie a důraz na snahu zajištění energetické efektivity odklání výstavbu tohoto druhu staveb. Jedním z důvodů je snaha o zjednodušení výstavby a nutnost zakrytí tepelných mostů v podobě obnažené nosné dřevěné konstrukce. Z tohoto důvodu zejména v alpských oblastech dochází ke snaze zachování daného druhu výstavby ke stavbě hrázděných staveb se skrytou konstrukcí. ¹⁹



Obrázek 4 – Pohled na hrázděnou dřevostavbu ²⁰

c) Stavby sloupkové

Tento druh výstavby dřevostaveb lze charakterizovat, jako stavby s relativně jednoduchou konstrukcí, která se realizuje na stavbě. Dá se definovat jako konstrukce tvořená svislými sloupky a vodorovnými trámy. Zpravidla se tyto části

¹⁸ MAKANTASIS, Konstantinos, Nikolaos DOULAMIS a Athanasios VOULODIMOS. Recognizing Buildings through Deep Learning: A Case Study on Half-timbered Framed Buildings in Calw City. BZP Holz [online]. Technical University of Crete, Chania, Greece, 2010, 7 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: doi:10.5220, str.č. 7

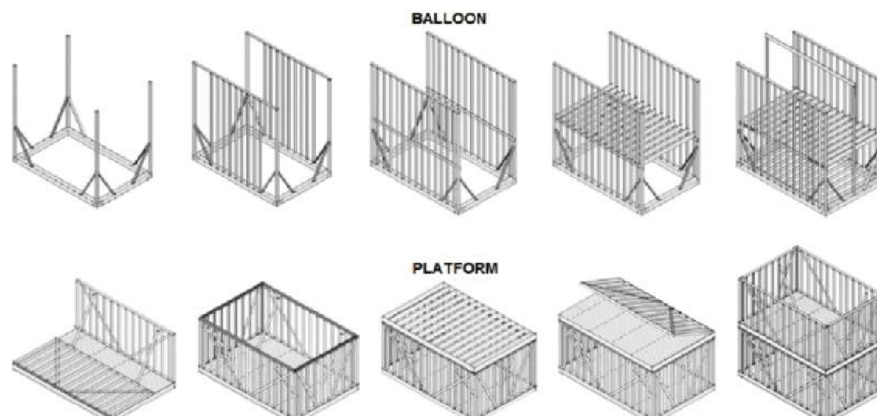
¹⁹ STEIGER, Ludwinf, 2007. *Holzbau*. Berlín: Birkhäuser, 96 s. ISBN 978-3-7643-8084-7., č.s.36

²⁰ MOSCA PARTNERS DESIGN VARIATIONS 2024, 2024. Three Defining Movements in Architectural Photography [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/900345/three-defining-movements-in-architectural-photography/5b74401df197cc47f6000070-three-defining-movements-in-architectural-photography-image>

dnes spojují kovovými prvky a tvoří tak nosnou konstrukci, která se následně opláští velkoplošnými materiály, jako jsou OSB desky, dřevěné palubky a další. Dále se vkládá mezi opláštění a nosnou konstrukci tepelná izolace a zároveň může být zajištěn vnější povrch opláštění izolačním materiálem, který spolu s konstrukcí dobře funguje a zajišťuje energetickou stálost v rámci užívání objektu. Tento druh konstrukčního řešení, má díky svému charakteru výstavby velkou možnost variability, a především hmotových řešení. Toto mimo jiné vyplývá z dobrých vlastností dřeva, a tím zároveň nabízí možnost vhodného použití při rekonstrukcích či dostavbách objektů.²¹

Sloupková dřevostavba je tvořena několika druhy systémů, které nám umožňují efektivní výstavbu dané stavby. Mezi nejznámější se řadí Balloon-Frame a Platform-Frame.

- Jedná se o systémy se sloupky táhnoucími se v celé výšce stěny od základu až po střechu.
- Platform Frame: Je systém se sloupky rozloženými do pater, kde jsou spojeny dřevěnými trámy. Platform Frame je v současnosti běžnějším typem sloupkové konstrukce.²²



Obrázek 5 – Model výstavby Balloon-Frame a Platform-Frame²³

²¹ NESTLE, Hans, 2005. *Moderní stavitelství: pro školu a praxi*. Praha: Eurpa-Sobotáles cz. 608 s. ISBN 80-86706-11-7., č.s.392-393

²² KOLBA, Josef, 2011. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada Publishing, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3. , č.s.60-61

²³ RESERCHGATE- VLOŽIL-VICTOR DE ARAUJO, 2010. Baloon-PlatForm Frame [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Assembly-framing-sequences-of-balloon-and-platform-OBrien-2010_fig1_309127246

d) Stavby rámové

Rámové dřevostavby jsou dnes jedním z nejrozšířenějších a nejpobulárnějších typem dřevostaveb. Jejich výhodou je rychlá prefabrikovaná montáž, a s tím spojena relativně velká variabilita a energetická účinnost v rámci fungování stavby.²⁴ Příkladem této stavby je obrázek 6.

Celá konstrukce je složena z dřevěných rámu tvořící nosnou část konstrukce. Rám by se dal definovat jako konstrukce složená ze svislých sloupků a vodorovných trámů, které jsou navzájem spojeny kovovými spojovacími prvky. Dále se dle dohody a výpočtu stanovuje skladba pro zajištění vizuálního vzhledu a tepelného komfortu. Zpravidla je vždy daný rám zajištěn zavětrovacím materiálem ve formě velkoplošné desky a následně izolační vrstvy.²⁵



Obrázek 6 – Návrh konstrukce rámové dřevostavby²⁶

Dnes je velká část rámových staveb realizována přes prefabrikovanou výrobu. Dochází k zajištění nutnosti na přesné konstrukční požadavky. Díky variabilitě

²⁴ VAVER, Jiří, 2008. *Dřevostavby pro bydlení*. Havlíčkův Brod: Grada Publishing, 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4., č.s.286

²⁵ VAVER, Jiří, 2008. *Dřevostavby pro bydlení*. Havlíčkův Brod: Grada Publishing, 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4., č.s.286

²⁶ IDEADOM, 2024. RAUM-SK.115 каркасно [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://smart.ideadom.ru/raum-sk115>

konstrukce navázané na prefabrikovanou výrobu a optimalizace konstrukce, je možnost tvorby větších rozponů. Dnešní hlavní limity konstrukce vyplývají z výrobních možností, a tím spojených výrobních rozměrů v doprovodu s rozměry limitovanými přepravou. Tyto možnosti jsou docíleny optimalizováním a vývojem technologií v opracování dřeva a jeho následné modulování dle konstrukčních zásad projekce.²⁷

V důsledku rozšíření výroby a stále se zvyšující poptávce se nabízí možnost základní definice systému rámových dřevostaveb:

- Relativně volné dispoziční řešení,
- možnost systémové modulace konstrukčního systém zaručující řešení detailů a s tím spojená možnost systémových řešení skladeb,
- možnost vícepodlažní výstavby,
- dostupnost všech stavebních materiálů
- a v neposlední řadě rychlost výstavby.²⁸

e) Stavby skeletové

Dnes se dřevo stává nedílnou součástí i pro moderní stavitelství konstrukčních systémů, velkoformátových rozsahů při výstavbě skladů, hal a dalších konstrukcí, kde na nosný skelet je krom praktičnosti kladen i estetický, a environmentální důraz. Krom toho, že se jedná o využití ekologického materiálu, jde zde hlavně o snahu využít dobrých vlastností dřeva spojených s vývinem nových materiálů na bázi dřeva. Jde především o nosné konstrukční materiály, které lze charakterizovat jako lepené a další materiály na podobné bázi, které umožnily tvorbu těchto konstrukcí a zajistily možnost spřažení s dnes hojně užívanými materiály jako je ocel a beton.

V dnešní moderní architektuře se objevil význam tohoto systému. Přednosti této konstrukce se nachází v možnosti velkých rozponů s minimem nosných

²⁷ Sanna, F. Timber modern methods of construction: a comparative study. (Thesis). Edinburgh Napier University. Dostupné z: <http://researchrepository.napier.ac.uk/Output/1256099>

²⁸ PERGL, Jan. Nový dům za pár týdnů. Co jsou to rámové dřevostavby ?. Nazeleno.cz: Chytrá řešení pro každého [online]. Brno: Narrative Media, 2021 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/drevostavby/ramove-drevostavby-postavene-systemem-two-by-four-jsou-stale-oblibenejsi.aspx>

prostorových konstrukcí. Jsou tak předurčeny pro využití řešení volných dispozic budov.²⁹

Při rostoucích požadavcích dnešní doby na energetickou efektivitu objektů a s tím spojený důraz na účel spojený s designem, se bavíme o dřevěných skeletových stavbách jakožto o stavbách budoucnosti. Jde o konstrukci s obrovským potenciálem, které při neustálém vývoji konstrukčních prvků na bázi dřeva stále zaznamenávají svůj vývoj. Je to do jisté míry i předurčeno jejich možností prefabrikace jednotlivých dílců konstrukce. Je to zapříčiněno i možností modulových řešení a zároveň s tím spojenou možností variabilních řešení půdorysů. Díky tomu se zvětšuje i potenciál užití konstrukce a funkce objektu.³⁰

f) Stavby z masivního dřeva

Výstavba staveb z masivního dřeva je dnes tou nejmodernější možnou variantou řešení dřevostavby. Oblibu získávají díky své variabilitě architektonických řešení a možnosti prefabrikovaných rychlých systémových řešení. Jejich hmotová variabilita je doplněna o možnost překlenutí i velkých rozponů, díky čemuž je tento systém vhodný nejen pro rodinnou výstavbu, ale i pro další objekty pozemních staveb.³¹ Příklad této stavby je na obrázku 7.

Dílce z masivního dřeva přenáší plošné zatížení přes jednotlivé části konstrukčních dílců do základové spáry, a tím je zajištěna celistvost nosné konstrukce. Prefabrikace panelů z masivního dřeva je dnes relativně rozšířena a na trhu se nachází již velká škála výrobců, která nabízí svá řešení prefabrikovaného systému doplněná o možnosti systémových řešení. Z hlediska tepelného komfortu v objektu je zde nutno zmínit nutnost zateplení konstrukce po obvodu vnější strany exteriérového pláště. Systém zateplení takovéto konstrukce je obdobný systému zděné stavby, kdy konstrukce je kotvena kotvicími prvky k panelu, díky čemuž se

²⁹ KOLBA, Josef, 2011. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada Publishing, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3. , č.s.86-111

³⁰ NESTLE, Hans, 2005. *Moderní stavitelství: pro školu a praxi*. Praha: Eurpa-Sobotáles cz. 608 s. ISBN 80-86706-11-7., č.s.393

³¹ PAVLAS, Marek, 2016. *Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů*. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2., č.s.9

dnes jedná i o lehké a rychlé řešení, které lze řešit jak staveništní, tak i prefabrikovanou cestou.³²

Konstrukční systém tohoto typu je jednoduchý na výstavbu díky zakázkové výrobě prefabrikovaných dílců. Kladení jednotlivých částí konstrukce je zajištěno dle montážní dokumentace. Každý dílec je individuálně vytvořen na své přesné místo dle výrobní dokumentace. Zároveň je kladen důraz na zajištění přesné dokumentace jak pro stavbu, tak i pro výrobu jednotlivých dílců z důvodu přesnosti výroby prefabrikovaných panelů a zajištění jejich správných konstrukčních vlastností.³³



Obrázek 7 - Montáž CLT panelové konstrukce³⁴

³² CROCETTI, Roberto, Andrew LAWRENCE a Ishan ABEYSEKERA, 2022. The CLT Handbook-Confederation of Timber Industries [online]. In: . 1:2022. UK: Swedish Forest Industries Federation, s. 156 [cit. 2024-03-13]. ISBN ISBN 978-91-985212-2-1. Dostupné z: <https://gfagrow.org/wp-content/uploads/2018/06/CLT-Guide-PDF.pdf>

³³ Building with cross laminated timber [online], 2010. In: . Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://www.it.brettsperrholz.org/publish/binarydata/Brettsperrholz/downloads/stghb_brettsperrholz_e_150dpi_101207.pdf, str.č. 11

³⁴ EMA DŘEVOSTAVBY, 2024. Pasivní dům v Babicích nad Svitavou [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://em3.cz/project/pasivni-dum-z-clt-panelu/>

3.1.3. Energetická efektivita staveb

Dnes dochází ve stavebnictví čím dál více ke snahám zajištění ochrany životního prostředí a s tím spojené snahy o zajištění snížení energetické náročnosti staveb a jejich energetické efektivity. Tyto trendy mají za následek neustálou snahu o zdokonalování stavebních konstrukcí a jejich řešení. V základní myšlence jde o snahu zdokonalení budov do stavu energetické efektivity, které mají za cíl zajistit nižší spotřebu energie, jež je potřebná na vytápění, chlazení a provoz stavby. Jde o princip snahy zajištění snížení emisí skleníkových plynů a úspory finančních prostředků při užívání stavby.

Jedním z hlavních témat spojených s energetickou efektivitou je pojem Energeticky efektivní dům (EED). Cílem takovéto budovy je ekonomická efektivita vyplývající ze snah o energetické úspory spojené se stavbou, následným užíváním objektu a s jeho budoucí demolicí. S touto myšlenkou jde v doprovodu aspektu ekologie objektu a celkový vliv na prostředí.³⁵

Další myšlenkou ve spojitosti s EED je definování energetické efektivity. V principu se jedná o schopnost budovy udržet komfort vnitřního prostředí s minimální spotřebou energie. V rámci takovýchto snah dochází k zohlednění celkové energetické bilance objektu, kde je zahrnuto vytápění, chlazení, osvětlení, větrání a provoz spotřebičů. Pro zajištění adekvátního zohlednění bilance stavby je nutné znát celou řadu faktorů ovlivňující energetickou efektivitu.³⁶

Z tohoto důvodu je pro tyto stavby nutné zajistit již na samotném začátku kvalitní zpracování návrhu architektonické studie. Na této bázi musí dojít ke snahám správné orientace objektu ke světovým stranám, za účelem zajištění solárních zisků v letních a zimních obdobích tak, aby došlo k úsporám energií. Dále je již při návrhu nutné dbát na definování vhodných tepelně izolačních vrstev podlah, stěn a stropů a toto doplnit o vhodný výběr adekvátních oken a dveří. V rámci návrhu by mělo také dojít k rozmyšlení výběru technologií, a to volby

³⁵ TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel., 193 s. ISBN 80-247-1101-x., č.s. 11-12

³⁶ LESKOVAR, Vesna Žegarac Leskovar a Miroslav PREMROV, 2011. An approach in architectural design of energy-efficient timber buildings with a focus on the optimal glazing size in the south-oriented façade: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summerschool held in Stockholm, 10-16 June, 1998. *Energy and Buildings* [online]. 2011, 3410-3418 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: doi:10.1016

systémů topení, případně doplnit o systémy větrání jakožto rekuperace pro získání zpětného tepla. V neposlední řadě je pak nutné, aby po dobu výstavby došlo k zajištění vhodného řešení detailů a celých konstrukcí, za účelem zajištění celistvosti a efektivního fungování objektu.³⁷

Při posuzování výše uvedených faktorů jsou využívány různé měrné ukazatele. Jedním z takových je model měrné spotřeby tepla na vytápění, který se vztahuje na jednotku 1 m² podlahové plochy za 1 rok. Takto zjištěná hodnota se značí písmenem E_A a její jednotkou je kWh/(m².a). Pro porovnání tohoto ukazatele je vhodné se podívat na budovy starší roku 1990, kde bude jejich spotřeba při vytápění cca 180-220 kWh/(m².a). Za to u novostaveb, které musí již splňovat zpřísněná kritéria tepelně technických norem, jakožto například ČSN EN ISO 13790, TNI 73 0329 a TNI 73 0330, se blíží až na polovinu hodnot, konkrétně 80-120 kWh/m².a.³⁸

V České republice je od roku 2012 aplikován zákon č. 406/2000 Sb. Jde o princip postupného zvyšování energetických standardů na budovy. Díky zavádění těchto opatření a zajištění vyššího důrazu na energetickou efektivitu dochází ke vzniku nových trendů, kam lze zařadit i objekty typu EED. Tyto domy můžeme rozdělit do pěti kategorií:

- a) Nízkoenergetické domy,
- b) Energeticky pasivní domy,
- c) Energeticky nulové domy,
- d) Energeticky nezávislé domy,
- e) a Plus energetické domy.³⁹

3.1.4. Udržitelný rozvoj

Udržitelný rozvoj představuje koncept, který se snaží komplexně zohlednit ekonomický vývoj, ochranu životního prostředí a sociální aspekty lidského

³⁷ TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel., 193 s. ISBN 80-247-1101-x., č.s.11-12

