

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra Zpracování dřeva a biomateriálu



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Návrh realizace obytné dřevostavby s křížem lepeného
dřeva**

Diplomová práce

Bc. Matěj Sotl

Vedoucí práce Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D

2023/2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh realizace obytné dřevostavby s křížem lepeného dřeva vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních 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 dne datum odevzdání

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Matěj Sotl

Dřevěné konstrukce a stavby na bázi dřeva

Název práce

Návrh realizace obytné dřevostavby z křížem lepeného dřeva

Název anglicky

Proposal for the realization of a residential wooden building made of cross laminated timber

Cíle práce

Cílem první části diplomového projektu je vypracování literárního rozboru oblasti provedení objektu obytné dřevostavby z křížem lepeného dřeva z hlediska technologie výroby. Cílem druhé části je vypracování projektu ve stupni realizační dokumentace stavby dle stávajícího projektu či architektonické studie. Dalším cílem je zpracování výkresové dokumentace jako výstup pro výrobu vybrané části 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 rozpočtu pro realizaci.

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 vybrané části 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 objektu z hlediska stavební fyziky a rozpočtu pro realizaci.

Červenec – srpen 2023:

- Literární rozbor problematiky výroby objektu.

Září – říjen 2023:

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

Říjen – prosinec 2023:

- Souhrnná technická zpráva.

Říjen 2023 – březen 2024:

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

Březen 2024:

- Prezentace kompletní závěrečné práce vedoucímu.

Duben 2024:

- Odevzdání závěrečné práce.



Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

Dřevostavba; dřevo; těžký skelet; výstavba

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
- Jodidido, P. 100 Contemporary Wood Buildings. Kolín nad Rýnem: Taschen, 2019. ISBN 3836561565
- Kolb, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2. aktualizované vydání v České
republice. Přeložil Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024740713
- Manja, K.K. (2014). Contemporary Slovenian Timber Architecture for Sustainability. New York City:
Springer International Publishing. ISBN 9783319036342
- 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
- Opderbecke, A. Das Holzbau-Buch: Für den Schulgebrauch und die Baupraxis. Wallingford: Chiron Media
2013. ISBN: 9783878707196
- 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 05. 04. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Přemyslu Šedivkovi Ph.D. za konzultace, podporu a vedení.

Návrh realizace obytné dřevostavby s křížem lepeného dřeva

Souhrn

Práce se zabývá převážně konstrukčním návrhem a realizací stavby s křížem lepeného dřeva pro trvalé bydlení při návrhu byly posouzeny a vyhodnoceny z hlediska statiky a stavební fyziky a posouzena funkčnost takového řešení stavby. Stavba vyhověla všem požadavkům které byly v cílech práce uvedeny a je to ukázka toho, že stavby na bázi dřeva mají své místo i ve stavitelství menších staveb tak i vysokopodlažních.

Klíčová slova: Konstrukce na bázi dřeva; Křížem vrstvené dřevo; CLT výstavba, CLT panely, Výstavba, Dřevostavba, Stavby na bázi dřeva, CLT stavby, Lepené CLT, CLT konstrukce, Konstrukční spoje, Výroba, Prefabrikace

Proposal for the realization of a residential wooden building made of cross laminated timber

Summary

The work mainly deals with the structural design and implementation of a building with cross-glued wood for permanent housing. The design was assessed and evaluated from the point of view of statics and building physics, and the functionality of such a building solution was assessed. The building met all the requirements that were stated in the objectives of the work and it is an example of the fact that wood-based buildings have their place in the construction of smaller buildings as well as high-rise buildings.

Keywords: Wood-based construction; Cross laminated timber; CLT construction, CLT panels, Construction, Wood construction, Wood-based constructions, CLT constructions, Glued CLT, CLT structures, Structural joints, Production, Prefabrication

Obsah

1	Seznam použitých zkratk a symbolů	9
2	Úvod	10
	Cíl práce.....	11
3	Literární rešerše.....	12
3.1	Historie vývoje dřevostaveb s křížem lepeného dřeva.....	12
3.2	Definice křížem (vrstveného) lepeného dřeva.....	13
3.3	Základní rozdělení konstrukčních systémů dřevostaveb	14
3.4	Rozdělení a druhy konstrukčních systémů z křížem lepeného dřeva	14
3.4.1	Lepené CLT panely	15
3.4.2	Vrutové CLT panely	15
3.4.3	Hřebíkové CLT panely	15
3.4.4	Kolíkové CLT panely	16
3.5	Technologie výroby křížem vrstveného lepeného dřeva (NOVATOP).....	16
3.5.1	Prostředí a prostory pro výrobu CLT panelové technologie.....	17
3.5.2	Materiál pro lamely CLT desky pro stavby	17
3.5.3	Výroba Lamel pro vrstvy CLT desky	18
3.5.4	Proces vrstvení vícevrstvé CLT desky.....	20
3.5.5	Broušení CLT desek	24
3.5.6	Profilování hrubé CLT desky do finálního formátu CLT panelu stavby..	24
3.5.7	Finální konečné opracování.	26
3.5.8	Balení, skladování a expedice na staveniště k provedení montáže.....	26
3.5.9	Výhody a nevýhody využití ve stavitelství	27
3.6	Stavby z CLT ve světě.....	28
3.6.1	Rodinné domy (Novatop)	28
3.6.2	Vysokopodlažní stavby (Stora enso)	29
3.6.3	Velkorozměrové stavby s různým využitím	31
3.7	Závěr literární rešerše	33
4	Metodika	33
4.1	Investor požadavky	34
4.2	Požadavky legislativy a norem na dřevostavbu.....	34
4.2.1	Základová konstrukce a skladba	35
4.2.2	Stěnová konstrukce a skladba	36
4.2.3	Střešní konstrukce a skladba.....	36
4.2.4	Výrobky pro stavební otvory+zabudování	36
4.3	Posouzení detailu z hlediska stavební fyzika	37
4.4	Statika.....	37
4.5	CNC dokumentace	37

4.6	Rozpočet	37
5	Výsledky.....	38
6	Diskuze.....	39
7	Závěr	40
8	Literatura.....	41
8.1	Literární zdroje	41
8.2	Internetové zdroje	43
8.3	Vědecký článek.....	45
8.4	Normy.....	48
8.5	Zdroje obrázky	48
9	Seznam obrázku.....	49
10	Samostatné přílohy	51

1 Seznam použitých zkratk a symbolů

Tato kapitola není povinná

PRF → Fenol-rezorcinol-formaldehyd

MUF → Melamin močovino formaldehyd

PUR → Polyuretan.

MF → Melamin formaldehyd

EPI – Isokyanat

PVAC → Polyvinyl acetát

PO → Požární odolnost

t – tloušťka

N → newton

W → watt

K → Kelvin

CLT → Cross lamel timber

CLT panel → finální element pro montáž, element stavby-

CLT deska → (polotvar) základní formát z výroby a profil materiálu (bez finálních úprav)

λ – Lambda

2 Úvod

Tato práce se zabývá návrhem pro realizaci dřevostavby jako ukázka toho, že stavitelství na bázi dřeva je vhodné pro lidi nejen vhodné ale i zdravé, dřevěné konstrukce totiž dokáží mnohem pomaleji odvádět teplo pryč ze stavby a tudíž není potřeba udržovat takové vysoké teploty vnitřní pokojové teploty jako u staveb kde obálka mnohem rychleji vychladne, díky větší vodivosti tepla skrz materiál nebo naopak vysoké akumulární schopnosti, kterou těžko malý přísun tepla za krátkou dobu ohřeje. Také z hlediska ceny lze postavit trvanlivou stavbu za dostupnou cenu s trvanlivou konstrukcí než jiné dřívě standartní stavební materiály.

Je to mnohem lehčí materiál než například tradiční beton, ocel a cihla jejich hmotnost je mnohem vyšší a nelze opomenout, že práce se dřevem je práce produktivnější časově, dřevěné konstrukce pokud se nebudeme o nějaké kompozity s betonem lze postavit během pár měsíců zatímco u staveb z tradičních materiálů to může trvat i více jak dva roky. Také nejsou tak citlivé či omezené na velkou únosnost zemního podloží pod stavbou, aby tak nevznikalo příliš velké zatížení. Některé firmy realizaci hrubé i dnes zde uvedené dokážou postavit hrubou stavbu do týdne a při dobrém počasí do pár týdnů i s hotovou fasádou. Díky možné prefabrikaci a jejich nižší hmotnosti, než je to například u prefabrikátu ocele či betonu je doprava takových staveb na staveniště z ideálních výrobních podmínek mnohem šetrnější k životnímu prostředí a levnější. A navíc díky tomu mohou dosahovat vysokých kvalit provedených detailů a náročných konstrukčních podmínek, které by například v zimě někde na stavbě nechtěl dělat a moc by to ani nepomohlo spíše naopak. Stavitelství na bez dřeva je velmi perspektivní dřeva bude dost dokud bude i vody dost ale není snad jiný lepší materiál než dřevo které má tolik dobrých vlastností a při správném hospodaření v lesích ho můžeme stále zpracovávat, pěstovat a dokonce při dobré znalosti a vědomostech i lze využít v některých případech tam kde by jiný materiál měl běžně problém. Jak je později uvedeno v práci důkazem toho, že je dřevo velmi nadějnou budoucností pro trvale udržitelné hospodářství a stavitelství jak je později vidět po světě je spousta zajímavých staveb, které jsou právě z ono ho krásného přírodního materiálu proto jsem zvolil tuto práci také abych mohl podpořit a pracovat ve stavitelství s tak krásným a kompozitním materiálem, které otevírá nové možnosti zejména i Architektům.

Cíl práce

Cílem první části diplomového projektu je vypracování literárního rozboru oblasti obytných dřevostaveb z hlediska technologie výroby prefabrikací. Cílem druhé části je vypracování projektu realizační dokumentace pro výrobu obytné dřevostavby prefabrikací pro trvalé užívání dle stávajícího projektu či architektonické studie. . Dalším cílem je zpracování výkresové dokumentace jako výstup pro výrobu včetně vybraných konstrukčních detailů. Součástí práce bude vypracování statického posudku konkrétního zvoleného konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů.

3 Literární rešerše

Literární rešerše bude zaměřena především na analýzu dostupných informací o technologii konstrukčního systému křížem vrstveného lepeného dřeva s dílčími kapitolami vztahujícími se k historii, výrobě, technologiím a objektům vytvořeným touto technologií.

3.1 Historie vývoje dřevostaveb s křížem lepeného dřeva

Technologie vrstvených panelů z masivního křížem lepeného dřeva byla prvně vynalezena v Rakousku ve spolupráci výzkumných institutů (velký vliv měl **Institut dřevěných konstrukcí TU ve Štýrském Hradci**), nejprve však ve Švýcarsku a pak v Rakousku. Autoritativní podniky na trhu v dřevozpracujícím průmyslu (zejména první firma **KLH Massivholz GmbH** výroby technologie) a jimi zjištěné poznatky o vlastnostech opracovaného dřeva, o jeho zpracování a průkazné zkoušky vlastností dřeva a CLT technologie měly velký vliv na vývoj technologie tehdy i dnes. Jelikož vznikala technologie v Rakousku v polovině devadesátých let 20. stol., kde byla také založena v roce 1999 první firma s první linkou na výrobu CLT technologie, pochází část jména KLH z názvu první rakouské firmy, ačkoliv patent pro křížem vrstvené lepené dřevo byl vytvořen mnohem dřív, už v polovině 80. let 20. stol. ve Francii (TheWoodland 2022; Pavlas 2016; Bílek 2005; Gagnon a Karacabeyli 2019 a; Mayo 2015; Mahamid 2020). V té době tedy technologie byla známá nejprve pod jménem KLH, později byl světově zobecněn název CLT.

Prvních pár let po vynalezení CLT byl patrný jen pozvolný zájem na trhu. Po roce 2000 se to však zlomilo a začala poměrně velká expanze do okolních států v Evropě. Zájem o tuto technologii začal ve stavitelství narůstat, a tak započal i narůstat počet zakládaných firem právě s cílem výroby CLT technologie do dnešní doby. Narůstající zájem a expanze této technologie neskončila jen v okolních zemích okolo Rakouska a ani pouze v Evropě. Zájem a poptávka po této technologii budoucnosti se objevily i z dalších států okolních světadílů (např. Severní Amerika – USA, Kanada). Protože došlo k takovému nárůstu zájmu o technologii ve světovém měřítku, došlo k podnícení potřeby o přežití firem zabývajících se výrobou CLT technologie na trhu. Dnes je patrný zájem o vývoj vlastní vyráběné CLT technologie především s využitím alternativních dřevin jako náhrady za nejpoužívanější dřevinu výroby, kterou je smrk, a také různé druhy konstrukčního provedení spojů CLT desek (TheWoodland 2022; Pavlas 2016; Douglas a Karacabeyli 2013; Gagnon a Karacabeyli 2019 a; Mayo 2015; Mahamid 2020).

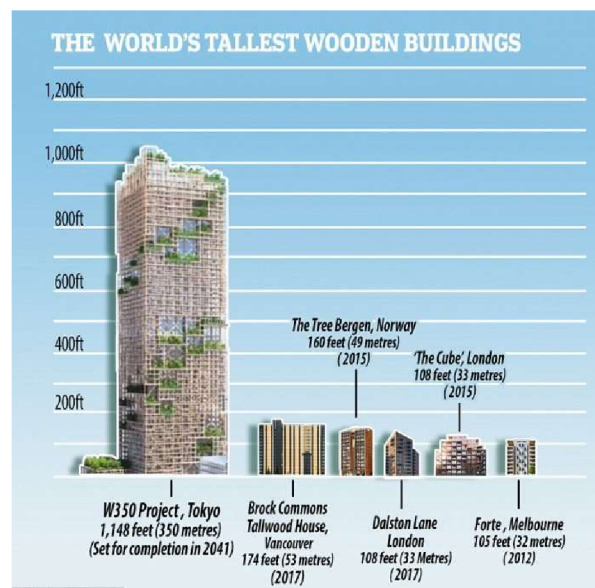
Potvrzují to i následující výsledky výzkumů zkoumajících uspořádání jednotlivých vrstev či jiný druh dřeviny a její vliv na vlastnosti CLT desky. Jeden z nich testoval CLT desky, kde byla použita dřevina topol bavlíkový a použito vrstvení pod různými úhly oproti tradičnímu CLT. Dle výsledků pro průměrné hodnoty modulu pružnosti a ohybu byl optimální panel s orientací pod úhly vrstev 0°/30°/0°. Jiný výzkum se zaměřil na topol osíku. Australský výzkum testoval běžné plantážní dřeviny jako např. Eucalyptus. Výsledkem všech experimentů bylo doporučení pro aplikaci v konstrukcích komerčních a obytných budov (Gutierrez a kol. 2023; Haftkhani a Hematabadi 2022). Při zkoušce s tepelně ošetřenou jedlí (teplotou 170°C) bylo navíc zjištěno, že tepelná úprava způsobí nižší a rovnoměrnější rozložení vlhkostního gradientu ve dřevě. (Mohebbi a Broushakian, 2023)

Využití jiných dřevin by podpořilo diverzifikaci lesních porostů a zastoupení domácích dřevin v jejich původních a přirozených podmínkách a společenstvech, aby byla udržena harmonie mezi trhem a lesní ekonomikou a lesním udržitelným hospodařením blízkým přírodě. (Pavlas 2016; Bílek 2005; Mahamid 2020)

Hlavním prvním podnětem vynalezení CLT bylo zpracování odpadu z dřezpracovatelské výroby, a tím podpora využití 100 % ze zpracovávané dřevní hmoty. Zprvu se uvažovalo o jeho použití ve stavitelství pro výstavbu rodinných domů, ale postupem času byly zjišťovány výhody pro využití ve stavitelství vysoko podlažních staveb. To potvrdil a podnítl pilotní projekt stavby z CLT většího rozměru, vysoko podlažní budovy **Murray Grover Tower (Londýn)** s devíti patry, který byl dokončen v roce 2008. Dále pak byl na stejném místě dokončen Projekt **Bridport House** o podobné výšce, ale rozlohy většího komplexu budov (bytové domy). Velké uplatnění tvorby této technologie také podpořilo uvolnění požární legislativy v některých zemích, kde vysoko podlažní dřevostavby či dřevostavby jsou touto legislativou přehnaně kriticky a zbytečně omezeny i přes jejich dlouholetou tradici na těchto územích. (TheWoodland 2022; J. Amla 2018; Pavlas 2016; Mahamid 2020; Bílek 2005)

Poukazuje na to i průzkum o pohledu na stavitelství ze dřeva v souvislosti legislativy, norem a pohled na chování při požáru. Je to známkou toho, jak moc se v ČR a zahraničí pohled na tuto problematiku liší. (Kuklík a kol. 2019; Kuklík a kol. 2017; Smola a kol. 2012) O něco později se tato technologie křížem lepeného dřeva dostala i na české území, kde vznikla výroba např. ve Ždírci. Původní pilařský provoz byl v roce 2001 odkoupen asi nejvýznamnějším světovým výrobcem tradičního konceptu lepeného CLT se zprovozněním výrobní linky na lepené CLT v roce 2022. (Pavlas 2016)

Dále pak vznikla v roce 2001 Společnost AGROP NOVA, a.s. s tzv. Systémem Novatop, což je alternativní unikátní výrobce lepené CLT technologie rozšířením původní výroby na biodesky na stavební lepenou CLT technologií výrobou z této technologie biodesek. V budoucnu v roce 2041 je očekáván pilotní projekt vysoko podlažní stavby **W350 Project, Tokyo (350 metrů)**, nejvyšší stavby na světě na bázi dřeva, kde bude použita kombinace nosné konstrukce z LLD a CLT. (J. Amla 2018; C. Kuklík a kol. 2019; Green 2017)



Obr. 1 Vysoko-podlažní stavby ve světě a jejich budoucnost (AMLA, 2018)

3.2 Definice křížem (vrstveného) lepeného dřeva

Běžné světoznámé obecné označení pro křížem (vrstvené) lepené dřevo je zkratka CLT z anglického názvu Cross lamel timber. Konstrukce se skládá z ohoblovaných sušených

konstrukčních lamel nejčastěji ze smrku, které jsou skládány nejprve vedle sebe v samostatné vrstvě, mohou být lepené, následně proběhne nános lepidla na celou plochu desky, a nakonec jsou jednotlivé vrstvy skládány vždy kolmo na předchozí vrstvu. (Gagnon a Karacabeyli 2019 a; Pavlas 2016; Mayo 2015; Douglas a Karacabeyli 2013; Dudas 2008; Kolb 2008 a; Kolb 2008b; Scs © 2013; Novatop b.r.; Stora enso b.r.)



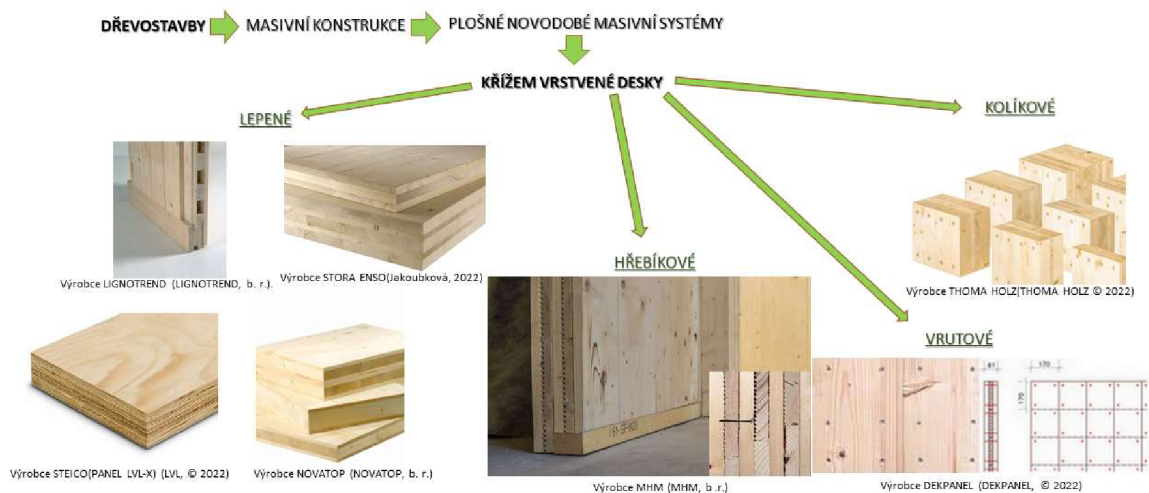
Obr. 2 Technologie křížem lepeného dřeva různých výrobců (Foto: Autor)