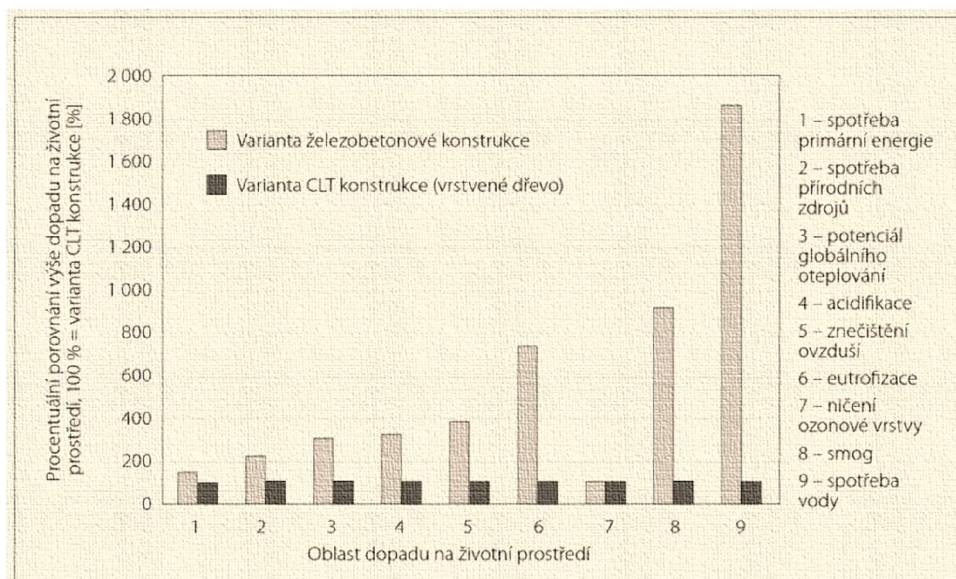
³⁸ NAGY, Eugen, 2009. *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava: Jaga Group., 207 s. ISBN 978-8-0807-6077-9., č.s.11

³⁹ NAGY, Eugen, 2009. *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava: Jaga Group., 207 s. ISBN 978-8-0807-6077-9., č.s.15-17

společnosti. V principu se jedná o snahu v praxi implementovat udržitelnost do oblastí lidských činností, od zemědělství, průmysl, až po stavebnictví.⁴⁰

Udržitelný rozvoj hraje klíčovou roli v problematice stavebnictví. Dochází ke snahám minimalizovat a zefektivňovat spotřebu energií a stavebních materiálů. Těmito kroky má dojít k co největší snaze snížení zátěže stavebnictví na životní prostředí. S tímto cílem je v současnosti podporován rozvoj dřevostavby. Dřevo je ve své podstatě obnovitelným a ekologickým materiálem. V době růstu dřevní hmoty dochází k tvorbě kyslíku a zároveň na sebe při tom váže oxid uhličitý, který jakožto jeden z nejvýraznějších skleníkových plynů zatěžuje atmosféru. Zároveň se stavby ze dřeva vyznačují skvělými tepelněizolačními vlastnostmi a nízkými energetickými nároky na vytápění a chlazení. Výhodou dřevěných stavebních materiálů je jejich opakovatelná recyklace. V principu to znamená, že původní masivní prvek může být na konci své funkce dále zpracován a za pomoci technologií aglomerován do dalšího stádia své životnosti.⁴¹

Graf 1- Porovnání vlivu konstrukčních systémů na životní prostředí⁴²



⁴⁰ MEZISTROMY.CZ, 2018. Jsou dřevostavby cestou k trvale udržitelnému stavebnictví? [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/drevostavby/trvale-udrzitelne-stavebnictvi>

⁴¹ PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2., str.č. 82-83

⁴² Upraveno dle PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2., str.č. 82

Při snaze zajištění ochrany životního prostředí se čím dál více dnes poukazuje na ostatní stavební materiály a dochází k jejich porovnání v závislosti na využití dnešních dřevěných konstrukcí jako jsou CLT panely. Za tímto účelem byla v Londýně zpracována studie devíti podlažní budovy Murray Grove Tower pro dvě konstrukční varianty. Jednou z nich byla konstrukce z CLT panelů a druhou klasická konstrukce z železobetonu. S touto studií konstrukčních návrhů se také pojí vypracování grafu označeného, jako Graf 1 uvádějícího porovnání dopadu této budovy na životní prostředí. Při výstavbě železobetonové konstrukce by došlo k produkci 125 000 tun CO₂. U dřevěné konstrukce došlo k výpočtu záporných hodnot. To znamená zachování CO₂ v materiálu, a to ve výši 185 000 tun.⁴³

Dřevo z hlediska životního cyklu je jako stavební materiál velice kladně přijímáno. Z tohoto důvodu se dnes jedná o jeden z nejšetrnějších a nejhospodárnějších materiálů, který má stavební odvětví co nejvíce přiblížit trvalé udržitelnosti. Jeho využití se dnes právě volí v případě objektů, které se snaží maximálně snížit svou ekologickou zátěž, a proto se uplatňuje zejména pro stavby typu pasivních domů a další.⁴⁴

Je nutno zmínit, že z hlediska životního prostředí musí být při výstavbě z CLT panelů zahrnuto kritérium dopravy. Z hlediska výroby CLT se stále jedná o minoritní podíl výrobních závodů, u kterých se valná většina světové výroby nachází v Evropě, především v Rakousku. U některých projektů je to jeden z klíčových faktorů, kdy se musí zvážit výhody CLT dováženým z velké dálky oproti dalším materiálům z místa působnosti.⁴⁵

⁴³ S, Gagnon, C, Pirvu. CLT handbook. Quebec : FPIInnovations, 2010. ISBN 978-0-86488-547-0.

⁴⁴ KUKLÍK, Petr. Vícepodlažní dřevostavby z křížem vrstveného dřeva. Stavebnictví [online]. 2023(01-02) [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vicepodlazni-drevostavby-z-krizem-vrstveneho-dreva.html>

⁴⁵ PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2., č.s.13-15

3.2. Křížem vrstvené dřevo

3.2.1. Základní popis CLT panelu

CLT je materiál vyrobený z křížem vrstveného dřeva. Jedná se o masivní konstrukční systém dřevostaveb. Dřevostavby tohoto typu se vyznačují stěnami ze dřeva v celé své ploše. Konstrukční nosný systém není uspořádaný do jednotlivých dílčích prvkových podpor. Tradičním zástupcem těchto staveb z hlediska historie jsou sruby a roubenky.⁴⁶

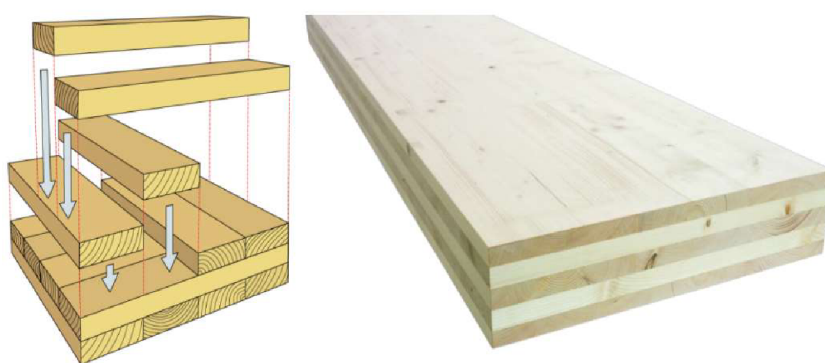
Panelová konstrukce CLT představuje novou technologii, která oproti tradičním zástupcům této skupiny plně využívá výhody dřeva a možnost dnešních technologií. Je to příklad moderního využití zpracování dřeva pro stavební účely. Tato technologie výroby panelů CLT vznikla v devadesátých letech minulého století v Rakousku. Vývoj tohoto systému byl zapříčiněn úzkou spoluprací mezi vědeckými pracovišti, a to zejména Institutem dřevěných konstrukcí ve Štýrském Hradci spolu s významnými dřevozpracovatelskými závody. Na počátku tato technologie zaznamenává pozvolný nástup, ale po roce 2000 dochází k expanzivnímu rozvoji, kdy se technologie výroby z Rakouska rozšiřuje do okolních zemí a pak do zbytku Evropy, USA a Kanady. V důsledku tohoto rozmachu jsou výrobci nuceni inovovat a dnes je jedním z hlavních kroků výrobních závodů snaha o vývoj a začlenění výroby CLT panelů nejen ze smrkového řeziva, ale snahy o začlenění i dalších druhů dřeva. Toto je zapříčiněno snahou o diverzifikaci lesních porostů a možnosti jejich budoucího využití pro udržitelný rozvoj v dřevařském a navazujícím stavebním průmyslu.⁴⁷

Základní technologie spočívá ve vytvoření dřevěného panelu složeného z navzájem na sebe kolmých vrstev, které jsou utvořeny z masivních lamel. Vrstvy jsou k sobě nalisovány a za studena slepeny. Jak je patrné ze schematického znázornění na obrázku 8.

⁴⁶ NATURALLYWOOD. Cross-laminated timber (CLT) [online]. 2024 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.naturallywood.com/products/cross-laminated-timber/>

⁴⁷ WIGO. CLT Timber [online]. 2024 [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://wigo.info/clt-timber>

Materiál se dá charakterizovat jako křížem lepená deska, kterou poté lze použít pro nosnou konstrukci stěnových, stropních, ale i střešních systémů. Kolmé směřování lamel na sousedící vrstvu zajišťuje vysokou rozměrovou a tvarovou stálost daného konstrukčního prvku. Důležité je zmínit, že konstrukce CLT se musí vždy skládat minimálně ze 3 až zpravidla 7 vrstev. Tento konstrukční systém díky svým vlastnostem představuje vhodné řešení nejen pro konstrukce rodinných domů, ale i vícepodlažních budov od občanské vybavenosti přes komerční až po průmyslové objekty.⁴⁸



Obrázek 8 – Znárodnění kladení lamel a ukázka finálního produktu CLT panelu⁴⁹

Výhodou výroby CLT je dnes možnost rychlé výstavby a zároveň i variabilita dispozičních řešení. Technologie výroby CLT je postavena jak v tuzemsku i v zahraničí na systému přesné výroby daných dílců. Jedná se o výrobu na míru, kdy každý prvek je vyroben dle výrobní dokumentace na základě projektové dokumentace. Jedná se o technologii, která není modulově limitována. Jediné meze, kterou tato výroba má, vyplývá z rozměrů výrobních linek a dopravních kapacit. Z důvodu dopravy se nejčastěji vyrábí panely do maximální výšky 3 m a maximální délky 18 m.⁵⁰

⁴⁸ PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2.

⁴⁹ MDPI and ACS Style, Di Bella, A.; Mitrovic, M. Acoustic Characteristics of Cross-Laminated Timber Systems. Sustainability 2020, 12, 5612. <https://doi.org/10.3390/su12145612>

⁵⁰ APA, 2018. Cross-Laminated Timber (CLT) [online]. 2024 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.apawood.org/cross-laminated-timber>

3.2.2.Charakteristika panelu CLT

Panely CLT spočívají v technologii spolupůsobení jednotlivých na sebe vzájemně kolmých vrstvách dřeva. Tento systém, jakožto masivní desková konstrukce má výhodu v plošné struktuře dílců kladených ve svislém, vodorovném a někdy i šikmém směru. Tento systém konstrukce je primárně řešen jako difuzně otevřený a při správnosti návrhu konstrukční skladby nedochází ke kondenzaci vodních par. Primárně jde o desky, které lze vyrábět v různých stupních kvality za účelem určení budoucího použití z hlediska designu a architektury. Nejčastěji lze vyrábět pohledovou a nepohledovou strukturu CLT. U výroby se klade velký důraz na přesnost z důvodu stálosti materiálu a přesném montování prefabrikovaných dílců. Zpravidla se jedná o zakázkovou výrobu na základě dodané projektové dokumentace, což má za výhodu relativně volnou dispozici.

Na CLT panely a jejich konstrukce jsou dnes kladeny nejvyšší standardy dle kterých lze posuzovat konstrukční části. Tyto kritéria lze rozřadit do kategorií jako je:

- a) Dimenze a geometrie,
- b) materiál,
- c) kvalita konstrukce,
- d) výrobní spoje panelů,
- e) požární odolnost,
- f) akustika,
- g) a montáž.⁵¹

a) Dimenze a geometrie

Rozměry panelů se liší v tloušťkách vrstev a jejich množství, z kterých jsou složeny. Jednotlivé tloušťky vrstev mají zpravidla svůj rozměr od 10 do 50 mm. Následné poskládání vrstev je v lichém počtu a pohybuje se od 3 do 7, ale může až do maximálního počtu 9 vrstev. Potencionálně může dojít k rozdílným šířkám jednotlivých vrstev, ale měla by být zajištěna celková osová symetrie panelu. Poměr šířky k výšce by se měl pohybovat kolem 1:4. Hodnota tohoto parametru je

⁵¹ Panely z vrstveného masivního dřeva - nová estetika dřeva, možnosti využití v interiéru. M, Pavlas. Brno : VUT v Brně, 2013. Sborník anotací Juniorstav 2013. 978 80 214 4669 4.

stanovena od statického působení jednotlivých panelů a od zatížení, které na ně působí.⁵²

Rozměry panelů jsou dnes limitovány zpravidla možnostmi výrobních linek a zároveň dopravou jednotlivých panelových konstrukcí na lokalitu stavby. Každý výrobce má dnes individuální maximální rozměr panelové konstrukce, ale zpravidla se jedná o rozměry okolo 18 m na délku a 3 m na výšku. Ohledně výrobního procesu je důležité zmínit jeho přesnost, která je zapříčiněna obráběním na CNC zařízení na základě elektronické výrobní dokumentace. Díky tomu je výroba velice přesná a tolerance vyplývající z výroby maximálních rozměrů panelů je ± 2 mm.⁵³

b) Materiál

Výroba CLT je dnes koncipována na příjem smrkové dřevní suroviny, ovšem dochází i k použití dřevin modřínových, borovicových a jedlových.

Pro zpracovatele a výrobce CLT panelů je dnes výzvou v důsledku diverzifikace lesních porostů snaha o vývoj a aplikaci dřevin z listnatých stromů. K těmto snahám dnes dochází hlavně na území Evropy v čele s Rakouskem.⁵⁴

c) Kvalita konstrukce

Konstrukce z prefabrikovaných panelů, je výjimečná díky architektonické atraktivnosti využití interiérové části ploch panelů. Návrh interiérů zde spočívá ve dvou variantách provedení kvality, a to na variantu pohledovou a nepohledovou.

U většiny výrobců je základním typem panel s nepohledovou částí určený k dalšímu opláštění. Jejich povrch je hrubší a lze na něm najít patrné vady, zejména tedy drobné trhlinky, změnu barvy v podobě namodrání či viditelné přechody mezi lamelami. Další častou vadou bývají vypadlé suky. Vady tohoto charakteru neovlivňují statické vlastnosti panelové konstrukce.

⁵² STÜRZENBECHER, R., K. HOFSTETTER a J. EBERHARDSTEINER, 2010. Konstrukční návrh křížově laminovaného dřeva (CLT) podle pokročilých teorií desek [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.04.016>

⁵³ JELLEN, Anthony C. a Ali M. MEMARI, 2022. Structural Design of a Cross-Laminated Timber (CLT) Single-Family Home [online]. Sackett Building University Park [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: https://www.phrc.psu.edu/assets/docs/Publications/PHRC-Research-Report_Structural-Design-of-CLT-Home.pdf. Pennsylvania Housing Research Center.

⁵⁴ GREEN BUILDING DESIGN, 2024. Crosslam timber / CLT: Manufacturing process [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/cross-laminated-timber-manufacturing-process/>

Pohledový panel je určený svou strukturou k přiznání konstrukce v interiéru. Řezivo používané pro tento druh panelů je vydruhováno a vyselektováno za účelem finálových povrchových vlastností. Jde zde hlavně o snahu vytvoření hladkého povrchu, na kterém nejsou pozorované přechody lamel či spojovací prostředky v podobě zbytků lepidla nebo vrutů.⁵⁵

d) Výrobní spoje panelů

U křížem vrstveného dřeva dnes můžeme pozorovat vývoj ve spojování jednotlivých vrstev a lamel. Dnes se bavíme o dvou technologiích, a to lepením pod tlak za studena a možností spojů za pomoci vrutů, hřebů či kolíků na bázi dřeva.

Lepení je dnes klíčovou technologií při výrobě CLT panelů. Způsob lepení ovlivňuje vzhled a finální vlastnosti panelové konstrukce. Dnes z hlediska lepení existují dva způsoby řešení této problematiky:

- Lepení pouze mezi vrstvami,
- a lepení vrstev i lamel.

Lepení pouze mezi vrstvami je systém, kdy je lepidlo nanášeno pouze na jednotlivé vrstvy CLT panelu. Lamela v rámci řešení jedné vrstvy není slepena k okolním lamelám. U této technologie je z tohoto důvodu zaznamenána nižší vzduchotěsnost panelu, obzvláště u tenčích profilů třívrstevných konstrukcí s nízkou kvalitou provedení. Využití tohoto druhu lepení lze nalézt u výroby panelů s vysokou pohledovou kvalitou o větších šířích dimenzí.