3.3 Základní rozdělení konstrukčních systémů dřevostaveb



Obr. 3 Základní rozdělení konstrukčních systémů dřevostaveb (Vaverka, 2008, upraveno: Autor)

3.4 Rozdělení a druhy konstrukčních systémů z křížem lepeného dřeva



Obr. 4 Základní rozdělení konstrukčních systému z křížem vrstveného dřeva (Kolb, 2008 a, upraveno: Autor)

3.4.1 Lepené CLT panely

Křížově vrstvené jednovrstvé desky z poskládaných dých nebo dřevěných lamel či prken jsou dále skládány do vícevrstvé desky, a to nejčastěji tak, že jedna vrstva vůči druhé je vždy otočena o devadesát stupňů. Obvykle je používán lichý počet, tj. z 3,5 nebo 7 vrstev. Před každou položenou deskou je nanášeno lepidlo po celé ploše desky. Následně probíhá lisování celé desky nebo souboru desek na hydraulických lisech. Tenké desky musí být kvůli neprodyšnosti vždy prolepeny ze čtyř stran. Při větším počtu vrstev či větší tloušťce CLT desky lze ušetřit a lepit jen mezi vrstvami desky. Výhodou oproti jiným typům CLT desek je, že při čtyřstranném prolepení vrstev desky lze automaticky plnit panel neprůvzdušnou vrstvou i při malé tloušťce CLT desky není nutná folie pro tuto vrstvu, aby plnila tuto funkci. Další výhodou oproti dalším typům je, že lze díky nepoddajnému spoji (lepenému) lze zanedbávat bobtnání a sesychání dřeva v CLT panelu. (Lvl 2022; Gagnon a Karacabeyli 2019 a; Gagnon a Karacabeyli 2019 b; Steico lvl-x 2019; Střechy 92 2017; Weinand 2017; Pavlas 2016; Mayo 2015; Douglas a Karacabeyli 2013; SCS 2013; Veselý a Kuklík, 2013; Dudas 2008; Bílek 2005; Havířová 2005; Herzog 2004; Hugues 2004; Herzog 2003; Faherty a Williamson 1995; Novatop b.r.; Lignotrend b.r.; Stora enso b.r.)

3.4.2 Vrutové CLT panely

Vrutové CLT desky jsou bez použití lepidel s nízkou energetickou zátěží při výrobě panelu. Výrobci uvádějí, že s CLT panelem se spoji na vrut lze vytvořit panel vysoký až 3,5 m a dlouhý 12,5 m. Podobné vlastnosti jako panely hřebíkové. Panely s vruty mají vyšší pevnost v soudržnosti jednotlivých vrstev panelu při sobě díky vyšší pevnosti proti vytažení spojovacího prostředku (vrutu) ze dřeva, než je třeba u hřebíku. Využívají zejména dřeviny (BO a SM). Vrutky jsou zabudovány do CLT panelu v pravidelném rastru. Je nutné pro splnění vzduchotěsnosti CLT panelu aplikovat do panelu vzduchotěsnící folie. Oproti hřebíkové technologii je panel vrstven ve standartu jako např. lepené tj. 3,5,7 vrstev. Vrutky jsou oboustranně nebo jednostranně zapuštěny do CLT desky. Panely s vruty testované s tloušťkou 81 mm a 108 mm vydrželi při testování požární odolnosti 30 minut ($t=81$ mm) a 60 minut ($t=108$ mm). (DEKPANEL © 2023; Kaufmann 2022; Kolb 2008 a; Kolb 2008 b; Vaverka 2008)

3.4.3 Hřebíkové CLT panely

Sbíjené (hřebíkové) CLT panely jsou provedeny podobně jako předešlé typy, ale jejich vrstvy jsou prováděny pod různými úhly nejčastěji však standartně jen pod úhlem 90 stupňů. I při velkých tloušťkách CLT desky je nutné pro splnění neprůvzdušnosti doporučené hodnoty pro pasivní budovy je nutné opatřit těsnící vrstvou (např. folie). Hřebíky, jsou zatloukány z jedné strany panelu. Vysušené na technickou vlhkost 15% tloušťka materiálu 23 mm a spojovací kovové prostředky jsou hliníkové drážkované hřebíky pro konstrukční účely. Hliník je využit pro menší opotřebení při styku obráběcího centra s hřebíkovým spojem uvnitř při výrobě CLT panelu stavby. Konstrukce CLT desky musí být sbíjená z více vrstev než lepené standartně, někteří výrobci uvádí 9-15 vrstev. Z hlediska požáru má lepší vlastnosti díky kovovým spojovacím prostředkům. Literatura uvádí, že ocel patří do skupiny nehořlavých materiálů a dřevo do skupiny hořlavých dle tříd reakcí na požár i přesto, že u ocele při zahřátí kolem 500°C díky vysoké tepelné vodivosti dochází k okamžité ztrátě pevnosti bez upozornění, je nutná ochrana před ohněm. Zatímco dřevo odhořívá od povrchu a malá tepelná vodivost zabraňuje rychlé ztrátě pevnosti, ale před zřícením je slyšet praskání. V jiném zdroji se lze dočíst, že navrhování kovových spojů na požár (např. vruty, šrouby, hřebíky a spojovací prvků z kovu) má vyšší ohnivzdornost spojů, pokud je například zcela zakryt dřevem v podobě zátky, desky či vložky nebo jiným materiálem na bázi dřeva (To platí i pro Vrutované CLT panely).

(Kaufmann 2022; Henderson 2013; Veselý a Kuklík 2013; Kuklík a Kuklíková 2010; Vaverka 2008; Nutsch 2006; Štefko a kol. 2006; Bílek 2005; Mhm b.r.)

3.4.4 Kolíkové CLT panely

Křížem vrstvené desky kolíkové se vyrábí podobně jako lepené CLT, avšak rozdílem je spojení těchto vrstev, které je provedeno pomocí kolíku nejčastěji z dřevin (DB, BK), Dubové kolíky jsou zatloukány nebo zalisovány do předvrtaných otvorů v CLT desce. Dřevěné kolíky mají o něco nižší vlhkost než dřevěné lamely v CLT desce, jakmile tyto vlhkostní rozdíly jsou vyrovnány a dřevěné kolíky dosáhnou stejné vlhkosti jako lamely v desce, dojde k utěsnění spár ve spoji mezi kolíkem a otvorem a dojde tak k utěsnění a zpevnění spoje a celé desky.

Kolíkové CLT desky nemusí mít vždy všechny vrstvy kolmé, ale třeba i pod jiným úhlem než 90 stupňů. Pokud CLT deska s kolíkovým spojením nemá dostatečnou tloušťku, celé desky nelze předpokládat automaticky, že bude plnit i neprovzdušnou funkci jako náhrada za folii. Důvodem je velký počet velkých spár či mezer v desce mezi prkny ve vrstvách CLT desky, které nejsou vyplněny neprovzdušným materiálem. Nutná je velká tloušťka bez aplikování folie (parobrzdá, parozábrana...) což je na úkor efektivity a vyšší ceny. Výhodou však je, že lze považovat tento materiál jako 100% výrobek ze dřeva je zde použito jen dřevo a žádná lepidla ani kovové spojovací prostředky proto ho lze snadno opracovávat bez velkého opotřebení obráběcích nástrojů. Nelze zanedbat bobtnání a sesychání. (Thoma holz 2023; Kaufmann 2022; Henderson 2013; Veselý a Kuklík 2013; Horák 2011; Kolb 2008 a; Kolb 2008 b; Vaverka 2008; Bílek 2005)

3.5 Technologie výroby křížem vrstveného lepeného dřeva (NOVATOP)

Literární i webové zdroje píšou o spoustě typech konstrukčních řešení CLT technologie a spoustě firem zabývajících se problematikou, použitím a výrobou CLT technologie, proto jsem zde uvedl asi nejzajímavější alternativu lepené CLT technologie a pochází právě firma i s patentem na tuto technologii CLT z Českého území. Doprovázené i obecným povědomím informací o CLT lepené technologii jako ukázkou či příkladem rozdílnosti Novatop technologie oproti tradičnímu pojetí CLT technologie kterou vyrábí asi největší konkurent na trhu mezi výrobci, a to firma Stora enso. Právě systém Novatop se zejména právě zaměřuje na rodinné domy, popřípadě o něco rozsáhlejší komplex budov, ale nízkým počtem pater z hlediska omezení dle požární legislativy a normativu z norem na požární ochranu např. maximální požární výšku upřesňuje norma ČSN 730802(ČSN 73 0802 ed. 2).(Novatop b.r.; Lignotrend b.r.; Stora enso b.r.)

Požadavky na dřevěné konstrukce s křížem vrstveného dřeva jsou také dané normou a jsou obsaženy v přepracované normě ČSN EN 16351 ed.2(ČSN EN 16351 ed.2) aktualizovala kompletně původní normu ČSN EN 16351 (ČSN EN 16351). (Joachim Blaß 2017)



Obr. 5 Technologie systému CLT výrobcem Novatop (Foto: Autor)

3.5.1 Prostředí a prostory pro výrobu CLT panelové technologie

Výroba stavby v hale (tzv. Prefabrikace-metoda výroby stavby), Výrobní podmínky odpovídají podmínkám, které musí splňovat interiérové prostředí který bude na zabudované nosné prvky působit a ovlivňovat je. Především relativní vlhkost vzduchu, teplota, teplota vnitřního vzduchu v interiéru stavby. Aby bylo při výrobě udržena vlhkost dřeva standartně u konstrukčního dřeva 12 % a nedošlo k výrazným změnám vlhkosti dřeva a nedošlo tak k nežádoucím vlivům po montáži a při užívání dokončené stavby. Výrobní firma by měla mít v zázemí firmy k dispozici výrobní prostory, skladovací prostory, projekční a manažerské prostory. Výrobní hala by měla také obsahovat především obráběcí centrum pro formátování finálních CLT panelu a jejich lamel, lisovací stroje, stroje pro nanášení lepidla atd... a to vše v CNC provedení. (Kaufmann 2022; Mayo, 2015; Dudas 2008; Kolb, 2008 a; Kolb 2008 b)

3.5.2 Materiál pro lamely CLT desky pro stavby

Materiál pro výrobu dřevěných lamel CLT desek je nejpoužívanější konstrukční řezivo z dřeviny smrk ztepilý, které prošlo pevnostním tříděním a splňuje třídu pevnosti C24 dle ČSN EN 338(ČSN EN 338) (Pozn. Velká Británie C16). Jsou dvě možnosti druhu dodávky řeziva buď dovoz přímo sušeného, následuje tak rovnou výroba, nebo čerstvého a následuje před výrobou ještě fáze sušení na vlhkost standartně např.ve firmě Novatop na 8 % jinak se standartně u jiných výrobců pohybuje okolo 12 % až 15 %.

Jednotlivé lamely jsou nastavovány různými spoji (standardem u lepených je ale cinkový spoj ale záleží na konkrétním výrobcu např. STORA ENSO standartně cinkový spoj oproti konkurenci firmy Novatop, která převážně využije buď průběžnou lamelu nebo spoj na tupu. Typické rozměry a tloušťky lamel jsou např. u Novatopu 6 mm nebo 9 mm a šířce 93 až 143 mm (středové lamely tloušťky až 42 mm). Typické rozměry a tloušťky lamel pro např. Stora enso je 20 či 30 nebo 40 mm a šířce až 160 mm. Lamely povrchové lepené lepidlem na bázi melaminu a středová na bázi PVAC. Lepidla pro CLT desky pro stavby dnes nejčastěji používají MF, PU, EPI, PVAC na českém území se z hlediska toxicity uvolňování velkého množství formaldehydu z lepidel na bázi formaldehydu nepoužívají jako třeba v Americe. Na českém území a převážně v Novatopu je upřednostněno lepidlo PU pro konstrukční nosné CLT lepené panely, které není na bázi formaldehydu a neunikají z něj jedovaté látky (formaldehyd) EN normy schválena. (Gagnon a Karacabeyli 2019 a; Joachim Blaß 2017; Weinand 2017; Pavlas 2016; Mayo 2015; SCS 2013; Dudas 2008; Štefko a kol. 2006; Hugues 2004; Herzog 2004; Faherty a Williamsonova 1995; Lignotrend b. r.; Novatop b.r.; Stora enso b.r.).

Soudržnost vrstev CLT desky pospolu a vliv na lepený spoj při požáru byla testovaná několika experimenty a doporučením na základě výsledku bylo:

- Soudržnost desek je mnohem vyšší při použití lepidel PRF i MUF než při použití lepidel PUR.
- U lepených CLT s PUR při teplotě vyšší než 200-300 stupňů Celsia došlo k selhání lepeného spoje.
- Větší tloušťka lamel navyšuje ohnivzdornost vrstvy než větší počet tenkých lamel ve vrstvě. Rychlost odpadávání zuhelnatělé vrstvy závisí na lepidle. (Mahamid, 2020)
- Potvrzuje to i další výzkum který chování CLT panelu při požáru v obytném objektu experimentálně ověřila. (Ronquillo a kol.(2021))

Také jiný zdroj uvádí, že by při výrobě lamel měl být dodržen vždy poměr mezi šířkou a tloušťkou lamely 4:1 (tj. šířka: tloušťka) (Zimark, 2014)



Obr. 6 Provedení různých napojení lamel při výrobě vrstev CLT panelu (ZIMARK, 2014, upraveno: Autor)

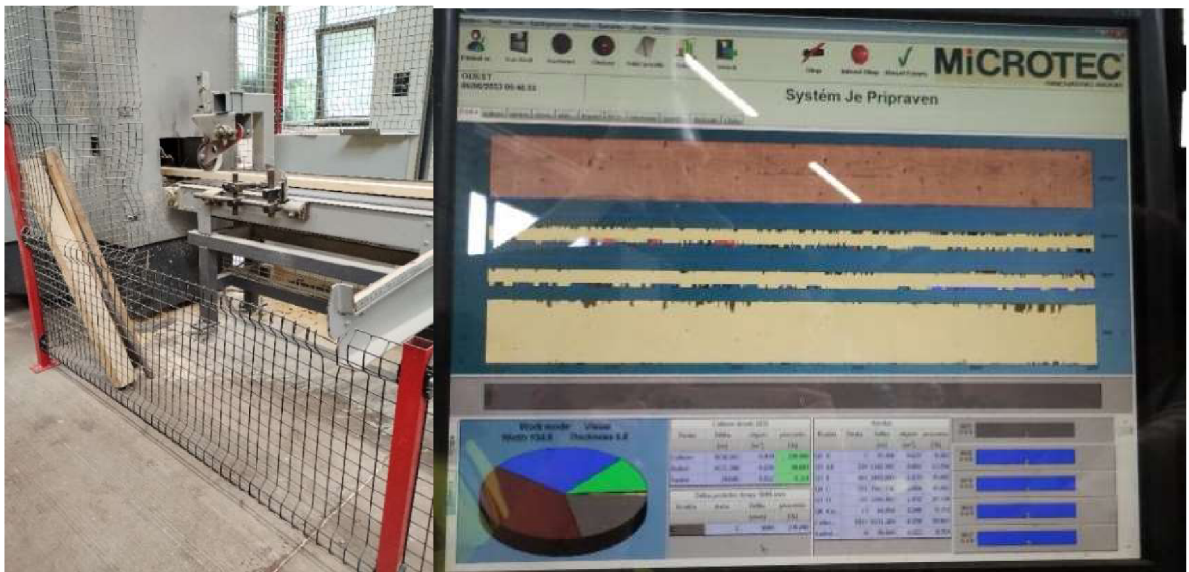
3.5.3 Výroba Lamel pro vrstvy CLT desky

Dřevěné lamely jsou z bočního smrkového řeziva, ohoblovány čtyřstrannou frézou následně tříděni dle počtu, stavu a velikosti vad (povrchové pohledové lamely především zamodráná a suky), dále probíhá dopravení manipulačními dopravníky do fáze nanášení lepidla na užší boční hrany skládání lamel vedle sebe do desky o jedné vrstvě (podobně jako spárovka). Nejčastěji je dřevo sušené a hoblované už dovezeno s vlhkostí cca 8 %, 10 %, 12 % záleží na technické třídě použití, což je vhodná vlhkost pro zabudování a použití dřeva do technologie výroby a zabudování ve stavbě dle konkrétních podmínek prostředí. Lamely ve středové vrstvě plní funkci hlavně prostorové stability. Povrchové vrstvy plní funkci pohledovou a statickou. Cinkové spoje musí být zhotoveny podle ČSN EN 385(ČSN EN 385) a ČSN EN 386(ČSN EN 386). Předchozí normy zrušeny a nahradila je nová norma ČSN EN 14080 (ČSN EN 14080) (Křupalová 2023; Waugh Thistleton Architects 2018; Joachim Blaß 2017; Weinand 2017; Pavlas 2016; Mayo 2015; Zimark 2014; Douglas a Karacabeyli 2013; SCS 2013; Kolb 2008 a.; Štefko a kol. 2006; Bílek 2005; Herzog 2004; Lignotrend b. r.; Novatop b.r.; Stora enso b.r.).

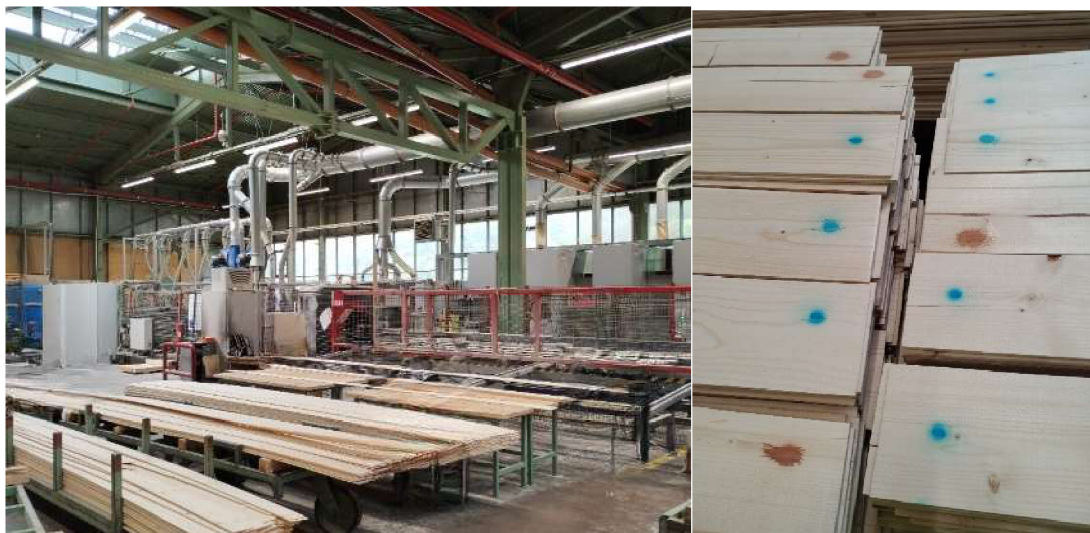
Jeli z hlediska statiky CLT panel skutečně použitelný v nosné konstrukci, bylo na základě výzkumu potvrzeno s použitím různých výpočtových programů pro lepší korelace výsledků. (Sandanus a kol.2014)Chování CLT lepeného a CLT šroubovaného lze porovnat z výsledky testů různých výzkumů. (Velebil a kol. 2019; Kuklík a kol. 2013)

Jiný výzkum studoval návrh CLT panelu z hlediska statiky a požáru, vysvětluje i pohled technických norem na návrh CLT konstrukcí tak i spojů. Uvádí i optimální řešení pro CLT stavbu z 3 pater. (Kuklík a kol. 2018; Kuklík a kol. 2013)

Výsadou Novatopu, aby nedošlo ve středu CLT desky k praskání a uvolnilo se vnitřní napětí v široké středové lamelě, jsou tyto lamely nařezávány a je to jednou z předností Novatop systému oproti původnímu pojetí CLT systému od jiných firem. (Novatop, b.r.)