Lepení vrstev i lamel lze popsat jako nános lepidla mezi jednotlivé vrstvy ploch, ale i nános lepidla v rámci jedné vrstvy pro propojení jednotlivých lamel. Tento způsob výroby optimalizuje vzduchotěsnost jednotlivých panelů i pro menší dimenze tloušťky a počty vrstev panelů. U tohoto druhu výroby nedochází k selekci pro způsob použití panelu a díky stylu prefabrikace je vhodný pro všechny druhy CLT konstrukcí.⁵⁶

⁵⁵CLT PROFI, 2024. Technical Specification of CLT Panels [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://cltprofi.com/clt-panels-technical-information/>

⁵⁶KARACABEYLI, Erol a Sylvain GAGNON, ed., 2019. Canadian CLT Handbook. In: Canadian CLT Handbook [online]. Québec. FPInnovations: FPInnovations, s. 812 [cit. 2024-03-14]. ISBN 978-0-86488-592-0. Dostupné z: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>

e) Požární odolnost

Konstrukce na bázi dřeva jsou v našich zeměpisných podmínkách vnímány ve spojení s požárem a odolností proti němu relativně špatně. Nicméně konstrukce z křížem vrstveného dřeva, mají vysokou požární odolnost. Je to způsobeno hlavně tím, že se jedná o 2D prvky, které postupně odhořívají pouze z jedné strany. To je značným rozdílem od klasických 1D konstrukcí, u kterých dochází zpravidla k odhořívání ze dvou stran. Dalším často uváděným klíčovým zkoušeným parametrem vypovídající pro prospěch CLT konstrukcí je rychlost zuhelnatění, která se má pohybovat pro masivní lepené vrstvené dřevo o hustotě rovné nebo větší 290 kg/m^3 v hodnotě $0,65 \text{ mm/min}$ dle platné legislativy o požárních podmínkách.⁵⁷

Již u malých dimenzí CLT okolo 80 mm tloušťky je požární odolnost až ve třídě REI30 a tento parametr lze vylepšit o opláštění konstrukce protipožárními deskami, a tím navýšit třídu reakce na oheň. Vhodné v tomto kontextu je zmínit i vyšší dimenze o větších tloušťkách, které mohou dosáhnout až parametru REI90, který se dá též dále zlepšovat opláštěním.⁵⁸

Nevýhodou pro CLT konstrukce je dnes stávající tuzemská legislativa, která neumožňuje stavby na bázi dřeva stavět přes definovanou požární maximální výšku. Je stanovena normou, na základě hořlavosti konstrukčních systémů. Tyto normové parametry lze upravit na základě výjimek a doložení sprážením konstrukce s jiným materiálem, ale jedná se o nákladné řešení, které zatím není využíváno.⁵⁹

f) Akustika

Často zmiňovaným problémem dřevěných konstrukcí bývá akustika. V případě křížem vrstveného dřeva je tomu taktéž, nicméně dle zkoušek dochází k vykázání lepších hodnot z hlediska akustického útlumu oproti například lehkým rámovým konstrukcím. I přesto je při návrhu kladen velký důraz na doplnění konstrukce o tlumící prvky z důvodu neschopnosti materiálu splnit současné

⁵⁷ HANIFI, A., Yuexiang WANG, Jin ZHANG a Hao MA, 2021. Transition, Turbulence and Combustion Modelling. *Construction and Building Materials* [online]. 2021. 2021, 302 [cit. 2024-03-14]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016

⁵⁸ HEJTMÁNEK, Petr, Hana NAJMANOVÁ a Marek POKORNÝ, 2024. Požární odolnost stavebních konstrukcí [online]. [cit. 2023-11-20]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13655-pozarni-odolnost-stavebnich-konstrukci>

⁵⁹ PECL, František, 2019. Konzultační stanovisko [online]. 2019 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.pelcfrantisek.cz/csn02/02komrx728.php>

stanovené akustické podmínky. Největší problematika je zaznamenána v přenosu kročejového zvuku u vícepodlažních budov. Z tohoto důvodu je vždy samotný návrh nutné doplnit o tlumící akustické konstrukce či prvky v podobě akustických izolací, obkladů, akusticky upravených podhledů či doplnit konstrukci o přechodové tlumící vložky.⁶⁰

g) Montáž

V případě tohoto druhu konstrukce je pro montáž výhodou samotný systém smyslu výroby. Jedná se o prefabrikovanou konstrukci, která díky svým vlastnostem má značnou výhodu již v rychlosti výstavby. Jednotlivé dílce jsou z výroby dopraveny nejčastěji automobilovou nákladní přepravou na lokalitu stavby, kde za pomoci jeřábu dojde k montáži. Samotná montáž z CLT konstrukce trvá od několika hodin v řádu dnů a v případě složitějších celků i týdnů.⁶¹

V případě takovéto stavby je nejvíce stěžejní částí, příprava základové konstrukce v podobě základové desky. Kde musí být zajištěna nivelita povrchu s přípustnou odchylkou v řádu ± 1 cm na plochu základu či budoucího traktu konstrukce. Pro zakládání CLT konstrukčních dílců se využívá montáž dvojího typu. Jedním z nich je přímá montáž, kdy CLT stěnový panel se kotví přímo k základové desce a je vlastně přes dilatační pásek v místě styku betonu a CLT v přímém kontaktu. Druhou možností je přístup, který se využívá za účelem vyrovnání povrchu základu a dochází nejprve k montáži podkladního hranolu, který slouží jako styčný podkladní povrch pro napojení panelu na něj a k základové desce. Tento způsob řešení se používá občasně a je primárně používán pro výstavbu rodinných domů.

Dalším faktorem, který je nutno zohlednit při montáži, je samotné propojování CLT konstrukcí. Montáž panelů se řídí jednoduchým principem, kdy se jednotliví výrobci snaží co nejvíce zefektivnit systém propojení a zaručit pevnost spojů s minimálním vlivem na časovou náročnost montáže. Všechny druhy

⁶⁰ The acoustic design implications of exposing CLT [online]. 2020. 2020 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://ateliercrescendo.ac/exposing-cross-laminated-timber-slabs/>
C<https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7642>

⁶¹ ASB, 2024. Moderní dřevostavby z masivních dřevěných panelů (CLT) [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/jaky-vybrat-dum/moderni-drevostavby-z-masivnich-drevenych-panelu-clt>

konstrukcí se v současnosti mezi sebou propojují za pomoci montážních ocelových spojovacích prostředků.⁶²

3.2.3. Výroba CLT panelu

Výroba CLT panelové konstrukce je relativně všeobecně známým postupem, jediné rozdíly v dnešních konstrukcích pramení z provádění a know-how jednotlivých výrobců. Dnes všeobecně známý postup lze rozdělit na samotnou přípravu materiálu, sestavení výrobku a export.⁶³

a) Příprava materiálu

Pro výrobu CLT panelu je základním materiálem rostlé surové dřevo zpravidla smrkové. Základní postup přípravy materiálu je řezání profilu, následné sušení a poté pevnostní rozřazení, po kterém následuje hoblování jednotlivých prvků a v neposlední řadě vyspravení vad.

Pro takovéto dřevo je tedy nutné nejprve zajistit vyduhování a následné zpracování na pilách. Pro technologii výroby lamel pro křížem vrstvené dřevo je výhodou možnost zpracování celých průřezů kulatin, a to i včetně vytěžení výroby lamel z odřezků a krajin získaných při řezání trámů.

Po nařezání hrubých budoucích lamel pro CLT dochází k sušení. To probíhá za účelem dosažení vyrovnané vlhkosti dřevní suroviny okolo 12 % s odchylkou ± 2 %.⁶⁴

Po dosažení této vlhkosti dochází k určení pevnostní třídy. Za tímto účelem lze provést vizuální či strojní kontrolu. Při vizuálním zatřídění dochází k rozřazení prvků řeziva do jakostních tříd S7, S10 a S13. Toto rozřazení odpovídá pevnostním třídám C16, C24 a C30. Při takovémto zatřídění se přihlíží k vizuálním vadám a nedostatkům dřeva, kdy se na řezivu zohledňuje průměrná šířka letokruhů, velikost a počet suků, odklon vláken či velikost výsušných trhlin. Dále se posuzuje

⁶² CROCETTI, Roberto, Andrew LAWRENCE a Ishan ABEYSEKERA, 2022. The CLT Handbook-Confederation of Timber Industries [online]. In: . 1:2022. UK: Swedish Forest

⁶³ ING. JÍRŮ, Marie. Vícepodlažní budovy z křížem vrstveného dřeva [online]. Praha, 2016 [cit. 2023-01-08]. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc

⁶⁴ Panely z vrstveného masivního dřeva - nová estetika dřeva, možnosti využití v interiéru. M, Pavlas. Brno : VUT v Brně, 2013. Sborník anotací Juniorstav 2013. 978 80 214 4669 4.

i stav řeziva v závislosti na vlivu škůdců od množství poškození hmyzem, přes hniloby a případné zabarvení nebo i zakřivení části řeziva. V případě velkých výrobních závodů je tento proces již automatizován a v praxi se tedy používá převážně strojní zatřídění. To se provádí nejběžněji na základě průhybu. Jedná se o metodu, kdy se na prvek umístí zkušební zařízení, na které je vyvinuta definovaná síla a následně dojde ke změření průhybu daného prvku řeziva. Na základě získané ohybové pevnosti a tuhosti se určuje jakostní třída. Díky přesnému měření lze definovat lépe jakostní třídy a lze i zajistit větší škálu rozřazení na jakosti, a tím i zajistit větší škálu převedených hodnot do pevnostních tříd. Toto lze provést na základě stávajících norem ČSN 73 2824-1, ČSN EN 1912 a ČSN EN 338. Podle zatřídění dále dochází k zohlednění dle Eurokódu 5 pro návrh a provádění nosných dřevěných konstrukcí. Dle výroby CLT v tuzemsku zpravidla dochází k využití nejčastěji řeziva o pevnostní třídě C24. Výhodou CLT je ale i možnost využití řeziva s nižší pevnostní třídou u příčných vrstev. Je však nutné dbát na zachování jednotné pevnostní třídy v rámci jedné dané vrstvy.

Takto rozřazené řezivo se následně egalizuje do požadovaných rozměrů jednotlivých lamel. Následně dochází k vyspravení vad. V případě výroby lepených panelů je kladen velký důraz na zajištění stejnotvárnosti lamel s cílem vytvoření rovnoměrného povrchu pro vytvoření rovné plochy pro lepidlo. Protože v případě nerovnoměrného povrchu by při rozložení tlaku při lisování došlo k vytvoření výrobních nedokonalostí, které by vedly ke snížení pevnosti. Takto ohoblované lamely jsou tedy připraveny pro výrobu CLT panelu a jsou následně skladovány v klima komorách za účelem zachování vlhkosti.⁶⁵

b) Sestavení výrobku

Konstrukce panelu je složena z jednotlivých lamel do vrstev, které jsou následně poskládány v lichém počtu kolmo na sebe. Tento princip probíhá na automatických linkách CNC, které pracují na základě vložení výrobní dokumentace definované nejčastěji v systému CAD. Technologie sestavení panelu

⁶⁵ Dřevostavby z CLT panelů - jak se dělá masivní dřevěný panel [online], 2024. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>

se rozděluje na část přípravy lamel pro spojení, pak následné nanášení lepidla a lisování. Poté dochází k úpravám na daných panelech dle individuálních požadavků na základě projektu.

Egalizované lamely se na výrobní hale krátí na požadované délky. Poté dojde k seskládání jednotlivých lamel na sraz. V tomto navazujícím kroku nastává rozdíl ve stylu výroby, který se odvíjí od charakteru panelů. A to, zda se jedná o panel mechanicky spojovaný či lepený. U mechanicky spojovaných panelů dochází k dalšímu rozřazení na základě spojovacích prostředků. Pro panely spojované vruty nebo hřeby je definován rastr určující umístění mechanického spoje. Pro každý takový panel platí pravidlo určující minimálně dva kusy mechanického spojovacího prvku na jedno křížení lamel. Pro mechanické spojovací prostředky se využívají kolíky ze dřeva. Nejčastěji se jedná o tvrdé dřevo z dubu či buku. Do seskládaných lamel o vlhkost 12 % se předvrtají otvory o stanoveném průměru 20 mm, do kterých se následně vkládají kolíky o stejném průměru, ale o vlhkosti mezi 6-8 % a pak dojde k přisazení další lamely z další vrstvy.⁶⁶ V důsledku absorpce vlhkosti dojde k nárůstu rozměru v důsledku bobtnání kolíku, a tím je vytvořen tuhý spoj. V případě lepených panelů se rozlišují dva styly výroby. Panel vyrobený na principu k sobě lepených vrstev a panel vyrobený k sobě lepených vrstev i lepených lamel. Obecně při lepení panelů dochází k nánosu vrstvy lepidla o rozměru 0,1 až 0,3 mm. Pro výrobu lepených panelů se rozlišuje celá škála používaných druhů lepidel od jednosložkových emulzí, polyuretanových, aminových, izokyanátových a fenolických lepidel. V důsledku toho každý výrobce na základě používaného lepidla upravuje výrobní proces, tedy čas tvrdnutí lepidla. Dále každý výrobce musí garantovat zdravotní nezávadnost, a to za pomoci mezinárodních certifikátů. Díky nim dokládá, že lepidlo nevylučuje formaldehyd.⁶⁷

Po sestavení lamel do tvaru daného parametru dochází ke spojení jednotlivých vrstev. Pro stěnové panely jsou nejčastěji navrhovány liché počty vrstev a pro stropní panely pak vrstvy, které jsou orientovány podle směru rozponu

⁶⁶ PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2, str.č. 13-15

⁶⁷ Stora Enso Wood Products-Building Solutions [online], 2015. Stora Enso, 330 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.cltcz.info/docs/Technicka-slozka-CLT-CS.pdf>

v lichých vrstvách a sudé kolmo na ně. Toto je definovaný postup z hlediska statické únosnosti.

V případě spojování vrstev lepením dochází k lisování za studena. Toto lisování může být hydraulické či vakuové. V případě hydraulického lisování se jedná o účinnější způsob, který je využíván ve většině případů. Tlak, který je při tomto lisování používán je v rozmezí 0,1 až 1 MPa. Jedná se o jeden řád vyšší hodnotu pro lisování než při lisování vakuovém, kde hodnoty jsou cca 0,02 až 0,1 MPa. Hodnoty tlaku se liší u výrobců, a to především na základě použitého lepidla a schopnosti přesného obrobení jednotlivých lamel.

Následně po vytvoření panelu dochází k finálnímu broušení povrchů dle projektu a ke strojovému vyřezání jednotlivých částí pro drážky, okna, dveře či prostupy. Poté se jednotlivé dílce konstrukcí štítkují a připravují k expedici.⁶⁸

c) Export

Dle značení výrobku dochází k jeho manipulaci na skladě, tak aby se zajistil převoz konstrukčního prvku k objednavateli na stavbu. Nejběžněji dochází k dopravě kamionové, ale jsou případy kdy se využije železniční či lodní dopravy při přepravě na velké vzdálenosti.

Každý vyrobený panel je uchycen a zajištěn pro přepravu tak, aby nedošlo k jeho poškození, a to zejména otačením či průhybu. Každý výrobce individuálně uzpůsobuje přepravu pro své účely, ale z pravidla se jedná o přepravu panelových konstrukcí, které mají své maximální délkové rozměry do 18 m a výškové rozměry do 3 m. Každý z výrobců to řeší svou technologií, ale zpravidla se již ve výrobním závodě připravují oka pro následnou rychlou manipulaci s panely na stavbě za pomoci jeřábu.⁶⁹

⁶⁸ NESTLE, Hans, 2005. Moderní stavitelství: pro školu a praxi. Praha: Eurpa-Sobotáles cz. ISBN 80-86706-11-7., st.č. 114

⁶⁹ : Hemmati, M.; Messadi, T.; Gu, H. Life Cycle Assessment of, Cross-Laminated Timber, Transportation from Three Origin,Points. Sustainability 2022, 14, 336., <https://doi.org/10.3390/su140103366>, str.č. 2-3

3.2.4.Prvky křížem vrstveného dřeva

Křížem vrstvené dřevo je v současnosti materiálem, který díky svým vlastnostem získává ve stavebnictví možnost všestranného využití. Systém CLT jakož to systém těžkého skeletu dává možnost výrobcům vyrobit celý objekt za pomoci jedné technologie. Dnes se běžně dodávají stavebníkům konstrukční prvky jak stěnové, tak i stropní či střešní.⁷⁰

a) Stěnový panel

Systém stěnových panelů z CLT představuje moderní alternativu pro dané konstrukce. Mají velkou výhodu již při malých tloušťkových dimenzích, u kterých jsou schopné přenášet zatížení. Panely z CLT jsou schopny plnit nosnou funkci již od tloušťky 60 mm. Při zvyšování zatížení dochází k rozšíření dimenzí panelů, pro které je limitní rozměr 160 mm tloušťky, od kterého dochází k nárůstu váhy konstrukčního prvku. U konstrukcí malých dimenzí v rozmezí 60-160 mm jsou značné možnosti použití i pro výstavbu vícepatrových objektů.⁷¹

Konstrukce vrstev panelu umožňuje jedinečný způsob přenosu zatížení, kdy svisle orientované vrstvy přenášejí většinu zatížení a horizontální vrstvy zajišťují prostorovou tuhost konstrukce. Konstrukce stěn v případě povrchových vrstev je vytvořena tak, že lamely jsou orientovány vždy svisle, jak je patrné z obrázku 9.



Obrázek 9 – Ukázka CLT stěnového panelu⁷²

⁷⁰ WORMUTH, Dierks, 2007. Baukonstruktion. Germany: Werner Verlag, 894 s. ISBN 978-3-8041-5045-4.,st.č. 96-100

⁷¹ JAF HOLZ SPOL. S R.O, 2024. MATERIÁL PRO MODERNÍ DŘEVOSTAVBU [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.jafholz.cz/shop/materialy-pro-drevostavby/clt-panely~c14611667>

⁷² ČESKÉ STAVBY.CZ, 2024. Z čeho se skládá stavební systém NOVATOP? [online]. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/z-ceho-se-sklada-stavebni-system-novatop-25101.html>

Jednotlivé skladby a dimenze vrstev se mohou lišit dle výrobních technologií jednotlivých výrobců. Nejčastěji, ale dochází k výrobě panelů, které mají shodnou tloušťku vrstev. V případě velkorozponových atypických konstrukčních celků není výjimkou provádění odlišných dimenzí, a dokonce se může stát porušení lichého počtu vrstev v případě snahy dosažení architektonických významů. Jedná se ale o modifikaci CLT technologie, která není běžně používána z důvodu elegantní eliminace přenosu zatížení za pomoci lichých vrstev.⁷³

Díky možnosti využití malých dimenzí konstrukcí, mají stěnové systémy z CLT výhodu oproti klasickým stavebním materiálům v možnosti vytvoření celkově subtilní skladby. U skladby o tloušťce 280 mm je možné splnění základních požadovaných hodnot dle norem ČSN 73 0540-2, a tím lze docílit požadovaných standardů na nízkoenergetické, ale i především pasivní objekty. Proto je zde i výhodou možnost vylepšení poměru mezi užitnou a zastavěnou plochou.

Schopnost CLT konstrukcí, a to tedy i stěnových částí, má značné výhody i z pohledu energetické efektivity. Je to zapříčiněno samotnými dobrými vlastnostmi dřeva, ač tedy i při dimenzích 160 mm tloušťky nosné konstrukce nelze použít CLT panel samostatně bez dodatečného zateplení. Výhodou je při opláštění konstrukce z CLT ochrana nosné části před povětrností.⁷⁴

Tabulka 1- Průřezové hodnoty stěnových panelů z CLT⁷⁵

| OZN | Hodnota | Jednotka | Hodnota | Jednotka | Hodnota | Jednotka |
|---|---------|-----------------------|---------|-----------------------|----------|-----------------------|
| Rozměl tloušťkové dimenze | 62 | mm | 84 | mm | 124 | mm |
| Plocha průřezu | 60000 | mm ² | 84000 | mm ² | 124000 | mm ² |
| Moment setrvačnosti I (podélně) | 1,3E+07 | mm ⁴ | 2,7E+07 | mm ⁴ | 62830000 | mm ⁴ |
| Moment setrvačnosti I (příčně) | 7450000 | mm ⁴ | 2,4E+07 | mm ⁴ | 1E+08 | mm ⁴ |
| Podélný modul průřezu W | 418000 | mm ³ | 632000 | mm ³ | 1010000 | mm ³ |
| Příčný modul průřezu W | 240000 | mm ³ | 576000 | mm ³ | 1620000 | mm ³ |
| Součinitel prostupu tepla U | 1,55 | W/(m ² *K) | 1,24 | W/(m ² *K) | 0,89 | W/(m ² *K) |
| Fázový posun | 2,7 | h | 4,2 | h | 7,1 | h |
| Poznámka: Hodnoty jsou definovány dle systému novatop pro jiné výrobce se mohou lišit | | | | | | |

⁷³ KOLBA, Josef, 2011. Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště. Praha: Grada Publishing, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3., str.č.115

⁷⁴ KOLBA, Josef, 2011. Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště. Praha: Grada Publishing, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3., str.č.117

⁷⁵ Upraveno dle PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0055-2.7, str.č.16

V tabulce průřezových hodnot stěnových panelů z CLT je patrné zlepšení tepelně-technických vlastností při navýšení konstrukční tloušťkové dimenze panelu. Je zde patrné zlepšení možnosti akumulace tepla, a díky tomu lze dosáhnout lepší tepelné pohody zejména v letních měsících.⁷⁶

Stěnové panely z CLT jsou montovány podélně. Tento princip limituje konstrukce objektů do modulu podlaží do 3 m. Z tohoto důvodu dnes výrobci těchto konstrukcí již nabízí možnost výroby panelů, které lze orientovat opačným způsobem, kdy se délkový rozměr stává výškou a naopak. K tomu je nutno přihlídnout ve výrobě, aby došlo ke správnému orientování jednotlivých vrstev a vytvoření vnějších vrstev orientovaných svisle dolů. Tento způsob osazení stěnových panelů se volí převážně pro vytvoření vícepodlažních budov za účelem vytvoření schodišťových a výtahových traktů.⁷⁷ Toto je patrné z obrázku 10.



Obrázek 10 – Ukázka uložení stěny přes více podlaží⁷⁸

⁷⁶ NOVATOP-AGROP NOVA A.S., 2010. NOVATOP SOLID Technická dokumentace [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74385/F1-DP-2018-Benes-Jan-priloha-datovy%20list_NOVATOP_SOLID.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

⁷⁷ STORAENSO, 2012. KONSTRUKCE HRUBÉ STAVBY [online]. [cit. 2024-01-03]. Dostupné z: <https://www.cltcz.info/docs/Konstrukce-hrube-stavby-CS.pdf>

⁷⁸ WOOD LIFE, 2024. Domy z CLT panelů [online]. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.woodlife.cz/domy-a-chaty/stavby-a-domy-z-clt>

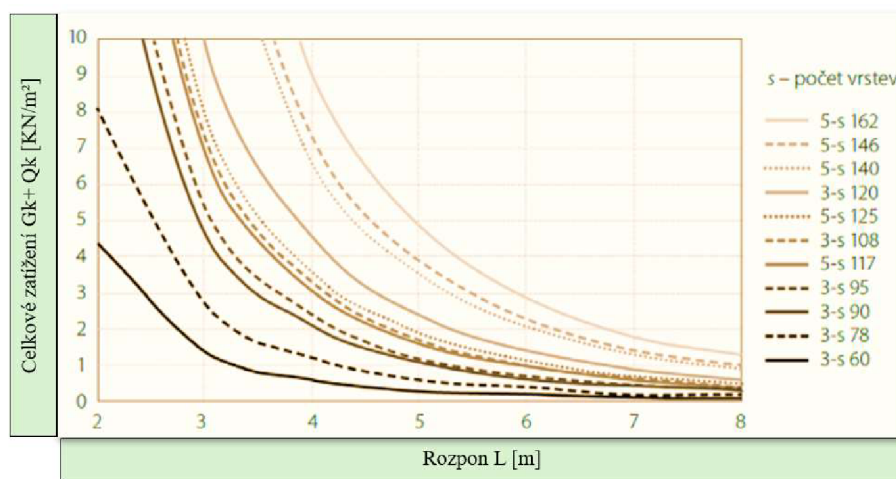
b) Stropní a střešní panely

Konstrukce stropních CLT panelů mají podobnou skladbu jako panely stěnové. Jejich hlavním rozdílem je vyšší tloušťková dimenze a hlavně nárůst počtu vrstev dle systémových řešení výrobců pro dané rozpory. Stropní panel je konstruován tak, aby povrchové lamely byly ve směru uložení panelu čili ve směru s rozpětím. Vnitřní kolmé vrstvy zajišťují obdobně jako u stěnových tuhost konstrukce.⁷⁹

Výhodou těchto panelů je možnost využití konstrukčních prvků za účelem jak stropních konstrukcí, tak i konstrukcí plochých a šikmých střech. Tyto elementy lze využít pro konstrukce okolo 7 m. Pro větší rozpory není zajištěna efektivita použití panelu k poměru ceny a váhy samotné konstrukce.

Z důvodu nárůstu dimenze stropních či střešních elementů z hlediska tloušťky, dochází k neúměrnému zatížení konstrukce v důsledku její hmotnosti. Za účelem orientačního návrhu pro účely výstavby jsou k dispozici v současnosti grafy jako je například Orientační výpočtový graf pro tloušťky 60-162 mm. Definuje se zde poměr mezi překlenovanou vzdáleností a tloušťkou panelu.⁸⁰

Graf 2 - Orientační výpočtový graf pro tloušťky CLT 60-162 mm⁸¹



⁷⁹ CROCKETTI, Roberto, Andrew LAWRENCE a Ishan ABEYSEKERA, 2022. The CLT Handbook-Confederation of Timber Industries [online]. In: . 1:2022. UK: Swedish Forest Industries Federation, s. 156 [cit. 2024-03-13]. ISBN ISBN 978-91-985212-2-1. Dostupné z: <https://gfagrow.org/wp-content/uploads/2018/06/CLT-Guide-PDF.pdf>

⁸⁰ NOVATOP, 2019. NOVATOP-dimenze konstrukcí [online]. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/ke-stazeni/>

⁸¹ Upraveno dle NOVATOP, 2019. NOVATOP-dimenze konstrukcí [online]. [cit. 2024-02-10]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/ke-stazeni/>

Pro stropní konstrukce se nabízí dvě možnosti provedení stejně jako u konstrukcí stěnových. Jde o princip přiznané konstrukce či systém zakrytí konstrukce systémovými deskami. Při vytvoření přiznané konstrukce dojde k nutnosti dodání vyšší jakostní třídy panelu a nutnosti řešení elektroinstalace v panelech či vytvoření celého architektonického konceptu se záměrem obnažených a přiznaných rozvodů po stropní části. Za to výhodou zakryté konstrukce podhledem je schování případných instalací i za cenu skrytí estetických výhod CLT.

Nevýhodou celoplošných systémů CLT jsou aspekty doprovázející nutnost vytvoření prostupů v rámci výroby pro instalace a další části. Dále je zde problém zajištění vhodného provedení budoucí skladby stropu či střechy, za účelem eliminace kročejového hluku. Toto se snaží výrobci CLT stropních panelů eliminovat vložením pružných těsnících vrstev v podobě pásků mezi stěnové a ostatní panely. V důsledku akustiky dochází k problematice, kdy takovéto panely bez pomoci technických řešení nevyhoví současným standardům.⁸²

Dnešním alternativním způsobem řešení pro střešní a stropní panely z CLT je možnost výstavby z vrstevnatých trámových konstrukčních systémových panelů. Jedná se o způsob, který se využívá při větších rozponech, kdy cena a spotřeba materiálu u klasického CLT neúměrně roste. Tento systém se vyznačuje lehkostí konstrukce a vysokou statickou únosností, a i přes odlišnou konstrukci se jedná o dnes již certifikovaný systém CLT výstavby.

Takovéto alternativní konstrukce mají vyšší tloušťku než klasické CLT panely, ale jsou v rámci úspory materiálu efektivnější. To je podmíněno poměrem mezi hmotností a únosností.⁸³

Konstrukce těchto alternativních panelů se skládá z horní a dolní vrstvené desky, které jsou propojeny žebry nebo trámy v příčném a podélném směru. Prázdný prostor vzniklý mezi opláštěním lze vyplnit tepelnou či akustickou izolací. Další výhodou bývá možnost provedení instalací v prostoru žeber, ale je nutné dbát

⁸² PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2., str.č.17

⁸³ NOVATOP, 2019. NOVATOP-dimenze konstrukcí [online]. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/ke-stazeni/>

na přípravu prostupů dle doporučení stanovených výrobcem. Tím pádem lze v interiéru docílit na pohled stejného vjemu jako při provedení klasických pohledových CLT. Dnes je tento systém nejvíce využíván v rámci systémových řešení Novatop.⁸⁴

Další alternativou může být provedení konstrukcí žebrového stropu. Standardně se jedná o princip panelové konstrukce z CLT na subtilnější bázi doplněný o dřevěný lepený lamelový nosník. Tato konstrukce vzniká slepením jednotlivých ploch na sebe a následně po ustálení vzniká jeden prvek. Takový prvek vzniká již ve výrobě a je následně stejným principem jako klasické CLT převážen na stavbu.

Vhodné je u žebrového stropu zmínit vzdálenost mezi žebry, která se pohybuje od 400 do 600 mm u stropních elementů. V případě střešních elementů se jedná o rozteč 600 až 1200 mm. Hlavní výhodou pro tento systém je možnost překonání rozponů do 10 m při dobrém poměru ceny k materiálu. Proto se toto řešení dnes v zahraničí provádí u objektů s cílem dosažení volných dispozic, a to převážně pro kancelářské objekty či budovy občanské vybavenosti, a i zejména v případě průmyslových provozů. Toto je zapříčiněno i možností vedení instalací TZB v prostorech mezi žebry a následně je zakrýt podhledem a zachovat stále přiznanou část nosné konstrukce.⁸⁵

⁸⁴ NOVATOP, 2019. NOVATOP-dimenze konstrukcí [online]. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/ke-stazeni/>

⁸⁵ FPInnovations. CLT Handbook. Québec : FPInnovations, 2011. KARACABEYLI, Erol a Sylvain GAGNON, ed., 2019. Canadian CLT Handbook. In: Canadian CLT Handbook [online]. FPInnovations: FPInnovations, s. 812 [cit. 2024-03-14]. ISBN 978-0-86488-592-0. Dostupné z: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>, str.č. 7

3.3. Konstrukce CLT

3.3.1. Konstrukční spoje

Konstrukční spoje hrají klíčovou roli ve stabilitě CLT konstrukcí. Přesnost a správnost navrhovaných spojů s jejich správným provedením zajišťují přenos sil. Díky dobře provedeným spojům dochází k dosažení požadované únosnosti.⁸⁶

Konstrukční spoje CLT panelů jsou dnes řešeny za pomoci vrutů, hřebíků, ocelových kotev a profilů. Všechny z těchto uvedených spojovacích prostředků lze uplatnit v rámci kotvení všech konstrukčních detailů od kotvení k základu, přes napojení stěn, až po napojení konstrukčních detailů stropů a střech. Pro řešení těchto spojů je možné volit různá řešení od realizace skrytých spojů až po možnost řešení příznaných viditelných propojení. Dnes lze za účelem zajištění vzduchotěsnosti stavby provádět po vytvoření spoje přetěsnění za pomoci utěsňující pásky či PUR lepidlem. U konstrukcí navrhovaných s příznáváním CLT panelu dospíváme k nutnosti zajištění spojů, aby nenarušovaly estetiku a design celého konceptu návrhu. Z důvodu nezbytnosti tohoto řešení dnes výrobci nabízí řešení všech standardních spojů ve skryté variantě. V případě, že by mělo dojít k příznání spoje, je možné jej začlenit do architektonického návrhu, díky již existujícím kotvicím prvkům, které jsou opatřeny pohledovou hlavou.

Výhodou provádění výše uvedených suchých spojů je hlavně rychlost montáže. Jde vlastně o možnost, využití maximální rychlosti takovéto montáže ve spojení s kombinací rychlé výstavby z prefabrikovaných dílců, kdy je díky tomuto docíleno výstavby hrubé konstrukce v řádu několika hodin či dní.⁸⁷

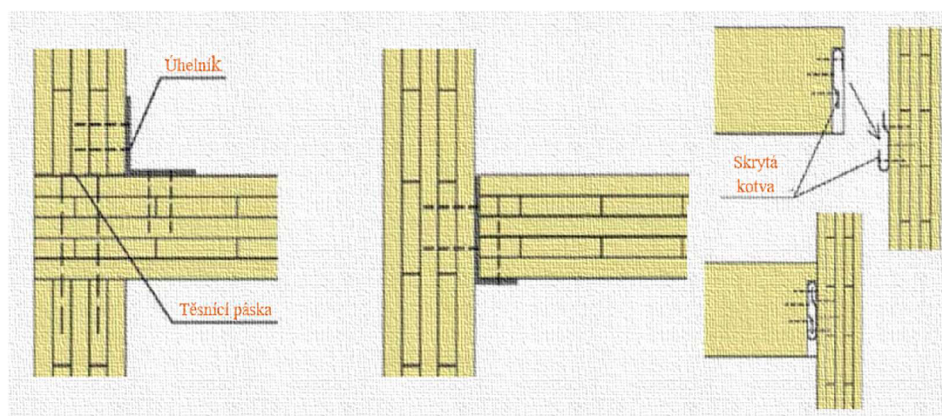
V případě řešení konstrukčních spojů je nutno řešit několik klíčových detailů napojení, dnes mnohdy již systémově řešených. Jedním ze základních konstrukčních detailů je napojení konstrukce CLT panelu na základovou desku. Pro řešení tohoto spoje je již známo několik variant. Jednou z variant je systém kotvení za pomoci ocelových úhelníků či děrovaných ocelových plátů. Takovéto spoje jsou

⁸⁶ DVORÁK, Jiří, 1985. Stavebná mechanika pre 2. a 3. ročník stredných priemyselných škôl stavebných. Bratislava: Alfa. Edícia stavebnickej literatúry (Alfa). ISBN 80-901570-7-6., str.č. 154

⁸⁷ Stora Enso Wood Products-Building Solutions [online], 2015. Stora Enso, 330 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.cltcz.info/docs/Technicka-slozka-CLT-CS.pdf>

nejčastěji řešeny tak, že úhelník je na chemickou kotvu přikotven k betonové desce a následně po vytvrzení je úhelník propojen s CLT deskou za pomoci vrutů či hřebů. U tohoto řešení se dnes nabízí dva systémy provádění, a to přes podkladní základový hranol či osazení CLT přímo na základ. V případě využití podkladního hranolu je zvýšená ochrana CLT konstrukce a zajištění jednoduššího způsobu osazení panelu v důsledku zajištění vyrovnání povrchu základu. Z hlediska provedení kotvení konstrukce přes úhelníkový spoj, nedochází k přiznání této konstrukce. Poté dojde k jejímu zakrytí v místě styku s podlahovou vrstvou.⁸⁸

Pro řešení spojů je nutné si přiblížit i řešení v rámci napojování jednotlivých panelů. Častým spojem bývá délkové či rohové napojení dílců panelů, které jsou dnes již systémově řešeny. Spoje tohoto typu se provádí ve dvou variantách, a to ve skryté a přiznané. U viditelného řešení se standardně jedná o napojení za pomoci vrutů či hřebů. Jedná se o rychlé montování konstrukce na dané místo. Zpravidla v případě rohových spojů dochází k exteriérovému prokotvení konstrukce a následnému zakrytí izolační vrstvou, jako je patrné na souboru obrázků 11.