Obr. 7 Vstupní materiál sušené řezivo (vlevo) a následná fáze strojního jakostního třídění v softwaru MICROTEC (vpravo)
(Foto: Autor)



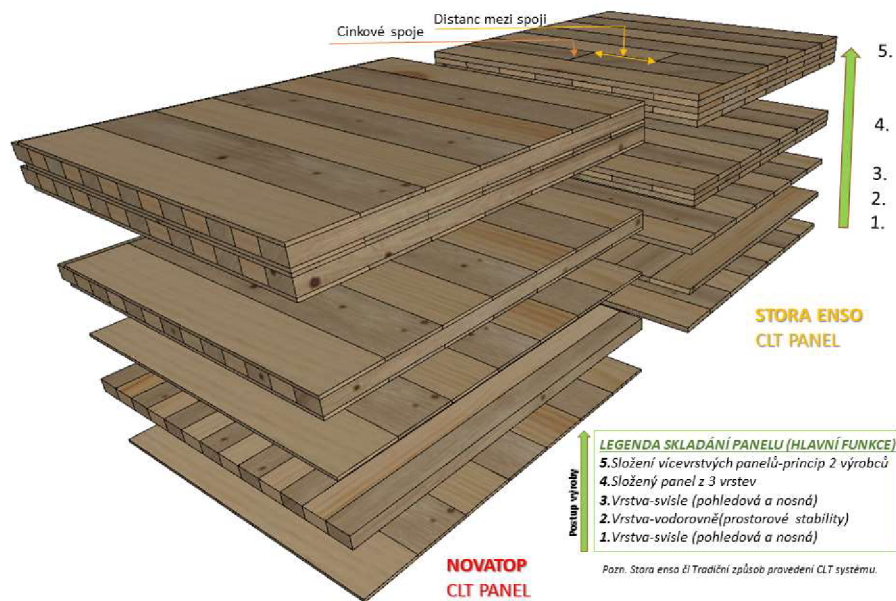
Obr. 8 Následuje ruční dořídění lamel po strojním třídění většinou barvy odpovídají jakostem z třídění strojem (nejčastěji hnědá jakost C) (Foto: Autor)

3.5.4 Proces vrstvení vícevrstvé CLT desky

Křížové vrstvení jednovrstvých desek do vícevrstvé desky probíhá nejčastěji, že jedna vrstva vůči druhé je vždy otočena o devadesát stupňů, nejčastěji je používán lichý počet to je tradičně deska z 3,5 nebo 7 vrstev, výjimečně sudý, lze i více vrstev, ale je to na úkor poměru efektivity a ceny. Před každou položenou deskou je nanášeno lepidlo po celé ploše desky a následně probíhá lisování až celé desky nebo souboru desek na hydraulických lisech. Deska tenké desky musí být kvůli neprodyšnosti vždy prolepeny ze čtyř stran, u většího počtu vrstev či větší tloušťky CLT desky lze ušetřit a lze lepit jen mezi vrstvami desky. (Gagnon a Karacabeyli 2019 a; Joachim Blaß 2017; Weinand 2017; Pavlas 2016; Mayo 2015; SCS 2013; Dudas 2008; Štefko a kol. 2006; Hugues 2004; Herzog 2004; Faherty a Williamsova 1995; Lignotrend b. r.; Novatop b.r.; Stora enso b.r.).

Protože výroba Novatop CLT desek je přidružená technologie k výrobě biodesek můžou se lišit stejně jako u biodesek jednotlivé vrstvy CLT desky tloušťkou či šířkou lamel. Zvláštnost výroby CLT desek například Novatopu je, že při více vrstevní než 3 vrstev využívají slepení už např. dvou vyrobených biodesek s třemi vrstvami a spojí je k sobě vznikne tak vícevrstvá deska. Nemusí to být vždy stejné jako u tradičního pojetí CLT technologie. Nejčastěji jsou povrchové vrstvy dvakrát tenčí než lamely středové vrstvy, je to z důvodu větší úspory materiálu a hlavním důvodem je větší výběr kvalitnější povrchové a pohledové lamely o vyšší kvalitě při třídění, čímž systém Novatop konkuruje ostatním. Dosahují tak vyšší kvality pohledové povrchové vrstvy CLT desky než například jiný výrobci CLT technologie (např. firma Stora Enso). Standartní tloušťky desek u Novatop jsou pro nenosné při menším zatížení 62 mm standartně, pro nosné konstrukce např. stěn je tloušťka 84 mm nebo 124 mm. Stora enso standartně tloušťky 60 mm nebo 80 mm pro stěnové panely. Desky jsou v standartních formátech 5/6 m x 2,1/2,5 m největší formát co lze vyrobit je 12 m x 2,95 m. (Křupalová 2023; Joachim Blaß 2017; Herzog 2004; Hugues 2004; Herzog 2003; Novatop b.r.; Stora enso b.r.).

Z jiného dostupného zdroje je velmi podobná technologie IBOIS/EPFL, která je založena na stejném principu systému biodesek či LVL jako Novatop systém, která však uplatňuje svou technologii především ve velmi složitých stavbách v podobě složitých tvarů prostorových či skořepinových konstrukcí staveb. (Weinand 2017)



Obr. 9 Skládání desek (panelu) z křížem vrstveného dřeva Stora enso je spíše bližší původní pojetí CLT panelu z hlediska výroby o trochu odlišnější je pak systém Novatop (ZIMARK, 2014, NOVATOP, b. r., upraveno: Autor)



Obr. 10 Ukázka vícevrstevných CLT panelu včetně standardních rozměru od výrobce Stora enso (vlevo)

Novatop (vpravo) (Foto: Autor)



Obr. 11 Výroba jedné vrstvy křížem vrstvené desky (Foto: Autor)



Obr. 12 Fáze křížové vrstvení desky a lisování (Foto: Autor)



Obr. 13 Lisování a vytvrzení souboru křížem vrstvené desek většího počtu (Foto:Autor)



Obr. 14 Různé druhy a tloušťky biodesek, které jsou následně používány i pro výrobu CLT panelu od Novatop(Foto: Autor)



Obr. 15 Fáze oprav povrchu-Vyspravení tmelem (Využití hnědého tmele kvůli vzhledu CLT po žloutnutí UV dřeva) (vlevo). Oprava suků a nahrazení zdravými suký (tzv. vyspravení), Využití hnědého tmele kvůli vzhledu CLT po žloutnutí UV dřeva. (vpravo) (Foto: Autor)

3.5.5 Broušení CLT desek

Probíhá až po vytvrzení celé CLT desky a je aplikováno jen na povrchové vrstvy jen u pohledových panelů. Fáze broušení – je aplikováno nejprve broušení o zrnitosti 50 a 100 nejčastěji dohromady dva průchody brusným centrem. (NOVATOP, b.r.)



Obr. 16 Zbroušení desky do finálního povrchu (zrnitost nejčastěji 50 a 100) (Foto: Autor)

3.5.6 Profilování hrubé CLT desky do finálního formátu CLT panelu stavby

Finální formát CLT panelu vznikne podle výrobní dokumentace vytvořené na základě projektové dokumentace pro individuální stavbu. Probíhá na CNC obráběcím centru Hamuel Reichenbache osazeném příslušnými nástroji, kotoučová a řetězová pila, vrták pro dlabání a vrtání, různé druhy fréz – profilové a obráběcí.



Obr. 17 Vytvoření finálního profilu CLT panelu pro montáž na stavbu je provedeno CNC obráběcí centru Hamuel Reichenbache-dle výrobní dokumentace (Foto:Autor)



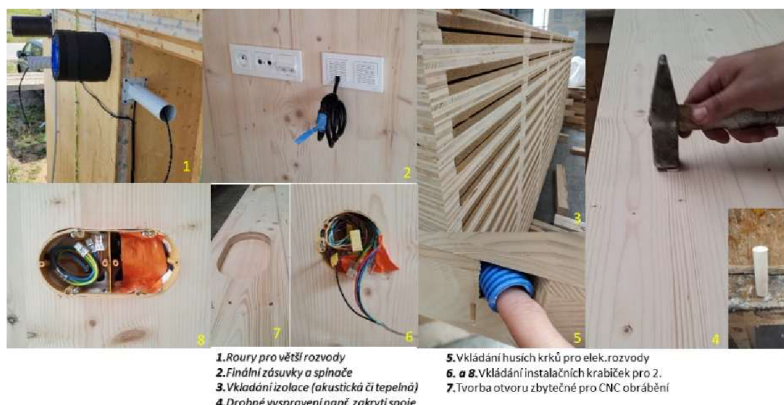
Obr. 18 Pokud je třeba vytvořit komplikovanější tvar panelu např. několika kusu jsou nejprve vyprofilovány a následně spojeny lepeným spojem a lisovány pomocí vakuového lisu, který umožňuje složité tvary CLT panelu a lisování finálního profilu CLT panelu pro montáž na stavbu dle výrobní dokumentace (Foto:Autor)



Obr. 19 Kompletace a balení CLT stropního panelu se středem z roštu BSH (tzv. Novatop Element) (Foto: Autor)

3.5.7 Finální konečné opracování.

- Menší truhlářské a tesařské úpravy které nebylo možné provést do konce výroby CLT desky.
- Kotvení pro montáž atd... (Vaverka 2008; Novatop b.r.)