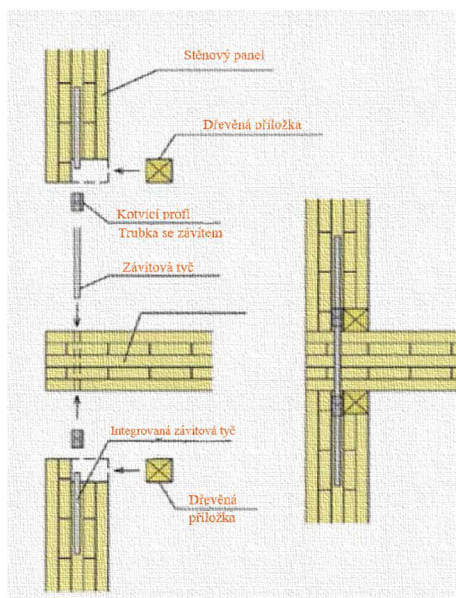
Obrázek 11- Řešení spoje mezi svislým a vodorovným panelem⁹⁰

⁸⁸ KONSTRUKCE MEDIA, S.R.O., 2323. Standard provádění detailů CLT konstrukcí a těžkých skeletů [online]. 2023 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://konstrukce.cz/materialy-a-technologie/standard-provadeni-detailu-clt-konstrukci-a-tezkych-skeletu-1318>

⁸⁹ KONSTRUKCE MEDIA, S.R.O., 2323. Standard provádění detailů CLT konstrukcí a těžkých skeletů [online]. 2023 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://konstrukce.cz/materialy-a-technologie/standard-provadeni-detailu-clt-konstrukci-a-tezkych-skeletu-1318>

⁹⁰ Upraveno dle PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0055-2.7, str.č.27-28

V případě skrytých řešení se jedná o systém příložek za pomoci speciálních kotvicích vrutů s estetickým zakončením. Tyto řešení jsou patrná na obrázku 12.⁹¹



Obrázek 12- Skrytý spoj napojení panelů mezi patry⁹²

Podélné napojování stěn ke stropním či střešním panelům se provádí za pomoci dvou konstrukčních řešení. Prvním z nich je řešení známé jako plošinový systém neboli platform-plate. Jde o princip, že po ukončení podlaží dojde k zaklopení nosné části panelové konstrukce CLT stropním či střešním panelem, který je následně prokotven do stěn. Druhý způsob je systém řešení známý jako ballon-frame, kdy stěnové panely probíhají přes více podlaží. Zaklápěcí panel vymezující podlaží je zakotven za pomoci vrutů či hřebů přes ocelové pásnice ke konstrukci. Obdobou pro toto bývá řešení skrytého zadlabaného spoje za pomoci osazovacího háku. Tyto varianty jsou patrné na obrázku 11.⁹³

Dalším dnes hojně využívaným systémem pro řešení CLT konstrukcí, je systém konstrukce CLT využívající integrovaných závitových tyčí či trubek.

⁹¹ HAJEK, Václav, 2019. Stavíme ze dřeva. 1. Pelřimov: Sobotáles. ISBN 8085920441. <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>, str.č. 7

⁹² PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0055-2.7, str.č.29

⁹³ PAVLAS, Marek, 2016. Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0055-2.7, str.č.27-28

U závitových tyčí dochází k osazení již ve výrobě. Dojde k předvrtání otvoru a osazení závitové tyče za pomoci chemické kotvy či úhelníku s vruty. Poté dochází k nástavbě k montáži a osazení adaptéru s matkou. Obdobně se to provádí i u trubek, které jsou osazovány do panelů za pomoci závitových šroubů. Na stavbě dojde k osazení kotvícího profilu mezi osazované protilehlé trubky a k za aretování konstrukce. Oba principy mají výhodu v minimalizaci množství prací na staveništi, a dochází tak k úspoře času v rámci prací na stavbě a zajištění tak i rychlosti montáže. Další výhodou je vyšší požární odolnost, ale za to i s tím rostoucí cena. Toto řešení je vhodné hlavně pro vícepodlažní objekty.⁹⁴

Jedním z dnes nejhojněji využívaným konstrukčním spojem, je využití kombinace CLT panelu s dalším materiálem. Jednou z takových kombinací je varianta sprážením konstrukcí panelu a oceli. Jedná se o využití primárně pro stropní konstrukce při možnosti oceli překlenout větší rozpon a zachování otevřené dispozice. Dnes je jedním z takových klíčových spojů využití v rámci stropu, kdy dochází k uložení panelu na I profil, který lze integrovat do konstrukce či jej přiznat v rámci dispozice. Jedná se o způsob řešení moderních vícepodlažních objektů, u kterých je toto řešení nutné provést kvůli přenesení velkých zatížení s možností zachování dispozice.⁹⁵

3.3.2. Mechanické vlastnosti

Dřevo je jedním z nejdéle využívaným a používaných materiálů člověkem. Jde o materiál, který lze charakterizovat jako organický, anizotropní, nehomogenní a hydrokopický materiál.⁹⁶

V posledních letech zaznamenáváme nárůst v užívání dřeva při výstavbě. Je to způsobeno i díky vlastnostem dřeva. Zejména tedy jeho možností opracování, lehkostí konstrukcí a izolačními vlastnostmi.

⁹⁴ SUSTAINABLE CONSTRUCTION SERVICES - COPYRIGHT, 2013. CLT connection [online]. 2013 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.cltcrosslaminatedtimber.com.au/products/connectors-brackets-fixings/clt-wall-wall-connection>

⁹⁵ CROCETTI, Roberto, Andrew LAWRENCE a Ishan ABEYSEKERA, 2022. The CLT Handbook-Confederation of Timber Industries [online]. In: . 1:2022. UK: Swedish Forest Industries Federation, s. 156 [cit. 2024-03-13]. ISBN ISBN 978-91-985212-2-1. Dostupné z: <https://gfagrow.org/wp-content/uploads/2018/06/CLT-Guide-PDF.pdf>

⁹⁶ BORŮVKA, Vlastimil a Marián BABIAK, 2022. Vlastnosti dřeva v příkladech. Druhé vydání. [Praha]: Česká zemědělská univerzita v Praze. ISBN 978-80-213-3198-3., str.č. 7

Dalším možným vlivem je fakt, že se jedná o materiál, který je šetrný k životnímu prostředí a je možné zajistit i jeho reprodukovatelnost.⁹⁷

Mechanické vlastnosti materiálů charakterizují chování v důsledku působení vnějších sil. Pro přírodní materiály, a tedy i pro dřevo, lze charakterizovat vlastnosti jako je pevnost, tvrdost, houževnatost a pružnost. Tyto vlastnosti nás u materiálů ze dřeva zajímají za účelem posouzení vhodnosti využití dřeva v rámci konstrukce.⁹⁸

Pevnost dřeva charakterizuje jeho odolnost proti mechanickému poškození. Pevnost rozlišujeme nejčastěji na pevnost v tlaku, v ohybu, tahu a smyku. Tyto vlastnosti z hlediska materiálu závisí na druhu dřeviny a tím spojené hustotě, vlhkosti či vadách a dalších obdobných faktorech.

Tvrdost dřeva je udávána odolností materiálu proti vniknutí jiného materiálu. Jedná se o stěžejní vlastnost, kdy se tvrdé dřevo obtížněji opracovává a v důsledku toho dochází při jeho zpracování k finančním ztrátám, které jsou spojeny s opotřebením nástrojů. Tvrdost dřeva je podmíněna druhem dřeva, hustotou a vlhkostí.

Houževnatost dřevního materiálu udává odolnost při dynamickém nárazovém zatížení. Jedná se o sílu, kterou definujeme množství vynaložené síly potřebné ke zlomení tělesa či tedy zkoušeného materiálu. Zajímavostí je možnost určení jakosti dřeva na základě vzhledu lomu. U nekvalitního dřeva dochází k čistému hladkému lomu. Dřevo o průměrných jakostních hodnotách má zubovitý lom a dřevo hodnocené jako nejvíce jakostní bude mít v důsledku takovéto zkoušky lom třískovitý s dlouhými vlákny.

Pružnost udává schopnost deformovatelnosti dřeva vlivem síly, kdy po odtížení silové části dojde k navrácení do původního tvaru. Dřevo, které je pružné je vhodné pro konstrukce, které jsou vystaveny dynamickému zatížení.

Dále pro chápání dřeva rozpoznáváme základní složení, které je strukturováno z cca 50 % obsahu celulózy, cca 22 % hemicelulózy a cca 22 %

⁹⁷ RŮŽIČKA, Martin, 2020. *Moderní dřevostavby*. Pardubice: Grada Publishing, 160 s. ISBN 978-80-247-3298-5., str.č. 63

⁹⁸ HAVLÍKOVÁ, Anna a Karel KOLÁŘ, CHAJDRNOVÁ, Jana, ed., 2012. *Stavební materiály: pro SPŠ stavební*. Protisk,s.r.o.: Grada Publishing, 208 s. ISBN 978-80-247-4070-6., č.s.51-58

ligninu. Těmito třemi základními látkami lze definovat buněčné stěny dřeva. Následných cca 6 % jsou extraktivní látky v podobě pryskyřice, tříslovin, tuků, vosků a dalších doplňujících látek.⁹⁹

Z důvodu výše uvedeného složení dřevní hmoty, a s tím spojených anizotropních a jiných vlastností, je dřevo nezbytné třídit dle jakosti. Provádí se to za účelem spotřebitelů a výrobců. Dochází tak ke snahám zajistit pro konstrukce a prvky určitý druh stejnorodosti.¹⁰⁰

3.3.3. Analytická metoda výpočtu CLT konstrukcí

Návrh prvků a konstrukcí křížem vrstveného dřeva dnes není specifikován a ani jednotně definován, dle jakých systémů či norem dochází k jejich návrhu. I přesto existuje několik variant, kterými lze tyto konstrukce navrhovat.¹⁰¹

Zpravidla dnes dochází k návrhu konstrukcí z CLT na bázi modifikovaných výpočtů či experimentálních zkoušek, z kterých jsou realizovány tabulky a grafy stanovené výrobcí. Dále se dnes pro tyto výpočty používají softwary, které byly vytvořeny přímo pro návrh CLT. Jedním z nejznámějších programů je software CLT designer.¹⁰² Byl navržen technickou univerzitou ve Štýrském Hradci v Rakousku. Další obdobou je možnost využití návrhů za pomoci aplikací od výrobců, jako je například Calculator program od Story Enso.¹⁰³ Dnes jsou k dispozici již statické programy, které za pomoci svých rozšíření dokáží počítat CLT konstrukci, ale jedná se o systémy, které z důvodu absence současné legislativy často předimenzovávají danou konstrukci.

⁹⁹ MIŠÁK, Milan, Luboš SVOBODA, Zdenka BAŽANTOVÁ a spol., 2007. Stavební Hmoty. 2. Bratislava: JAGA GROUP. ISBN 978-80-8076-057-1., str.č.274

¹⁰⁰ STEIGER, Ludwinf, 2007. *Holzbau*. Berlín: Birkhäuser, 96 s. ISBN 978-3-7643-8084-7., č.s.7

¹⁰¹ KARACABEYLI, Erol a Sylvain GAGNON, ed., 2019. Canadian CLT Handbook. In: Canadian CLT Handbook [online]. Québec. FPInnovations: FPInnovations, s. 812 [cit. 2024-03-14]. ISBN 978-0-86488-592-0. Dostupné z: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>

¹⁰² TYPO3 CMS. CLT Designer [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.clt designer.at/en/>

¹⁰³ STORA ENSO. Stora Enso calculatis [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>

Výše uvedené metody lze definovat stanovení statických výpočtů jako operace, které byly modifikovány z aktuálního nedoplňného Eurokódu 5 či ČSN EN 1990 – Zásady navrhování konstrukcí, ČSN EN 1991 – Zatížení konstrukcí a také z ČSN EN 1995 – Navrhování dřevěných konstrukcí.

Výpočtové programy mají dnes své jádro ve výpočtových metodách a postupech definovaných a modifikovaných z již stávajících fungujících metod jiných konstrukcí a materiálů. Za tímto účelem lze definovat různé základní metody výpočtu, jako jsou: Experimentální, Metoda kompozitní teorie, Metoda smykové analogie a Gama metoda.¹⁰⁴

Experimentální metody lze definovat jako techniky, určující výsledné hodnoty na základě stanovení experimentu. Jedná se o použití nákladných systémů návrhu, a proto se převážně využívají ve vědeckém výzkumu. Například díky experimentům je dnes pro CLT konstrukce známo, že v důsledku zatížení a deformování tělesa z křížem vrstveného dřeva dochází k pootočení nebo posunům vrstev.¹⁰⁵

Pro metodu kompozitní teorie neboli K-metodu je charakteristické relativně jednoduché definování výpočtů, které je limitované charakteristickými prvky. Pro návrh touto metodou se využívá systém tabulek, v kterých jsou obsaženy jen základní statická schémata, proto je tato metoda vhodná pro ověření složitějších metod výpočtů. Pro vypočtení napětí se využívá průřezových charakteristik celých dílců, u kterých se neuvažuje s vlivem přesných vrstev a dochází k zanedbání smykového napětí. Z toho důvodu jsou dimenze navrhovaných průřezů výraznější oproti jiným způsobům. Kvůli absenci vrstev a eliminaci smykových sil je pro zjednodušení vytvořen součinitel k_i , který definuje materiálovou hodnotu pro daný kus konstrukce. Tento součinitel je uveden ve statických tabulkách.¹⁰⁶

¹⁰⁴ STEIGER, Ludwinf, 2007. *Holzbau*. Berlín: Birkhäuser, 96 s. ISBN 978-3-7643-8084-7., č.s.7 KARACABEYLI, Erol a Sylvain GAGNON, ed., 2019. *Canadian CLT Handbook*. In: *Canadian CLT Handbook* [online]. Québec: FPInnovations: FPInnovations, s. 812 [cit. 2024-03-14]. ISBN 978-0-86488-592-0. Dostupné z: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>č.s.7

¹⁰⁵ HALAMA, Radim. *Pružnost a pevnost - interaktivní studijní materiál* [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/pruznost_pevnost_obraz.pdf

¹⁰⁶ LOKAJ, Antonín, Pavel DOBEŠ a Radek PAPESCH, 2018. *Ohybová tuhost vybraných CLT panelů* [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/17481-ohybova-tuhost-vybranych-clt-panelu>

Smyková analogie je velice přesným způsobem výpočtu. Z důvodu toho se jedná o poměrně složitý způsob, který nelze provést bez využití statických programů. Při výpočtu dochází ke kalkulování i s příčnými vrstvami CLT a s jejich schopností přenášet zatížení. Díky této metodě a jejímu dobrému vnímání struktur lze aplikovat na většinu konstrukcí křížem vrstveného dřeva, a to i na lepené či mechanicky spojované konstrukce panelů. Hlavní myšlenkou je úvaha dělení panelu do dvou nosníků, které jsou spojeny nekonečnou řadou kyvných tuhých prutů. Smyslem vytvoření dvou nosníků je snaha o rozdělení vnitřních sil v rámci nich, kdy na jednom působí vlastní ohybová pevnost jednotlivé vrstvy dle neutrální osy. Zato u druhého nosníku dochází k přenosu smykové pevnosti panelu a pružnosti modulu spojení daných vrstev. Propojením tohoto nosníku dojde k přesnému definování daných vlastností celého průřezu.¹⁰⁷

Poslední metodou je metoda vycházející z Eurokódu 5, konkrétně z přílohy B a ČSN EN 1995-1 Navrhování dřevěných konstrukcí. Jedná se tedy o Gama metodu. Jedná se o relativně zajímavý způsob výpočtu pro stanovení vlastních prvku konstrukce. Metoda je nejpřesnější při využití na prostých nosnících se spojitým zatížením. Nevýhodou je nutná závislost jednotlivých průřezových charakteristických veličin na průběhu vnitřních sil. Z hlediska konstrukce panelu jsou zatížení uvažována jen pro vrstvy podélných lamel. Vrstvy lamel v příčném směru jsou definovány včetně spojovacích prostředků a jejich modul pružnosti je roven nule. Bohužel je zde nutno zajistit rozdílný přístup k výpočtu z hlediska konstrukce panelu, a to jak pro lepené, tak i mechanicky spojené panely.¹⁰⁸

Přestože CLT panely nejsou úplnou novinkou a jsou na trhu již více než 25 let, očekává se až v nadcházejících letech příchod novelizace Eurokódu 5, a jejich definování v rámci legislativy. To by mělo zapříčinit a sjednotit evropské stanovování výpočtů a charakteristik konstrukcí z CLT.¹⁰⁹

¹⁰⁷ MENČÍK, Jaroslav, 2019. Aplikovaná mechanika materiálů [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/72947/Aplikovan%C3%A1%20mechanika.pdf>

¹⁰⁸ DLUBAL, 2014. Aplikovaná mechanika materiálů [online]. [cit. 2024-01-22]. Dostupné z: <https://www.dlupal.com/cs/podpora-a-skoleni/podpora/databaze-znalosti/000873>

¹⁰⁹ KUKLÍK, Petr. Vícepodlažní dřevostavby z křížem vrstveného dřeva. Stavebnictví [online]. 2023(01-02) [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vicepodlazni-drevostavby-z-krizem-vrstveneho-dreva.html>

3.3.4. Stavební fyzika

Stavební fyzika je oblast stavebnictví zabývající se energetickou náročností budov a také jejich vnitřním a vnějším prostředím. Je zde zájem především u dřevostaveb, a to nevyjímaje CLT stavby o zjišťování tepelných a vlhkostních vlastností daných konstrukcí. Dalšími vlastnostmi, které jsou pro stavební fyziku určující, jsou akustika a například světelná technika.¹¹⁰

Tabulka 2 – Stanovení prostupu tepla pro CLT panel 100 mm Stora Enso¹¹¹

| OZN | Výpočet |
|--|---|
| Koeficient prostupu tepla | $U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}}$ |
| Odpor při přestupu tepla | $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ |
| Tepelná vodivost CLT | $\lambda_{CLT} = 0,11 \text{ W/mK}$ $[\lambda = 0,000146 \cdot 512 \text{ kg/m}^3 + 0,035449 = 0,110 \text{ W/mK}]$ |
| Koeficient prostupu tepla | $U_{CLT,100} = \frac{1}{0,13 \text{ m}^2\text{K/W} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,11 \text{ W/mK}} + 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}}$ $= 0,927 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Poznámka: Hodnoty stanovené v tabulce vyplývají z výpočtu pro CLT panel tloušťky 100 mm firmy Storaenso. Pro výpočet byl brán ohled i na odpor při prostupu tepla v rámci exteriéru a interiéru. | |

Z hlediska řešení tepelně izolačních vlastností materiálů nás zajímá hodnota U, koeficientu prostupu tepla. Při výpočtu této hodnoty musíme definovat polohu konstrukce a tepelnou vodivost materiálu. Pro dřevo lze určit tepelnou vodivost na základě objemové hmotnosti a vlhkosti. To lze převést v praxi do vzorce, dle kterého dojde ke stanovení tepelné vodivosti CLT panelu dle tabulky 2. Hodnota tepelné vodivosti je 0,11 W/mK pro CLT při charakteristické objemové hmotnosti 512 kg/m³ a vlhkosti 12 %. Tato hodnota byla potvrzena ústavem SP Technical Research Institut of Sweden. Z tohoto nám vyplývá následný výpočet a samotná

¹¹⁰ MIŠÁK, Milan, Luboš SVOBODA, Zdenka BAŽANTOVÁ a a spol, 2007. Stavební Hmoty. 2. Bratislava: JAGA GROUP. ISBN 978-80-8076-057-1., str.č. 26

¹¹¹ Upraveno dle STORA ENSO. Součinitel prostupu tepla panelu CLT [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt_technical-documentation_building-physics_2021-10-11_final_cs.pdf

hodnota prostupu tepla. Další hodnoty pro jiné dimenze CLT panelu lze odečíst z grafu 3.¹¹²

Graf 3 – Grafická metoda posouzení koeficientu prostupu tepla k tloušce CLT panelu¹¹³



Další zmíněnou vlastností je vlhkost. Vlhkost lze definovat jako množství vodní páry, která je obsažena ve vzduchu v danou chvíli. Voda je nebezpečným činitelem, který u staveb nesmírně ovlivňuje funkčnost, jak stavebních materiálů, tak i pohodu v rámci užívání objektu. Stavební materiály v důsledku nepříznivých změn vlhkosti degradují, a tak dochází ke snížení pevnosti, ale i tepelné vodivosti. Z tohoto důvodu musejí být stavby a jejich konstrukce co nejvíce ochráněny před veškerými druhy vlhkosti. Proto dřevostavby, a tedy i stavby z CLT, ukazují v tomto směru svou výhodu oproti zděným stavbám, a to v tom že výstavbou takovýchto staveb lze docílit maximálně suchého druhu výstavby. Jediné, co je ve vztahu k tomuto nutné zmínit je, že v důsledku vlastností samotného dřeva je nezbytné, aby vlhkost v objektu neklesla pod kritickou úroveň, kvůli nutnosti obsahu minimální vlhkosti dřeva. Dle obrázku 13 jsou patrná problematická místa a druhy vlhkosti působící v objektu a na něj. V důsledku těchto jevů se dnes

¹¹² STORA ENSO. Součinitel prostupu tepla panelu CLT [online]. [cit. 2024-03-14].

Dostupné z: https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt_technical-documentation_building-physics_2021-10-11_final_cs.pdf

¹¹³ Upraveno dle STORA ENSO. Součinitel prostupu tepla panelu CLT [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://www.storaenso.com/-/media/documents/download-center/documents/product-brochures/wood-products/clt_technical-documentation_building-physics_2021-10-11_final_cs.pdf

setkáváme s mnoha možnostmi ochrany konstrukcí, přes hydroizolační vrstvy a části spodní stavby, až po zajištění izolační struktury u střeš. ¹¹⁴

Z hlediska CLT konstrukcí je nutné definovat, že panely o třech a více vrstvách jsou neprodyšné, ale ne parotěsné. Což znamená, že v těchto konstrukcích je umožněna difuze a lepená spára vytváří parozábranu s izolační úrovní. ¹¹⁵



Obrázek 13 – Typická zatížení budov vlivem vlhkosti ¹¹⁶

¹¹⁴ STORA ENSO, 2012. Stavební fyzika [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.cltsk.info/wp-content/uploads/2019/10/Vlhkost-CS.pdf>, str.č. 1-2

¹¹⁵ STORA ENSO, 2012. Stavební fyzika [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.cltsk.info/wp-content/uploads/2019/10/Vlhkost-CS.pdf>, str.č. 3-4

¹¹⁶ STORA ENSO, 2012. Stavební fyzika [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.cltsk.info/wp-content/uploads/2019/10/Vlhkost-CS.pdf>, str.č. 1

4. Metodika

4.1.1. Popis problematiky

V první části diplomové práce došlo k nabití znalostí na téma konstrukce křížem lepeného dřeva. V rámci tohoto přiblížení problematiky je poukazováno na současné fungování těchto konstrukcí a vlastností s možnostmi jejich využití za účelem následného použití v návrhu objektu.

Poté došlo k výběru projektu a zpracování architektonické studie na bázi, které byly vypracovány následující cíle práce.

Hlavním cílem této diplomové práce bylo zpracování projektu ve stupni realizační dokumentace pro prefabrikovanou dřevostavbu z CLT panelů. Tento návrh zohledňuje dnešní technologie využívané při výrobě CLT, a proto byl vypracován výstup na CNC. Zároveň bylo pro toto řešení vypracováno pět detailů, které zohledňují technologii křížem lepeného dřeva. Součástí práce bylo vytvoření technické zprávy pro zajištění celistvosti informace o daných technických řešeních.

Dále byl proveden statický posudek na vybrané části konstrukce a následně na vybrané spoje. Již pro tento výpočet byl zohledněn potencionální dodavatel a na základě dat od subdodavatele došlo ke stanovení statického posudku.

Poté byl zpracován posudek vybraných částí konstrukce z hlediska stavební fyziky, a to již s přihlédnutím na možný konstrukční systém a s tím spojené vlastnosti materiálů.

V neposlední řadě byl vypracován orientační rozpočet, pro možnost odhadu cenové hladiny výstavby.

5. Praktická část

5.1. Výběr stávající studie

Na základě prozkoumání možností řešení výběru již existujících projektů či architektonické studie, bylo vybráno hmotové řešení a struktura objektu z bakalářské práce z České zemědělské univerzity v Praze, a to z Fakulty lesnické a dřevařské. Jedná se o projekt zpracovaný v bakalářské práci z roku 2022 s názvem Návrh technického řešení obytné dřevostavby pro nízkonákladové bydlení. Byl napsán pod vedením Ing. Ondřeje Dvořáka, Ph.D. a autorem byl Bc. Bohumil Zoufalík.

Projekt z této práce byl vybrán za účelem přetvoření stávajícího systému sloupkové dřevostavby do funkčního systému CLT prefabrikované panelové výstavby o podobných parametrech. Nový systém konstrukce je řešen tak, aby splnil požadované standardy na konstrukční systém.

5.2. Požadavky investora

Pro umístění stavby byl vybrán investorem pozemek v lokalitě Praha Pitkovice nacházející se na jihovýchodě hlavního města. Návrh objektu je koncipován na ulici Křemenáčová, kde stávající investor má k dispozici pozemky s parcelními čísly 168/105, 168/94, 168/95, 168/96, 168/97, 186/1, 186/10, 186/6, 186/7, 186/8, 186/9, 187/3, 226/1, 226/29.



Obrázek 14 - Přiblížení územního celku v místě výstavby ¹¹⁷

¹¹⁷ GEOREPORT. IPR Praha [online]. 2024 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://georeport.iprpraha.cz/>

Přáním investora bylo vytvořit na této ploše jednopodlažní objekt typu bungalov pro využití celoročního obývání. Na základě toho by po dohodě měl objekt optimálně splňovat kritéria pro pasivní dům.

Dále byl pro tento účel vybrán objekt, který splňuje kritérium investora s přáním řešení půdorysného tvaru objektu do tvaru písmena L.

Při volbě studie bylo přihlédnuto k přání investora na zajištění co největšího využití půdorysného rozměru pro společné obytné plochy a s tím spojenou možnost využití i exteriérového vyžití přístupných z obytných částí.

5.3. Urbanistické řešení

Pro stavbu bungalovu byl zvolen pozemek s parcelním číslem 168/96 o výměře 1014 m². Jednalo se dle představ investora o první pilotní fázi v postupu přeměny lokality v bytovou zónu. Tato parcela byla vybrána z důvodu krajního umístění. Je přímo přístupná z komunikace a již zasíťována z ulice Křemenáčova. Vyjma komunikace je jediným dotčeným pozemkem stavbou bungalovu sousedící pozemek na jihozápadní straně.

Při návrhu stavby byl kladen důraz na zajištění minimálního narušení komfortu žití stávajících rezidentů. Za tímto účelem bylo přihlédnuto k možnosti využití velikosti parcely a objekt je proto umístěn ve vzdálenosti 9 metrů od hranice zastavěné stávající parcely na jihozápadě. Dále odstup od komunikace je navržen a zajištěn ve vzdálenosti 8 m z důvodu vymezení uliční čáry přilehlým objektem na jihozápadní straně. Pro dodržení platných ustanovení bylo dohodnuto s investorem, že zastavěná plocha nepřesáhne 30 % plochy parcely. V celkovém řešení objektu se počítá s terasou na jižní straně objektu a dále i s vytvoření parkovací plochy pro minimálně 2 auta.

5.4. Dispoziční a hmotové řešení

Objekt je koncipován jako jednopodlažní budova s plochou střechou. Hmotově se jedná o obdélníkový objekt, který má z jižní části vystouplý prostor o zhruba 5 m a vytváří tak dojem tvaru písmene L.

Ze severní strany se nachází hlavní vstup, kterým se vstupuje do zádveří. Z tohoto prostoru lze dále projít do technické místnosti nacházející se po levé straně

od vstupu nebo lze volně od vstupu projít do chodby, z které lze dále pokračovat do všech prostorů objektu. Od vstupu do chodby se po pravé straně nachází nejmenší obytná místnost, která je koncipována jako pracovna. Dále přímo proti vstupu je vstup do hlavní ložnice objektu s přístupem na terasu. Na chodbě vedle vstupu do hlavní ložnice se nachází dveře do pokoje, z kterého je také přístup na terasu. Při vstupu do chodby se v levé části nachází průchod do kuchyňského a jídelního prostoru, který při jeho průchodu volně navazuje na obývací prostor, z kterého je přístup na terasu. Dále se při vstupu do chodby na levé straně nachází dvojice dveře, přičemž jedny jsou přístupové do koupelny a druhé na WC.

5.5. Základní popis konstrukčních řešení

Jednopodlažní objekt a jeho řešení se rozkládá na půdorysném rozměru 127,5 m² o profilu plochy písmene L. Celé řešení vrchních nosných konstrukcí je řešeno s přihlédnutím a přáním na zajištění prefabrikovaných dílců. Doplňující konstrukce a části jsou řešeny systémově.

Pro stavbu je vybrán nejprve systém založení objektu, a to na základových pasech s deskou. Je vybrán z důvodu rozšířenosti technologie provádění tohoto druhu zakládání v tuzemsku. Po stržení ornice, kterou lze v zadní části pozemku využít k vyrovnání povrchu, bude vytvořen vhodný povrch pro budoucí založení objektu. Obvodové pasy jsou provedeny v dimenzi o šířce 400 mm a výšce 900 mm provázáním na základovou desku, která má rozměr 160 mm.

Vrchní konstrukce objektu je dále řešena systémově. Pro řešení materiálové a obecně technické problematiky je vybrán systém řešení DEK, který je doplněn o systémové nosné konstrukce StoraEnso. Princip výstavby vrchní části je vytvořen v šířkových dimenzích nosných částí stěn 120 mm a stropu/střechy 160 mm o materiálovém řešení formou StoraEnso panelů tvořeného pěti vrstvami lamel. Konstrukce obálky budovy je řešena systémově podle DEK.

Pro řešení skladby stěn je využit systém DEK skladby upravený pro místní potřeby působnosti s montáží na CLT. Tento princip řešení je využit i při řešení střechy, kdy kompletní souvrství i s řešením atikové konstrukce je provedeno systémově dle DEK střech. Střešní plášť je řešen jako jednoplášťový systém. Pro

řešení atiky je zvolen systém staveništního sestavení konstrukce dle doporučení dodávek DEK wood.

Návrh podlahy a její řešení vyplývá ze snah dohody kompromisu a vyhovění požadavkům investora spolu se systémovým řešením DEK v doprovodu s řešením Fermacell.

Pro vnitřní nenosné části je zvolena montáž pomocí sádkartonové konstrukce dle návodu a systému DEK. Veškeré nenosné části konstrukce jsou navrženy v systému akustik pro zajištění komfortního užívání objektu.

Při řešení objektu je kladen důraz na konstrukční spoje a detaily zakončení. Proto jsou pro veškeré konstrukce nosné části spoje řešeny systémově dle doporučení dodavatele prefabrikovaných panelů. Systémové řešení detailů zajišťuje vhodné parametry pro dlouhodobé užívání objektu. Pro celistvost byly detaily řešeny dle systému DEK. Stěžejní částí detailů a nutnosti i následného statistického posouzení je problematika při napojení stěnového a střešního panelu a zároveň problematiky propojení a provázání střešních panelů mezi sebou. Veškeré spoje využívají spojovacích prostředků Rothoblaas.

5.6. Skladba konstrukčních částí

Skladby obvodového pláště jsou navrženy a následně napočítány za pomoci programu DEK Soft. Všechny dostupné výstupy jsou v příloze této práce.

5.6.1. Skladba obvodové stěny

Skladba obvodového pláště je koncipována ve dvou řešeních. Odlišnost těchto řešení je v zakryté konstrukci všech CLT stěn krom jedné. V tomto jednom případě se jedná o přiznání nosné části konstrukce a pouze zde se počítá s pohledovou kvalitou CLT, tím pádem jsou ze skladby eliminovány vrstvy 1 až 7 dle tabulky 3.

Tabulka 3 – Skladba obvodové nosné stěny

| Skladba obvodové nosné stěny | | |
|--|--|-----------------|
| OZN | Název vrstvy | Tloušťka vrstvy |
| | | [m] |
| 1 | DEKFINISH Bílá malba EXTRA | |
| 2 | DEKPRIMER EASY | |
| 3 | Jemný finální tmel FERMACELL | |
| 4 | FERMACELL Spárovací tmel | |
| 5 | sklotextilní páska FERMACELL TB | |
| 6 | FERMACELL s TB hranou | 0,013 |
| 7 | kovový rošt + vzduchová mezera | 0,040 |
| 8 | CLT panel | 0,100 |
| 9 | weber.therm technik | 0,007 |
| 10 | Ejothem STR H | |
| 11 | ISOVER TF PROFI | 0,200 |
| 12 | VERTEX R131 | |
| 13 | DEKTHERM ELASTIK | 0,005 |
| 14 | weberpas podklad UNI - podkladní nátěr | |
| 15 | weberpas - extraClean active | 0,002 |
| Součet počítaných vrstev pro prostup tepla | | 0,366 |
| Celková projektová dimenze stěny | | 0,370 |
| Vypočtená hodnota prostupu tepla pro skladbu 0,161 W/(m2.K)-bez předstěny 0,162 W/(m2.K) | | |
| Poznámka: vrstvy uvedené šedým písmem nejsou ve výpočtu uvažovány. | | |

5.6.2. Skladba střešního pláště

Střešní plášť je řešen systémově dle skladby DEK pro ploché střechy. Nosnou konstrukci tvoří CLT panel z 5 vrstev lamel od dodavatele StoraEnso. Panely jsou vždy uloženy a podepřeny minimálně ze dvou rovnoběžných stran a následně propojeny s ostatními panely za pomoci systémového řešení StoraEnso systémem Rhothoblaas.

Tento princip konstrukce je z interiérové části po celé ploše zakryt podhledem, o dimenzi 180 mm. V technické místnosti je podhled snížen dle požadavků technologie. Z exteriéru došlo k zakrytí konstrukce systémovou skladbou DEK. Jedná se o jednoplášťovou skladbu. Konstrukce je navržena na základě doporučení technické podpory a s tím i návrh řešení atiky, která jako jediná z konstrukcí nosné části není dodána v CLT podobě, a to je především zapříčiněno cenou.