Obr. 20 Finální konečné opracování CLT panelu pro stavbu (Foto: Autor)

3.5.8 Balení, skladování a expedice na staveniště k provedení montáže

Balení do PE folií, tyto plachty s logem firmy jsou jak propagační, tak i funkční mají dobré vlastnosti z hlediska difúze par i pro improvizaci použití ve stavbě. Skladování v zastřešených halách, doprava běžně kamiony na staveniště, kde při montáži je nutný jeřáb. (Waugh Thistleton Architects, 2018)

Jiný zdroj uvádí například přepravu a montáž na staveništi pomocí vrtulníku kvůli problematickému přístupu, nejčastěji ve vysokohorských oblastech, kde se nelze s kamionem dostat na místo stavby. (Gagnon a Karacabeyli 2019 b; Vaverka 2008; Novatop b.r.) Z

dostupného vědeckého zdroje lze zjistit, jak takové montáže křížem lepeného dřeva ze systému Novatop vypadají a co vše se u takových staveb musí vzít v úvahu při výstavbě. (Agrop nova, 2012)



Obr. 21 Balení, skladování a expedice na stavenišť k montáži (Foto: Autor)

3.5.9 Výhody a nevýhody využití ve stavitelství

Výhody

- Neprovzdušnost automaticky splňuje při čtyřstranném lepení
- Součinitel teplotní vodivosti mnohem vhodnější než jiné konstrukční systémy i než jiné CLT lepené panely dle testu dokonce dosahovala maximálních hodnot až 0,09 udávaná je ale standardně 0,13 W.m.K, což tyto konstrukce zvyhodňuje.
- Statika – s poklesem vlhkosti nárůst mechanických vlastností zejména pevnosti dřeva
- Vyšší prostorová stabilita zejména díky úpravě – proříznutí středových lamel
- Nižší vlhkost 8 % místo 12 %-menší vznik trhlin, vyšší pevnost
- Úprava středových lamel proříznutím (pokles nežádoucích napětí uvnitř silných lamel)
- Úprava povrchové lamely – menší tloušťka lamely možnost z většího výběru dřeva lepší a kvalitnější pohledové lamely ve větším množství.
- Povrchové lamely dosahují v pohledové kvalitě i nepohledové mnohem lepší vizuální stránky povrchu než například u jiných výrobců, díky přenosu lamel z přidružené výroby k hlavní výrobě biodesek, kde kvalita truhlářských lamel pro biodesky má na pohledovou kvalitu vyšší nároky.
- Vhodné využití pro rodinné i bytové domy menších i větších rozměrů, větší vizuální využití vlastností technologie CLT než u standardní technologie, například u Stora Enso
- Pravou stranou vždy ven platí pro povrchové lamely
- Silnější středy (laťovkové) při dodržení střídání levé a pravé strany
- Několik i odborných zdrojů píše o přednostech staveb na bázi dřeva například stavby z tradičních materiálů ve stavitelství, doposud při výstavbě domů v záplavových oblastech, kde mohlo dojít či dochází k povodním. Dřevěné konstrukce, dle zdrojů, odolávají vodě mnohem lépe a je menší šance porušení statiky a nižší ceny za opravy než u zděné stavby.

Nevýhody

- Vyšší cena
- Nižší vlhkost náchylnější k intenzivnějším vlhkostním změnám než běžné lepené CLT od Stora Enso
- Menší velikost formátu Stora Enso dosahuje Výšky formátu až 3,45 m zatímco Novatop 2,95 m.

(Asb-portál 2013; Macek a Střelcová 2013; Petáková 2013; Eismann a kol. 2010; Zahradníček 2010; Novatop b.r.; Stora enso b.r.).

3.6 Stavby z CLT ve světě

3.6.1 Rodinné domy (Novatop)

System Novatop je všestranný systém, kterým lze budovat kompletní stavby i bez použití jiných systémů a zakládajících si velmi na vzhledové stránce svých panelů, které co nejvíce mění dojem z celého interiéru a dojem z celé stavby při bydlení. Právě proto, že si zakládají na kvalitě pohledového povrchu CLT panelu a jejich skladba panelu je úspornější a tenčí díky tenkým povrchovým lamelám, které umožňují větší výběr pro lepší kvalitu povrchu CLT panelu. Jsou vhodné pro rodinné domy a stavby, kde výrazně ovlivní celkový dojem z interiéru a celé stavby, právě zde hraje největší roli díky tomu, že při stavbách nejčastěji rodinných či bytových stavbách s jedním až dvěma patry lze nosnou konstrukci přiznat a tedy využít plný potenciál těchto kvalitních pohledových vrstev. Je také vhodný i pro školy, administrativní budovy, sportoviště či průmyslové haly. Tenkost povrchových lamel má dopad na statické vlastnosti, proto se spíše zaměřují na lehčí stavby jako nízkopodlažní stavby a rodinné a bytové stavby než výstavbu vysokopodlažních staveb, což je zaměřením spíše konkurence na trhu firmy Stora enso.

Zdali je výhodnější z hlediska doby výstavby dřevostavba nebo stavba z tradičních materiálů z analyzovala studie z Brazílie, kde výsledky vypovídají ve prospěch dřevostaveb (De Araujo a kol.2022)

Několik takových staveb lze vidět níže, jsou realizované jejich certifikovaným partnerem realizační firmou 3AE s.r.o.



Obr. 22(Vzorovi) Rodinný dům (Čakov) systém NOVATOP realizován firmou 3AE s.r.o. (Foto:Autor)



Obr. 23 Rodinný dům (Čerčany) ze systému Novatop realizované firmou 3AE s.r.o. Interiér domu z přiznaného Novatop systému (vpravo). (Foto: Autor)



Obr. 24 Rodinný dům (Klecany) systém Novatop realizované firmou 3AE s.r.o. Interiér-přiznan Novatop (vpravo). (Foto: Autor)

Nezávisle na firmě Novatop, lze najít další zajímavé nízkopodlažní dřevostavby postavené ve světě s použitím CLT. Můžeme je vidět včetně podrobností (např. provedení, detaily, půdorys...). Jsou to zejména stavby: **Administrativní budova** postaveno v Britské Kolumbii má 3 patra, dokončena roku 2014. (Koželouh, 2014) **Typový dům: Futura NEO** – Rodinný dům v pasivu od firmy Prodesi v Humpolci má 2 patra. (Prodesi/domesi, 2015) **High-tech dřevostavba s opalovanou dřevěnou fasádou** vydrží 40 až 80 let bez údržby postavena v Amsterdamu a má 4 patra. (Stavba. tzb-info, 2013) **Stavba domu z NOVATOPU první na Africkém kontinentu.** (Agrop nova, 2013) **Rodinný dům Vesper frames** ze systému Novatop v okolí Šumperku. (James Hardie Europe, 2012) **Rodinný dům s krytým bazénem** je to Nulová dřevostavba z systému Novatop. (Kubiček a kol.2012) **Čerpací stanice v Praze** z CLT v Praze. (Prefa Aluminium produkte, 2023) **Rodinný dům na svahu hory** ve výšce 1041 m.n.m. v Sulzbergu, (Velux 2016)

3.6.2 Vysokopodlažní stavby (Stora enso)

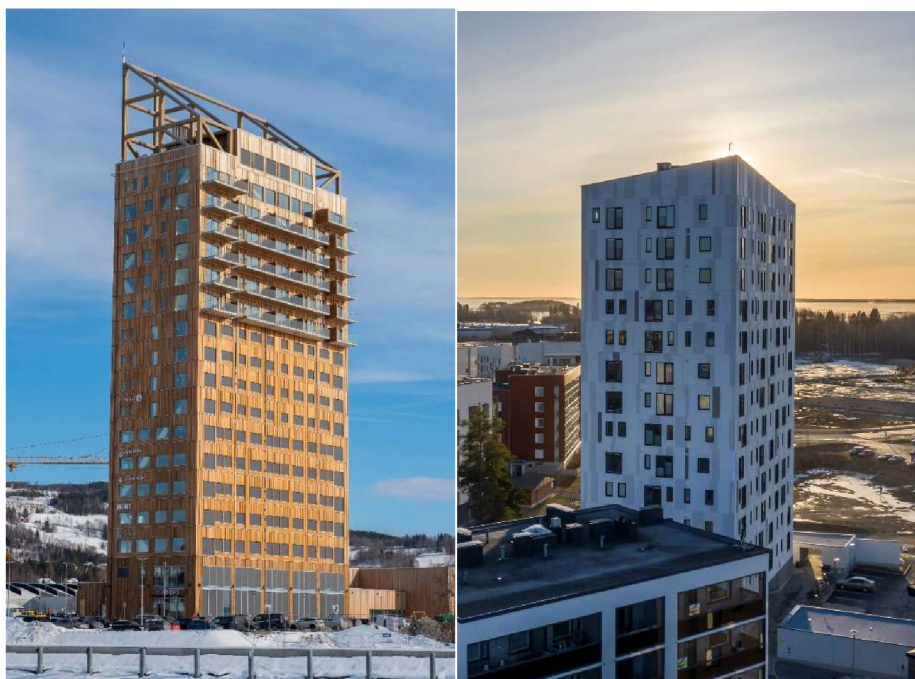
Vysokopodlažní stavby jsou budoucností stavitelství, aby byla podpořena udržitelnost životního prostředí a zvětšení procentuálního zastoupení zeleně oproti zastavěné ploše na Zemi. Tímto směrem se ubírá asi nejznámější výrobce **STORA ENSO**, který má za sebou už několik

významných architektonických vysokopodlažních dřevostaveb. Ve světě jejich lepená technologie křížem lepeného lamelového dřeva má tu výhodu, že dokáže při malé tloušťce stěny přenést vysoké zatížení a zachovává si velkou tvarovou i prostorovou stabilitu, tedy lze zanedbávat vliv sedání stavby vlivem bobtnání a sesychání při statických výpočtech těchto vysokých staveb. Také její vhodnost pro tyto stavby je proto, že díky zachování jednoduchosti této výroby lze vytvořit velké množství panelů za krátkou dobu s výbornými mechanickými i fyzikálními vlastnostmi, navzdory nízké objemové hmotnosti oproti panelu z betonu, v kombinaci s rychlostí a jednoduchostí montáže stavby. Zkrácení doby stavby se výrazně projeví v nižší ceně výstavby. Zejména konstrukce z CLT panelu mají z hlediska tepelně technických vlastností mnohem vhodnější předpoklady a parametry pro splnění pasivního standartu stavby (např. vnější stěna v RD musí splnit $U=0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Dřevo ve stavbě lépe izoluje jeho součinitel tepelné vodivosti je ($\lambda=0,18\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) zatímco např. Beton má okolo ($\lambda=1,30\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$), Železobeton ($\lambda=1,58\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) oproti tomu např. Železo má $\lambda=58 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

Nosné konstrukce často vytváří prostory tepelně ochrannou vrstvou obálky stavby a její parametry jsou horší, v izolačním materiálu v těchto vrstvách vznikne tak tepelný most tato slabá místa naruší homogennost izolační vrstvy stavby a navýší tepelné ztráty na energii za vytápění stavby. Zdroj uvádí i několik posudků detailů různých konstrukcí nejen mezi dřevostavbami ale i na bázi zdiva, betonu, YTONGU atd... (Hazucha 2016; Růžička 2014; Kulhánek 2011; Šubrt 2011; Zahradníček 2011; Chybík 2009; Štefko a kol. 2006)

Povrchové vrstvy u Stora enso nedosahují takové kvality jako u NOVATOP, ale jejich produkce je bez konkurenční a mnohem pro tak nákladnou stavbu zásadní. Pohledová kvalita CLT panelů u těchto staveb není až tak prioritní, protože z hlediska legislativy v některých zemích i u nás jsou jistá omezení, kdy nosná dřevěná konstrukce po daném počtu pater může být přiznaná v interiéru z hlediska legislativy požární bezpečnosti budov, ale musí být oplášťena nehořlavým materiálem, nejčastěji sádkokartonem z hlediska nízké ceny. Zajímavou stavbou, na které se podílela právě Stora enso mezi vysokopodlažními stavbami na bázi dřeva je např. největší výšková dřevostavba **Mjostarnet** v Norsku s 18 patry výškou 85,4 m a dokončena v roce 2019, kde byl jedním z hlavních dodavatelů CLT panelu. Jedná se o stavbu bez betonového jádra. Další stavbou, na které se podíleli byla vysokopodlažní stavba **Lighthouse Joensuu** ve Finsku vysoká 50 metrů s 14 patry dokončena v roce 2018 díky její výstavbě vznikl komplex 117 studijních bytů, získala ocenění "Puupalkinto" Wood Award dostala několik ocenění ve stavitelství. (Mayo 2015; Stora enso b.r.)

Nezávisle na firmě Stora enso, lze najít další zajímavé vysokopodlažní dřevostavby postavené ve světě s použitím CLT. Můžeme je vidět včetně podrobností (např. provedení, detaily, půdorys...) zejména stavby **Forté** v Austrálii s 10 patry a výškou 32,2 m dokončené v roce 2009. (Mayo 2015; Hugues 2004) **Strandparken hus B** ve Švédsku s 8 patry a dokončen v roce 2012 a **HOHO** v Vídeň s 24 patry a dokončena roku 2015. (Green, 2017). **Cultural Centre and Hotel** ve Švédsku s výškou 82 m a 20 patry dokončen roku 2021. (Kaufmann, 2022)



Obr. 25(Vpravo) Lighthouse Joensuu (Finsko) dokončená v roce 2018 (Arcadia Oy arkitekhtitoimisto, 2019, Upravitel: Autor), (Vlevo)Mjostarnet(Norsko) dokončena v roce 2019 (Moelven, c2023, Upravitel: Autor)

3.6.3 Velkorozměrové stavby s různým využitím

Stavby na bázi dřeva nejsou vhodné jenom k bydlení, tedy stavění rodinných domů či bytů nebo vysokopodlažních budov, ale také ke stavbě velkých a rozsáhlých staveb či komplexu staveb na bázi dřeva např. staveb s využitím administrativním, obchodů, výroben, škol, zdravotnické objekty, společenských center atd...Důkazem toho jsou například stavby, na kterých se podílela Stora enso nebo Novatop viz níže. Problematikou využití CLT panelů v EKO stavitelství její potenciál v architektuře, designu i konstrukci, potvrdil i výzkum. (Kozarić a kol. 2015).

Přednosti v použití při výstavbě nebytových staveb, mluví odborný průzkum poukazující na historii a využití CLT v nebytových i bytových stavbách. (Vanderschaaf a Maggard , 2023)

Stavby Stora enso

The World of Volvo, (NTU ABS) Nanyang Technological University's Academic Building South (Singapur)-Největší dřevostavbou v Asii s rozlohou půdorysu 42 000 m²,pokud by se stavba postavila vertikálně nikoliv svisle jednalo by se o největší dřevostavbu na světě. Je to také projekt, který se stal testovacím případem pro vniknutí vody a řízení vlhkosti díky tomu, že se jedná o stavbu v Singapuru v nejdeštivějším místě na zemi, kde při výstavbě došlo k největším srážkám za 40 let, je ukázkou toho, jak dřevostavby dokážou pracovat a odolávat vlhkosti a vlhkostním změnám. Dále pak dodavatelem největší stavby na bázi dřeva v ČR od Stora enso je stavba na bázi dřeva prodejna **PENNY ve Skutči na Chrudimsku** s cílem energetických úspor a uhlíkové neutralitě. První celodřevěný obchod i např. Růžička ve své knize píše, že při vyrovnání teploty po celém prostoru lze bez snížení tepelné pohody uspořit až 40 % nákladů na energie na vytápění v ČR. viz obrázky níže... (STORA ENSO, b.r)

Stavby Novatop

Například **OIKOS v Chorvatsku**-Soubor ekostaveb v Chorvatsku a Stavba **Tržnice Le Grand Marche** v Kanadském Quebecu. Dominantou interiéru této stavby je právě bideska z Novatopu. (Novatop,b.r.) Viz obrázky níže...

Další stavby ve světě s křížem (vrstveného) lepeného dřeva

ICD/ITKE RESEARCH PAVILION v Německu byl Pavilon dokončen v roce 2010 (Jodidio, 2020)

The Macallan Distillery in Aberlour ve Skotsku tj. Palírna(Lihovar) na whisky, otevřena roku 2018 a **Theatre near boulogne-sur-Mer** tj.Kruhové divadlo ve Francii, dokončena roku 2016(SCHOOF, 2021) **The Chapel of the Deaconesses of St-Loup at Pompaples**, (Kostel e Švýcarsku a dokončen roku 2008 a **Modular pavilion a structure for the paleo Festival** ve Švýcarsku dokončen mezi rokem 2008-2009) (Weinand 2017)



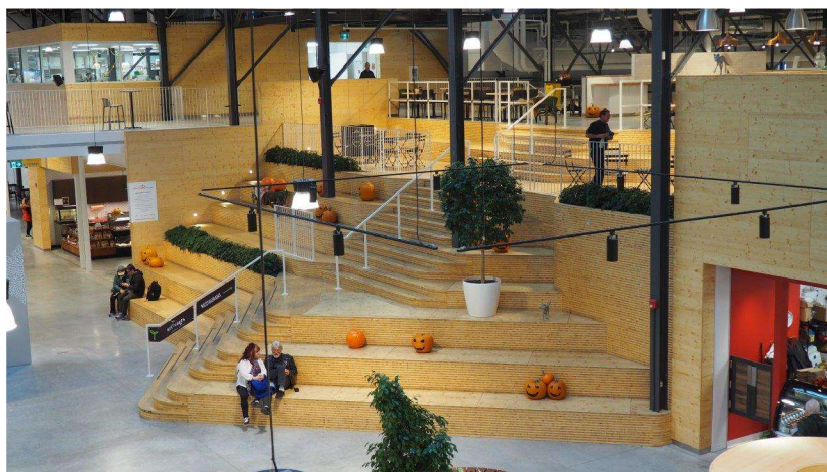
Obr. 26 (NTU ABS) Nanyang Technological University's Academic Building South (Singapur)-Největší dřevostavbou v Asii (Steeltech Industries PTE Ltd, 2023)



Obr. 27 PENNY – Obchodní prodejna celodřevěná v ČR dokončena 2022 (PENNY Market, 2022)



Obr. 28The World of Volvo (Švédsko-5 pater) -interaktivní prostor pro veřejnost dokončeno v roce 2024(Esselmark, b.r.)



Obr. 29 Tržnice Le Grand Marché v Quebecu z Novatopu (NOVATOP, b.r.)

3.7 Závěr literární rešerše

Na základě zjištěných informací z dostupných zdrojů materiálu křížem (vrstveného) lepeného dřeva jsem zjistil, že nejvhodnější volbou pro návrh realizace dřevěného objektu v další fázi této práce je využití CLT lepených panelů z výroby konstrukčního systému Novatop od firmy AGROP NOVA a.s.

Právě jeho výhody viz. výše ho upřednostňují a jsou pro použití v jednopodlažním rodinném domě jako ideální nosný konstrukční systém a také díky přiznání vizuální stránky s vysokou kvalitou pohledového povrchu desky v interiéru, kterou bez podmíněně konkurují asi neznámějšímu výrobcí tohoto systému a tím je firma Stora Enso. Rychlost a lehkost výstavby oproti jiným konstrukčním systémům dřevostaveb (např. Těžký či lehký skelet, prefa-tvarovky, sruby).

4 Metodika

- **LITERÁRNÍ REŠERŠE**
Zpracování literární rešerše technologie výroby panelu křížem lepeného dřeva pro obytné objekty trvalého užití
- **INVESTOR POŽADAVKY**
Požadavky investora (cena, počet pater, kolik lidí, co má splňovat všechno stavba dle investora
- **POŽADAVKY LEGISLATIVY A NOREM NA DŘEVOSTAVBU**
Požadavky legislativy a norem na jednotlivé konstrukční elementy a celkově na stavbu-obecně
- **VOLBA DRUHU KONSTRUKCE**
Konstrukční řešení konstrukčních elementů stavby (**stěny, základy, strop, střecha**) a **detailu**
- **VOLBA SKLADEB A JEJICH MATERIÁLU A VRSTEV**
Konstrukční skladby druhu konstrukcí a jejich parametry ze stavební fyziky (**teplo, vlhkost, akustika aktuální a požadavky normy**)
- **NÁVRH STUDIE**
Výběr architektonické studie pro vytvoření projektové dokumentace pro realizaci stavby (**vybraná popis této studie původní**)
- **REALIZAČNÍ DOKUMENTACE A STAVEBNÍ ZÁKONA A VYHLÁŠKA**
Zpracování Realizační dokumentace objektu **dle Stavebního zákona a vyhlášky**

(součást technická zpráva, výkresová dokumentace projektové dokumentace a výkresová dokumentace pro výrobu dřevostavby

- **DETAILY**
Zpracování funkčního řešení min. pěti detailu (**okno, dveře, základy stěna, strop a střecha ke stěně**). Z hlediska technologie výroby a stavební fyziky
- **CNC**
Dokumentace konstrukčního prvku pro CNC-**Stěnový panel CLT (NOVATOP)**
- **STATIKA**
Statický posudek vybraného prvku-**(sloup nebo strop nebo nosník) a tři spoje**
- **ROZPOČET**-Rozpočet pro realizaci objektu.

4.1 Investor požadavky

Požadavkem investora bylo bydlet ve zdravém prostředí a poklidné lokalitě dál od větších měst měl tedy jasný požadavek stavět na koupeném pozemku kousek u Dobříše. Chtěl také po nás, aby jeho dům byl z konstrukčního systému na bázi dřeva. Další požadavek byl, že tam chce bydlet se svou rodinou. Měl už představu o své vysněném domově načež nám předložil svou vysněnou představu ve formě návrhové studie jen to chtěl ze dřeva místo cihly. Jeho požadavkem není primárně nízká cena stavby, ale spíš jistota, kvalita a spolehlivost provedení této stavby. Přiměřeně velkou zahradu, aby si tam mohli hrát děti a také krb a velká okna která míří jen na jih. Požadavky dále bylo, že se má jednat o stavbu přízemní bez dalších pater. Měla by mít plochou střechu, neměla by mít velké a příkré schody a co nejvíc s prosklenými okny na jih, jeho hlavním požadavkem bylo abychom naplnili jeho požadavky tak to musí vypadat jako na jeho návrhu. A aby její konstrukce byla co nejmíň ztrátová z hlediska energií a snížili se tak výdaje na externí dodávky energií a byla tak co nejvíc soběstačnou stavbou.