Tabulka 4 – Skladba střešního pláště

| Skladba střešního pláště | | |
|--|---|-----------------|
| OZN | Název vrstvy | Tloušťka vrstvy |
| | | [m] |
| 1 | DEKFINISH Bílá malba EXTRA | |
| 2 | DEKPRIMER EASY | |
| 3 | DEKFINISH Finální tmel | |
| 4 | DEKFINISH Spárovací tmel | |
| 5 | samolepicí tkaninová bandáž | |
| 6 | RIGIPS Sádrokartonová stavební deska RB (A) | 0,0125 |
| 7 | DEKFINISH Spárovací tmel | |
| 8 | RIGIPS Sádrokartonová stavební deska RB (A) | 0,0125 |
| 9 | Profily R-UD | |
| 10 | Profily R-CD | 0,1550 |
| 11 | Profily R-CD | |
| 12 | systémový závěs | 0,0380 |
| 13 | CLT panel | 0,1600 |
| 14 | TOPDEK AL BARRIER | 0,0022 |
| 15 | EPS 100 | 0,2000 |
| 16 | spádové klíny EPS 100 | 0,2500 |
| 17 | 7 MAPEPLAN T M | 0,0015 |
| Součet počítaných vrstev pro prostup tepla | | 0,8317 |
| Celková projektová dimenze střechy | | 0,8300 |
| Vypočtená hodnota prostupu tepla pro skladbu 0,094 W/(m ² .K) | | |
| Poznámka: vrstvy uvedené šedým písmem nejsou ve výpočtu uvažovány. | | |

5.6.3.Skladba podlahy na terénu

Podlaha na terénu je řešena systémem Fermacell přes řešení DEK partner. Vlastnosti podlahy by se daly ze stávajícího poměru vylepšit, obzvláště vlastnosti součinitele prostupu tepla, které v rámci řešení jsou vyhovující, ale v případě posílení této části konstrukce dle přání investora je realizace možná.

Z důvodu snahy o zlepšení konstrukce a její řešení je systém optimalizován pro podmínky stavby tohoto bungalovu. Skladba byla nejprve v první fázi navrhována systémově dle přesné skladby, ale po prokonzultování s technikou DEK je do konstrukce doplněna nad vrstvu štěrkového lože vrstva z pěnového skla o dimenzi 50 mm. Důležité v rámci konstrukce je zmínit, že v rámci spodních vrstev se uvažuje s odvětráním radonu z pod základovou deskou. Tato možnost byla přidána do optimalizované skladby z důvodu o definování validního výsledku. Pro zlepšení hodnot v rámci prostupu tepla je možnost navýšit rozměr pěnového skla, ale jedná se o relativně nákladný proces z toho důvodu byla konstrukce navržena tímto způsobem.

Tabulka 5 – Optimalizovaná skladba podlahy na terénu

| Skladba podlahy na terénu | | |
|---|---|-----------------|
| OZN | Název vrstvy | Tloušťka vrstvy |
| | | [m] |
| 1 | Povrchová úprava pro obytnou místnost | 0,0091 |
| 2 | ISOBOARD | 0,0055 |
| 3 | FERMACELL systémová frézovaná deka pro podlahové topení s odrazovou vložkou | 0,0250 |
| 4 | FERMACELL Podlahový prvekdesky | 0,0500 |
| 5 | Isover EPS 150 | 0,0700 |
| 6 | DEKSEPAR | 0,0002 |
| 7 | Betonová mazanina | 0,0002 |
| 8 | SBS modifikovaný asfaltový pás 2x | 0,0400 |
| 9 | Železobeton | 0,0080 |
| 10 | Štěr z pěnového skla REFAGLASS frakce 0-63 1 m3 | 0,1600 |
| 11 | Štěr | 0,2000 |
| Součet počítaných vrstev pro prostup tepla | | 0,0500 |
| Celková projektová podlahy | | 0,2000 |
| Vypočtená hodnota prostupu tepla pro skladbu 0,22 W/(m2.K) | | |
| Poznámka: vrstvy uvedené šedým písmem nejsou ve výpočtu uvažovány. | | |
| Poznámka: vrstvy celkové projektové podlahy jsou uvažovány bez položek 9-11 | | |

5.6.4. Vnitřní nosná stěna

Vnitřní nosná stěna je řešena CLT panelovou konstrukcí. V návrhu se nachází v současné době 3 nosné vnitřní stěny a poté ještě jedna, která ze své větší části tvoří obvodovou nosnou stěnu.

Všechny stěny z CLT jsou v projektu řešeny v dimenzi tloušťky 120 mm. Vnitřní stěny tedy nejsou výjimkou a jejich opláštění v interiéru je řešeno systémem předstěny Fermacell.

5.6.5. Vnitřní příčky

Systém příček je řešen dle DEK skladby. Jedná se o stěnu vnitřní příčky pod obchodním názvem Akustik. Toto řešení je zde z důvodu snahy odizolovat okolní prostory a zároveň vytvořil prostor pro instalace. V případě řešení těchto stěn se počítá s tloušťkou okolo 100 mm.

5.7. Statické řešení konstrukčních prvků

Pro stanovení dimenzí konstrukčních CLT prvků je vybrána software od StoraEnso. Z důvodu návrhu a dodávky panelů od stejnojmenné firmy, je začlenění posudku přes tento software vhodným řešením, které zohledňuje přímo dané výrobní parametry panelů StoraEnso.

Veškeré hodnoty jakož to výpočet vlastní tíhy či zatížení sněhem a větrem jsou uvažovány a vyhodnoceny dle výpočtu v softwaru StoraEnso. Při výpočtu vlastní tíhy je zohledněna možnost umístění solárních panelů na střechu.

Z důvodu malého zatížení celkové konstrukce v poměru k možnostem CLT je standardně uvažováno pro malé objekty s nižší dimenzí nosných dílců. Celkově se na únosnost a návrh objektu jako je bungalov uvažuje s konstrukcemi o rozměrech stěn do 100 mm a střešních panelů do 220, ale z důvodu následného posouzení na požární odolnost konstrukcí je u projektu uvažováno s dimenzí stěn 120 mm a dimenzí střechy 160 mm.

Dále díky takovému návrhu dimenze je možnost zajištění přímých spojů konstrukcí, kdy systém CLT se navzájem přímo prokotvuje spojovacími prvky Rothoblaas.

Pro spoje mezi stěnovými a střešními panely je nadimenzován spojovací prvek Rothoblaas HBS 8/260 na základě statického výpočtu.

U dimenzování propojení mezi střešními panely došlo k nutnosti složitějších výpočtů v rámci návrhu, z důvodu nutnosti posouzení více směrů a možností propojení panelů. Pro návrh jsou zpracovány dvě možnosti využití spojovacího prostředku. Spoj je dimenzován jako střídavý spoj se spojovacím prostředkem, který je umístěn pod úhlem 45° a provázán s prvky. První statický výpočet je pro návrh spoje se spojovacím prostředkem Rothoblaas VGS 9/160, ale kvůli zvýšení namáhání spoje se provedl a je dále primárně v projektu uvažováno s návrhem spojovacího prostředku Rothoblaas VGS 11/150. Tento spojovací prostředek dosahuje dle stanovených hodnot lepších výsledků.

Po posouzení všech výše uvedených řešení je systém objektu navržen s přihlédnutím na vliv povětrnosti, ale i požární odolnosti a na základě toho je ze statického hlediska konstrukce předimenzována, aby tedy splnila hlavně parametry na vliv požáru. Konstrukce střechy a stěn nepřesahují v sumarizaci v žádných hodnotách únosnost a jsou navrženy, tak že jejich zatěžování je v nejvyšší hodnotě pouze na 55 % u střešního panelu a u stěnového do 10 %.

5.8. Technické řešení objektu

5.8.1. Vytápění, voda a větrání

Pro řešení topení v objektu je uvažováno s instalací podlahového topení po celém objektu. Dále se uvažuje v místě koupelny s osazením kombinovaného radiátoru.

V rámci vytápění a získávání teplé vody je důležité zmínit řešení přes kombinovaný akumulární kotel, který bude napojen jak na tepelné čerpadlo vzduch/voda, tak i na budoucí soustavu solární elektrárny umístěnou na střeše.

Výkon získaný z těchto zařízení pokryje potřeby objektu a zároveň solární přebytky budou moci být využity pro akumulaci v baterii či přeprdej do energetické sítě.

Pitná voda se získává z veřejného řádu a slouží pro potřeby objektu v suchých měsících i pro zalévání zahrady. Jinak je pro objekt navržena dešťová jímka, z které

Ize vodu využít pro potřeby zahrady. Veškeré rozvody vody jsou řešeny způsobem instalace v instalačních předstěnách.

Dále je v objektu uvažováno s umístěním rekuperační jednotky a rozvodu soustavy po domě. Za tímto účelem je již ve výrobě v CLT panelech vytvořen prostup na CNC. Ač je v návrhu počítáno s rekuperací, tak v místě kuchyně bude zhotovena i příprava pro digestoř.

5.8.2. Elektroinstalace

Elektroinstalace jsou řešeny v dimenzích potřeb stanovených investorem. Rozvod veškeré instalace je uvažován v předstěnách a podhledech. Umístění rozvodné skříně v rámci objektu je v místě zádveří u hlavního vchodu, ze kterého je po objektu rozvedena veškerá kabeláž.

Dále se uvažuje s dodatečným osazením solární elektrárny a umístěním akumulčního bateriového zdroje. S touto možností se počítá, a proto byla zvolena větší dimenze rozvodné skříně pro splnění platných nařízení pro provozování domácí solární elektrárny.

5.9. Výrobní dokumentace

5.9.1. Obecně k vypracování dokumentace

Součástí práce je vypracování výrobní dokumentace vybraných částí dřevostavby. Za tímto účelem je dokumentace vyhotovena v 2D softwaru AutoCad a pro přesnější ukázkou investorovy byl vyhotoven 3D model stěnové konstrukce v programu Domus 3D Pegasus patrný na obrázku 15 níže.



Obrázek 15 - Schéma stěnové prefabrikované konstrukce objektu ¹¹⁸

¹¹⁸ Bohumil Zoufalík - Zdroj vlastní – Výstup ve 3D, součást přílohy výrobní dokumentace

Jednotlivé nosné konstrukce prefabrikovaných CLT dílců budou dovezeny na stavbu a následně spasovány k sobě a až poté dojde k jejich opláštění. Proto je nutné již při návrhu výrobní dokumentace počítat s otvory a prostupy v konstrukci.

V návrhu střešní dokumentace se uvažuje se 4 prostupy, a to konkrétně s prostupy pro elektroinstalaci, odvětrání kanalizace, vstup na odvětrání radonu a s vstupem pro přímý přístup do technické místnosti.

U stěnových panelů bylo počítáno s prostupy skrz panely pro rekuperační jednotku, elektro, vodu a odpad v místě kuchyně a digestoř. Jinak dalšími otvory v panelech jsou navrženy dveře a okna. U těchto panelů muselo dojít i k zakreslení předvrtávaných míst pro budoucí propojení stěnového panelu na stěnový panel z důvodu technických zásad StoraEnso.

Jednotlivé panely se navzájem kotví systémem Rothoblaas a u základové desky dojde k propojení panelu k základu za pomoci L-profilu 105x95x4 mm s vruty a ocelovými kotvami do betonu M10X150. Po dokončení propojení spodní části panelové konstrukce bude provedena montáž střešní části panelů k stěnovým panelům a k propojení jednotlivých dílčích panelů jak ve směru x tak i y. Poté dojde k montáži systémových skladeb a následným dokončovacím pracím.

5.9.2. Dokumentace pro CNC

V projektu byla vypracována dokumentace v softwaru Autocad pro CLT panely, a to jak stěnové, tak střešních. Jedná se o rozkreslení dílčích stěn a pak i podrobné půdorysné rozkreslení střešních panelů doplněné o řezy v uzlových místech.

U tohoto řešení má každá čára ve výkresu výrobní dokumentace definované parametry pro CNC na základě přiděleného spektra barev. Všechny specifikace pro režimy kreslení, jako je například poloha hlavice, nebo zda dojde k průchodu středem čáry či její krajní hranou, byly stanoveny pomocí nastavení CNC stroje ve výrobě.

6. Diskuze

Využití CLT panelů při návrhu staveb, jakožto i tohoto bungalovu, odhaluje mnoho výhod a přínosů spojených s přírodním materiálem, zatímco současně zdůrazňuje jeho udržitelnost a spolu s tím slučuje využití moderního pojetí konstrukce těžké dřevostavby.

V první řadě bylo důležité zmínit budoucnost stavby a její schopnosti v rámci používání. Z tohoto důvodu je často již v počátku návrhu nutné přihlédnout k orientaci objektu, která může být efektivněji plánována s ohledem na přírodní sluneční světlo a s tím spojené tepelné zisky, čímž může být dosaženo lepší energetické efektivity a úspor v provozních nákladech.

Použití půdorysného tvaru L nabízí další výhodu, neboť umožňuje maximální využití denního světla a optimalizuje prostorové využití, což vytváří příjemnější a funkčnější prostředí pro obyvatele. Tento půdorysný tvar také usnadňuje propojení interiéru s exteriérem a vytváří atraktivní a harmonické prostředí.

Stabilita konstrukce CLT přináší další výhodu, která umožňuje stavbu s vysokou odolností vůči různým vnějším vlivům, jako jsou například povětrnostní podmínky ve spojení s dalšími materiály, které vytvoří celistvou a kompaktní skladbu konstrukcí CLT. Díky tomu může být dosaženo dlouhodobé trvanlivosti a bezpečnosti objektu.

Návrh konstrukce s danou dimenzí CLT umožňuje efektivní využití materiálu. Díky pokročilým technologiím je možné přesně naplánovat a vyrobit CLT panely s optimálním využitím dřeva, což přispívá k udržitelnosti a snižuje environmentální zátěž. Dále díky výběru systému výstavby je možno již při počátku přihlédnout k systémovým řešením a samotnému přístupu dodavatelů CLT konstrukcí. Někteří výrobci umožňují komplexní řešení a vytvoření i statických posudků v rámci jimi vytvořeném programu pro jejich prvky a s tím možnost vytvoření optimalizované konstrukce pro danou problematiku.

Systémová skladba konstrukce CLT dává možnost vytvoření prefabrikovaného a flexibilního prostředí, které lze snadno přizpůsobit potřebám a požadavkům uživatele. Tato flexibilita umožňuje rychlé a efektivní úpravy a renovace bungalovu v budoucnu. Proto při návrhu objektu bylo přihlédnuto na

možnost systémových řešení spojené s dodávkou nosného systému od firmy StoraEnso s možností propojení na systém skladeb a dodávek materiálů od firmy DEK. Tito výrobci a dodavatelé mají díky svému zastoupení a komplexnímu přístupu na dnešním trhu výhodu a umožňují komplexní řešení a podporu pro každou jimi dodávanou stavbu.

Spojení konstrukčního systému CLT se systémovými skladbami DEK bylo vytvořeno s cílem a možností jejich využití. Dále i s vizí možností využití řešení výpočtů prostupů tepla přímo na oficiální a deklarované materiály. Toto je jeden z rozhodujících faktorů pro využití systémových dodávek, kdy oproti jiným výrobcům zde bylo s výhodou využito možnosti komplexní podpory pro tvorbu skladby stěn, podlahy a střechy.

Navzdory relativně vyšším nákladům na nosný systém CLT je možné tento materiál vhodně využít a stále zůstat cenově konkurenceschopnými. Tento fakt umožňuje vytvořit kvalitní a trvanlivý bungalov za přijatelnou cenu, čímž se stává CLT atraktivním materiálem. Navrhovaná stavba bungalovu byla orientačně naceněna dle programu Kros na cenu 4 642 564,6 Kč. Orientační rozpočtové stanovení je patrné v příloze této práce. Cena objektu při převodu na m² se pohybuje v relaci 33 578,51 Kč/1m². Toto šetření bylo provedeno za účelem možnosti porovnání ceny, kdy současné dřevostavby mají svou průměrnou cenovou hladinu nastavenou v relacích od 28 000 Kč až po 40 000 Kč za 1 m².

S ohledem na výše zmíněné lze říci, že výstavba bungalovu pomocí CLT panelů přináší mnoho výhod a přínosů, včetně udržitelnosti, flexibility a bezpečnosti. Tyto vlastnosti ukazují na širokou škálu možností a potenciálu, který tento materiál nabízí v moderním stavebnictví.

7. Závěr

Při řešení této práce došlo k vytvoření a ucelení pohledu na možnosti využití křížem vrstveného dřeva pro návrh dřevostavby. V práci je vytvořen chronologický postup, kde nejprve dochází k popsání historického, ale i současného užití dřeva vztaženého k dnešní době tak, aby byl podrobně zohledněn systém CLT konstrukcí. V průběhu práce je poukázáno na současné problematiku z hlediska dnešní výstavby, které nám lépe přibližují možnost budoucnosti v provádění konstrukcí z křížem vrstveného dřeva.

Stavby z CLT panelů a jejich konstrukce jsou dnes již hojně rozšířeným konstrukčním prvkem, který díky svým vlastnostem, vzhledu a možnostem získává stále větší pozornost v řadách odborníků, ale i široké veřejnosti. Jedná se o systém výstavby, který má v tuzemsku velké možnosti růstu a lze jej uplatnit nejen pro konstrukce rodinné výstavby, ale bude moci nalézt své uplatnění i při výstavbě bytových, kancelářských objektů či objektů občanské vybavenosti jako je tomu v zahraničí.

Aby bylo možné úspěšně řešit problematiku spojenou s výstavbou CLT, musí být zajištěny pro tento konstrukční systém dva základní parametry jakožto požární odolnost stavby a její energetická efektivita. V důsledku toho bylo identifikováno pět energetických standardů budov, které poskytují rámec pro návrh a výstavbu.

V oblasti dřevostaveb je dnes vidět snaha překonat tradiční používané nedřevěné materiály. S tím souvisí rozvoj a rozšíření různých systémů dřevostaveb, zejména s ohledem na minimalizaci energetických ztrát či optimalizaci využití energie. V průběhu let se vyvinuly různé druhy systémů skladeb a konstrukcí, které splňují stávající standard.

V průběhu teoretické části práce byly představeny vlastnosti CLT konstrukce a v doprovodu s tím byly definovány postupy řešení jeho konstrukčních možností a návazností. Díky velké škále systémových možností byly pro další práci vybrány nástroje pro možnost využití systémových řešení daných typů konstrukce.

Pro kompletní návrh výrobní dokumentace bylo nezbytné provést utřídění řešení a podmínek týkajících se technického vybavení budovy a propojení s pozemkem. To bylo zásadní pro zajištění správného technického řešení pro návrh

objektu. Při navrhování systémových řešení bylo nutné brát v úvahu energetické standardy a zajistit vhodné propojení s konstrukcí budovy. Budoucí technické vybavení objektu bylo integrováno v podobě příprav v rámci návrhu a zmíněno v technické zprávě. Byly využity prefabrikované dílce systému CLT od firmy StoraEnso a provázány na systémová řešení DEK.

Při zohlednění výše uvedených aspektů došlo k vypracování statického posudku na dané konstrukce a jejich detaily. Z důvodu nutnosti optimalizování konstrukce, tak aby splňovala požadovanou únosnost bylo nutné v průběhu návrhu zajistit rozšíření dimenzí stěn a stropů. Změna v rozměrech spojená s navýšením dimenze byla způsobena, hlavně z důvodu zahrnutí požárních požadavků na nosné konstrukce.

Následně s tím byl proveden i výpočet prostupu tepla, v kterém po určitých optimalizacích po konzultaci s DEK partnerem došlo k vyhovění požadavků na dané konstrukce.

Pro přiblížení ceny za danou konstrukci byl vyhotoven orientační rozpočet, který slouží k definování možné cenové hladiny objektu.

Celkově práce zahrnuje popsání a definování CLT konstrukcí a nabízí vhled do možného řešení stavby z tohoto systému.

8. Zdroje

8.1. Knižní zdroje:

HÁJEK, Petr, 2020. *Pozemní stavitelství I: pro střední školy se stavebním zaměřením*. Praha: Sobotáles. 296 s. ISBN 978-80-86817-49-1., č.s.11-15

DĚDEK, Ing. Miloň a Ing. František VOŠICKÝ, 2008. *Stavební materiály: pro 1. ročník SPŠ stavební*. Šesté, upravené. Sobotáles. 260 s. ISBN 978-80-86817-26-2., č.s.13-17

PAVLAS, Marek, 2016. *Dřevostavby z vrstevnatých masivních panelů*. Praha: Grada Publishing, 96 s. ISBN 978-80-271-0055-2.

RŮŽIČKA, Martin, 2020. *Moderní dřevostavby*. Pardubice: Grada Publishing, 160 s. ISBN 978-80-247-3298-5

KOLBA, Josef, 2011. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada Publishing, 320 s. ISBN 978-80-247-4071-3.

MAKANTASIS, Konstantinos, Nikolaos DOULAMIS a Athanasios VOULODIMOS. Recognizing Buildings through Deep Learning: A Case Study on Half-timbered Framed Buildings in Calw City. BZP Holz [online]. Technical University of Crete, Chania, Greece, 2010, 7 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: doi:10.5220

STEIGER, Ludwinf, 2007. *Holzbau*. Berlín: Birkhäuser, 96 s. ISBN 978-3-7643-8084-7.

NESTLE, Hans, 2005. *Moderní stavitelství: pro školu a praxi*. Praha: Eurpa-Sobotáles cz. 608 s. ISBN 80-86706-11-7.

VAVER, Jiří, 2008. *Dřevostavby pro bydlení*. Havlíčkův Brod: Grada Publishing, 376 s. ISBN 978-80-247-2205-4.

Building with cross laminated timber [online], 2010. In: . Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://www.it.brettsperrholz.org/publish/binarydata/Brettsperrholz/downloads/stg_hb_brettsperrholz_e_150dpi_101207.pdf

TYWONIAK, Jan. *Nizkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel., 193 s. ISBN 80-247-1101-x.

TYWONIAK, Jan. *Nizkoenergetické domy: principy a příklady*. Praha: Grada, 2005. Stavitel., 193 s. ISBN 80-247-1101-x

NAGY, Eugen, 2009. *Nizkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava: Jaga Group., 207 s. ISBN 978-8-0807-6077-9.

S, Gagnon. C, Pirvu. CLT handbook. Quebec : FPInnovations, 2010. ISBN 978-0-86488-547-0.

KARACABEYLI, Erol a Sylvain GAGNON, ed., 2019. Canadian CLT Handbook. In: Canadian CLT Handbook [online]. Québec. FPInnovations: FPInnovations, s. 812 [cit. 2024-03-14]. ISBN 978-0-86488-592-0. Dostupné z: <https://web.fpinnovations.ca/wp-content/uploads/clt-handbook-complete-version-en-low.pdf>

CROCETTI, Roberto, Andrew LAWRENCE a Ishan ABEYSEKERA, 2022. The CLT Handbook-Confederation of Timber Industries [online]. In: . 1:2022. UK: Swedish Forest

Hemmati, M.; Messadi, T.; Gu, H. Life Cycle Assessment of, Cross-Laminated Timber, Transportation from Three Origin,Points. Sustainability 2022, 14, 336., <https://doi.org/10.3390/su140103366>

WORMUTH, Dierks, 2007. Baukonstruktion. Germany: Werner Verlag, 894 s. ISBN 978-3-8041-5045-4.

8.1.1. Webové zdroje:

HORYUJI SANNAI IKARUGA-CHO, IKOMA-GUN, NARA JAPAN, 2013. Hōryūji [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <http://www.horyuji.or.jp/en/garan/>

HOME - BYTY DŮM STYL ZAHRADA. Plánujete dřevostavbu? [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/dum/drevostavby/planujete-drevostavbu-nerozhodujte-se-zbrkle/>

RD DŘEVO. STAVBA SRUBU [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.rddrevo.eu/stavba-srubu-na-sucho/>

MOSCA PARTNERS DESIGN VARIATIONS 2024, 2024. Three Defining Movements in Architectural Photography [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/900345/three-defining-movements-in-architectural-photography/5b74401df197cc47f6000070-three-defining-movements-in-architectural-photography-image>

RESERCHGATE- VLOŽIL-VICTOR DE ARAUJO, 2010. Baloon- PlatForm Frame [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Assembly-framing-sequences-of-balloon-and-platform-OBrien-2010_fig1_309127246

IDEADOM, 2024. RAUM-SK.115 каркасно [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://smart.ideadom.ru/raum-sk115>

PERGL, Jan. Nový dům za pár týdnů. Co jsou to rámové dřevostavby ?. Nazeleno.cz: Chytrá řešení pro každého [online]. Brno: Narrative Media, 2021 [cit. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/stavba/drevostavby/ramove-drevostavby-postavene-systemem-two-by-four-jsou-stale-oblibenejsi.aspx>

EMA DŘEVOSTAVBY, 2024. Pasivní dům v Babicích nad Svitavou [online]. 2024 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://em3.cz/project/pasivni-dum-z-clt-panelu/>

MEZISTROMY.CZ, 2018. Jsou dřevostavby cestou k trvale udržitelnému stavebnictví? [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.mezistromy.cz/drevostavby/trvale-udrzitelne-stavebnictvi>

NATURALLYWOOD. Cross-laminated timber (CLT) [online]. 2024 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.naturallywood.com/products/cross-laminated-timber/>

WIGO. CLT Timber [online]. 2024 [cit. 2024-02-07]. Dostupné z: <https://wigo.info/clt-timber>

MDPI and ACS Style, Di Bella, A.; Mitrovic, M. Acoustic Characteristics of Cross-Laminated Timber Systems. *Sustainability* 2020, 12, 5612. <https://doi.org/10.3390/su12145612>

APA, 2018. Cross-Laminated Timber (CLT) [online]. 2024 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.apawood.org/cross-laminated-timber>

PECL, František, 2019. Konzultační stanovisko [online]. 2019 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.pelcfrantisek.cz/csn02/02komrx728.php>

The acoustic design implications of exposing CLT [online], 2020. 2020 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://ateliercrescendo.ac/exposing-cross-laminated-timber-slabs/>

[Chttps://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7642](https://www.mdpi.com/2076-3417/12/15/7642)

ASB, 2024. Moderní dřevostavby z masivních dřevěných panelů (CLT) [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/jaky-vybrat-dum/moderni-drevostavby-z-masivnich-drevenych-panelu-clt>

Dřevostavby z CLT panelů - jak se dělá masivní dřevěný panel [online], 2024. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5552-drevostavby-z-clt-panelu-jak-se-dela-masivni-dreveny-panel>

Stora Enso Wood Products-Building Solutions [online], 2015. Stora Enso, 330 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.cltez.info/docs/Technicka-slozka-CLT-CS.pdf>

JAF HOLZ SPOL. S R.O, 2024. MATERIÁL PRO MODERNÍ DŘEVOSTAVBU [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.jafholz.cz/shop/materialy-pro-drevostavby/clt-panely~c14611667>

ČESKÉ STAVBY.CZ, 2024. Z čeho se skládá stavební systém NOVATOP? [online]. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/z-ceho-se-sklada-stavebni-system-novatop-25101.html>

NOVATOP-AGROP NOVA A.S, 2010. NOVATOP SOLID Technická dokumentace [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z:

https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74385/F1-DP-2018-Benes-Jan-priloha-datovy%20list_NOVATOP_SOLID.pdf?sequence=-1&isAllowed=y

STORAENSO, 2012. K O N S T R U K C E H R U B Ě S T A V B Y [online]. [cit. 2024-01-03]. Dostupné z: <https://www.cltcz.info/docs/Konstrukce-hrube-stavby-CS.pdf>

WOOD LIFE, 2024. Domy z CLT panelů [online]. [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://www.woodlife.cz/domy-a-chaty/stavby-a-domy-z-clt>

NOVATOP, 2019. NOVATOP-dimenze konstrukcí [online]. [cit. 2024-01-02]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/ke-stazeni/>

8.2. Odborné články a publikace

Lehmann, S. Udržitelná výstavba pro rozvoj městských výplní s využitím systémů inženýrských masivních dřevěných panelů. *Udržitelnost* 2012 , 4 , 2707-2742. <https://doi.org/10.3390/su4102707>

Bajno D, Grzybowska A, Bednarz Ł. Staré a moderní dřevostavby v kontextu udržitelného rozvoje. *Energie* . 2021; 14(18):5975. <https://doi.org/10.3390/cs14185975>

BOUZEK, Jan, 2010. WOODEN ARCHITECTURE: COMBINING DIFFERENT TECHNIQUES [online]. *Wooden architecture: Histria Antiqua*, 2010, 83-88 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7160478fb4b3537ddbc346faa643204ddfba59ad>

Sanna, F. Timber modern methods of construction: a comparative study. (Thesis). Edinburgh Napier University. Dostupné z: <http://researchrepository.napier.ac.uk/Output/1256099>

CROCETTI, Roberto, Andrew LAWRENCE a Ishan ABEYSEKERA, 2022. *The CLT Handbook-Confederation of Timber Industries* [online]. In: . 1:2022. UK: Swedish Forest Industries Federation, s. 156 [cit. 2024-03-13]. ISBN ISBN 978-91-985212-2-1. Dostupné z: <https://gfagrow.org/wp-content/uploads/2018/06/CLT-Guide-PDF.pdf>

LESKOVAR, Vesna Žegarac Leskovar a Miroslav PREMROV, 2011. An approach in architectural design of energy-efficient timber buildings with a focus on the optimal glazing size in the south-oriented façade: Lecture Notes from the 2nd ERCOFTAC Summerschool held in Stockholm, 10-16 June, 1998. Energy and Buildings [online]. 2011, 3410-3418 [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: doi:10.1016

KUKLÍK, Petr. Vicepodlažní dřevostavby z křížem vrstveného dřeva. Stavebnictví [online]. 2023(01-02) [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vicepodlazni-drevostavby-z-krizem-vrstveneho-dreva.html>

STÜRZENBECHER, R., K. HOFSTETTER a J. EBERHARDSTEINER, 2010. Konstrukční návrh křížově laminovaného dřeva (CLT) podle pokročilých teorií desek [online]. [cit. 2024-03-14]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2010.04.016>

JELLEN, Anthony C. a Ali M. MEMARI, 2022. Structural Design of a Cross-Laminated Timber (CLT) Single-Family Home [online]. Sackett Building University Park [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: https://www.phrc.psu.edu/assets/docs/Publications/PHRC-Research-Report_Structural-Design-of-CLT-Home.pdf. Pennsylvania Housing Research Center

GREEN BUILDING DESIGN, 2024. Crosslam timber / CLT: Manufacturing process [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/cross-laminated-timber-manufacturing-process/>

CLT PROFI, 2024. Technical Specification of CLT Panels [online]. [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://cltprofi.com/clt-panels-technical-information/>

HANIFI, A., Yuexiang WANG, Jin ZHANG a Hao MA, 2021. Transition, Turbulence and Combustion Modelling. Construction and Building Materials [online]. 2021, 302 [cit. 2024-03-14]. ISSN 0950-0618. Dostupné z: doi:10.1016

ING. JÍRŮ, Marie. Vicepodlažní budovy z křížem vrstveného dřeva [online]. Praha,

2016 [cit. 2023-01-08]. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Kuklík, CSc

Panely z vrstveného masivního dřeva - nová estetika dřeva, možnosti využití v interiéru. M, Pavlas. Brno: VUT v Brně, 2013. Sborník anotací Juniorstav 2013. 978 80 214 4669 4.

CROCETTI, Roberto, Andrew LAWRENCE a Ishan ABEYSEKERA, 2022. The CLT Handbook-Confederation of Timber Industries [online]. In: . 1:2022. UK: Swedish Forest Industries Federation, s. 156 [cit. 2024-03-13]. ISBN ISBN 978-91-985212-2-1. Dostupné z: <https://gfagrow.org/wp-content/uploads/2018/06/CLT-Guide-PDF.pdf>

GEOREPORT. IPR Praha [online]. 2024 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: <https://georeport.iprpraha.cz/>

8.3. Normy:

ČSN 73 0540-2 - Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky, Český normalizační institut, 2011, str. 44,

ČSN EN ISO 13790 - Energetická náročnost budov - Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008, str. 4

ČSN 73 4301 - Obytné budovy, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004, str. 28,

ČSN 73 08xx - Požární bezpečnost staveb, metrologii a státní zkušebnictví,

ČSN EN 1995-1 - Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí platí pro navrhování pozemních a inženýrských staveb ze dřeva nebo konstrukčních výrobků na bázi dřeva, spojovaných pomocí lepidel nebo mechanických spojovacích prostředků. Zahnuje zásady a požadavky na bezpečnost a použitelnost konstrukcí a základy navrhování a posuzování podle teorie mezních stavů.

9. Seznam obrázků, grafů a tabulek

9.1. Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 - Ukázka chrámového komplexu Horjúdži | 15 |
| Obrázek 2 – Příklad softwarového konstrukčního řešení dřevostavby | 17 |
| Obrázek 3 – Výstavba srubového objektu | 19 |
| Obrázek 4 – Pohled na hrázděnou dřevostavbu | 20 |
| Obrázek 5 – Model výstavby Ballon-Frame a Platform-Frame | 21 |
| Obrázek 6 – Návrh konstrukce rámové dřevostavby | 22 |
| Obrázek 7 - Montáž CLT panelové konstrukce | 25 |
| Obrázek 8 – Znárodnění kladení lamel a ukázka finálního produktu CLT panelu | 31 |
| Obrázek 9 – Ukázka CLT stěnového panelu | 41 |
| Obrázek 10 – Ukázka uložení stěny přes více podlaží | 43 |
| Obrázek 11- Řešení spoje mezi svislým a vodorovným panelem | 48 |
| Obrázek 12- Skrytý spoj napojení panelů mezi patry | 49 |
| Obrázek 13 – Typická zatížení budov vlivem vlhkosti | 57 |
| Obrázek 14 - Přiblížení územního celku v místě výstavby | 59 |
| Obrázek 15 - Schéma stěnové prefabrikované konstrukce objektu | 68 |

9.2. Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1 - Porovnání vlivu konstrukčních systémů na životní prostředí | 25 |
| Graf 2 – Orientační výpočtový graf pro tloušťky CLT 60-162 mm | 44 |
| Graf 3 – Grafická metoda posouzení koeficientu prostupu tepla k tloušce CLT panelu | 56 |

9.3. Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 – Průřezové hodnoty stěnových panelů z CLT | 40 |
| Tabulka 2 – CLT Stanovení prostupu tepla pro CLT panel 100 mm Stora Enso | 53 |
| Tabulka 3 – Skladba obvodové nosné stěny | 60 |
| Tabulka 4 – Skladba střešního pláště | 64 |
| Tabulka 5 – Optimalizovaná skladba podlahy na terénu | 65 |

10. Seznam příloh

Souhrnná technická zpráva

Projektová dokumentace

Výrobní dokumentace

Statická část

Výpočty prostupu tepla

Rozpočet