4.2 Požadavky legislativy a norem na dřevostavbu

Existuje celá řada požadavků na stavby např. statika, tepelná ochrana budov, hygienické předpisy o vnitřním prostředí uvnitř stavby atd. . . , požární bezpečnostní řešení, vzduchotechnika, akustika, výměna vzduchu v interiéru., které, musí každá stavba projít, než bude zkolaudovaná a bude v ní umožněno vůbec bydlet. Těchto požadavků je velmi mnoho a byla by na to celá práce jen na toto jedno téma, nicméně hlavním stěžejním předpisem pro dřevostavby a obecně stavby je stavební zákon a jeho vyhlášky které jsou závazným dokumentem při provádění nových staveb, či rekonstrukcí. Hodnocení, zda vyhovuje normám stavba či návrh studie je rozhodnuta na základě posouzení dispozice stavby celistvosti. A zda rozměrově plochou místností a její světlou výškou, zda vyhovují. V dnešní době se posuzuje nejčastěji ,kvůli vysoké efektivitě ,jestli vyhovuje či ne konstrukce dle normy na daný vnější vlivy pomocí softwaru na příkladu uvedu ,že zde jsou konstrukce posuzovány z hlediska normy na tepelnou ochranu budov či statické posouzení .Použity byly programy teplo od svoboda software a statický posouzení pomocí Fin softwaru a další programy nebo je dalším předpokladem pro plnění požadavků u staveb na bázi dřeva i z jiných materiálů ,když využíváte a postupujete dle dokumentací a návodu od odběratele od kterého potřebujete daný materiál na svou realizaci, protože jen tak je dosaženo kvalitního provedení např. daného detailu a jeho správné plnění funkce.

Vzhledem k tomu, že vyhláška a zákon se vyjadřuje pouze k ostatním projektové dokumentaci ale, žádná z nich není nazvána realizační, která je obsahem této práce zpracovat dává volnou ruku realizačním firmám proto aby každá dokumentace nikdy jinak nazývaná výrobní byla

uzpůsobena daným potřebám realizačních firem a i dalším z tohoto sektoru může to však mít i svá nebezpečná úskalí. Při navrhování vhodných řešení skladeb a detailu pro provedení investorovi představ a přání jsem byl stále konfrontován nežádoucími hodnotami konstrukcí které jsem chtěl použít proto abych naplnil cíle legislativních požadavků a norem musel jsem mnohokrát optimalizovat skladby a detaily ,které jsem používal při návrhu investorova domu.

4.2.1 Základová konstrukce a skladba

Základová konstrukce stavby byla provedena jako nepravá deska s pasy. Pasy jsou do hloubky okolo 1 m hluboké tvořené z kombinace spodní části pasu, která je vylitá jen betonem prostým do hloubky asi padesát 50 cm. Šířky okolo také 50 cm norma uvádí, že musí pasy k hraně bednění tvořit minimálně 60 stupňů úhel aby přenesly veškeré zatížení to tedy splňujeme zbytek pasu až ke spodní hraně nepravé desky je tvořen ztraceném bednění vylité prostým betonem následně je celý sokl obložen XPS tepelnou izolací pro přerušení mostu skrz základovou konstrukci. Po obložení XPS je následně vylita první část vylitá betonem pro svázání spojení všech pasu do jedné tuhé konstrukce o tloušťce okolo 50 mm následně je položme hydroizolační systém od DEKU s hydroizolační folií Alkorplan nejprve je položena geotextilie Filtek a pak následně položena Alkorplan a zakryta Filtek geotextilií pro ochranu izolace proti poškození ,či degradaci UV zářením také splňuje funkci protiradonové izolace i přesto je nutnost ale nebyla předmětem práce zakreslení do výkresu. Hydroizolace na krajích desky se vytáhne nad výšku XPS izolace, aby izolační vrstva byl minimálně 300mm nad upravený terén. Po kompletaci se vylije betonová nepravá deska o tloušťce asi 100mm a ta bude tvořit pochozí povrch pro přípravu stavbu a zároveň chránit před poškozením hydroizolací a přenášet veškeré napětí do země ze stavby. Pro zvýšení výšky a bezpečnosti dřevěného nosné konstrukce bude nosná konstrukce podezděna a vyvýšena pomocí YTONG STARTER a na něj kotven základový práh na který bude se napojovat stěnové panely stavby práh bude dle statiky kotven skrz celý YTONG do betonového podkladu pomocí ocelové kotvy. Vzduchotěsné a paropropustné a parotěsnící provedení spojů a spáru konstrukcí bude provedeno pomocí illbruck systému a jejich výrobků dle doporučení a provedena na základě jejich dokumentace a předpisu i montáž. Další skladba od povrchu desky se skládá ze suchého vyrovnávacího podsypu aplikované dle doporučení a katalogu detailu od firmy Fermacell se skládá o tloušťce okolo 5 cm. Tím je zároveň ještě lepší nivelit rovnováhy podlahy. EPS je vyskládán a na něj přijde dvojitý záklop sádrovláknitou deskou Fermacell, který je lepen a přišroubován dle dokumentace Fermacell a jejich kotvící prostředky. Pod Fermacell je vložena ještě folie DEKSEPAR aby došlo k takovému zamezení vniknutí do konstrukce vlhkosti dojde i k jejímu odparu po založení sádrovláknitých desek bude proveden hydroizolační systémové řešení pod obklady v obou koupelnách dle dokumentace od firmy Fermacell a následně obložení kamenným či keramickým obkladem. V místnostech převážně suchých je použit laminátová podlaha a pod ní vložena Steico underfloor. Viz výkresy a skladby v přílohách výkresů realizační dokumentace, které jsou obsahem příloh.

4.2.2 Stěnová konstrukce a skladba

Konstrukce stěn obvodových je tvořena 124 mm, Novatop solid panelem, který je zarovnán na hranu základového prahu a hrany Ytongu a celé desky. Utěsnění spár a spojů je řešeno systémovým řešením od firmy illbruck. Další vrstvou je tepelná izolace dřevovláknitá Steico flex jako hlavní tepelná izolace, zároveň ní prochází Steico wall nosníky, které drží konstrukci fasády ve standardním rozponu o tloušťce celé vrstvy asi 280 mm, následně zaklopěna deskou od Steico universal black, které nahrazuje na odvětrávané fasádě folii.

Neboli pojistnou hydroizolaci o tloušťce 22 mm.

Vnitřní stěny jsou také z 124 mm tloušťky NOVATOP SOLID Panelu a tloušťky 100 mm izolace Steico flex s obkladem z SWP desky na roštu z CW 100 profilu.

4.2.3 Střešní konstrukce a skladba

Střešní konstrukce, řešena jako difuzně otevřená jako plochá střecha s atikou v dvouplášťovém provedení, byla provedena s vodorovnou nosnou konstrukcí z NOVATOP OPEN s instalovanou už i izolací z výroby. Nosné prvky byly navrženy na tloušťku 267 mm výšky a šířky 60 mm, následně zabráněno klopení pomocí, ztužujících žeber. Hlavní tepelně izolační vrstva je vložena v Novatop open panelu o tloušťce okolo 240 mm. Následně jsou na ně položeny kotvené spádové klíny, které jsou stejně provedeny proti klopení a kotveny do Novatop open spádové klíny jsou zaklopeny Steico universal izolací jako pojistná ochrana hlavní vrstvy izolace a je tak docíleno přerušení tepelného mostu mezi spádovým klínem a další vrstvou navazující konstrukce. Steico universal je na povrchu odvětrávané mezery tvoří vzduchovou mezeru ve střešním plášti spolu s roštem s KVH hranoly o průměru 120x60 mm.

Dále pak je výška mezery 120 mm. Horní plášť je dále řešen systémem zelených střech od firmy DEK. Ve skladbách ve výkresech je často uváděno i označení skladby DEK firmou.

Horní záklop mezery je pomocí dvojvrstev křížem na sebe OSB 3 o tloušťce 50 mm dohromady a následně je použit hydroizolační systém s Mapleplan folií. Která je hlavní hydroizolační vrstvou zelené střechy je vložena mezi dvě geotextilie jako u základů a následně je na ní položena DEKDREN novopová folie. Dále je pak vegetační souvrství s předpěstovanou travní rohoží o celkové tloušťce 120 mm. Celý horní plášť je přerušen od spodního vzduchovou mezerou, aby případný vzniklý kondenzát mohl svévolně odejít bez defektu na střešní skladbě a konstrukci. Okraje střechy jsou vytažené o víc jak 150 mm, aby bylo možné hranu izolace dostat na úroveň zeminy. Případné prostupy různého druhu a okraje atik a střešní roviny je vysypán po obvodě atiky o šířce asi 50 cm kačirkem, dle normy.

4.2.4 Výrobky pro stavební otvory+zabudování

Výrobky pro stavební otvory jsou uvedeny v příloze výkresu Realizační dokumentace staveb (tzv. RDS) pod názvem tabulka celková dveří i oken. Stavební otvory budou zabudovány HS Portály, Vchodové i interiérové dveře montovány a objednaný u firmy VEKRA, která vyráběla a instalovala interiérové dveře s obložkovou zárubní a vchodové dveře s rámovou zárubní. HS Portály a vchodové dveře jsou pro snížení tepelných ztrát skrz otvory ve stavbě.

navrženy s illbruck systémem předsazené montáže typ 2 a jejich těsníci systémem včetně využití komprimační pásky. HSP a Vnější dveře jsou navrženy jako dřevo hliníkové a navrhnuté, aby splňovali doporučené hodnoty pro pasivní budovy z hlediska normy tepelné ochrany budov a budou provedeny na podkladech z Purenitu. Zabudování bude dle statiky bud pásové kotvy nebo turbošroub okenní. HS Portál v koupelně bude s mlžným sklem nebo jinou chytrou výplní.

4.3 Posouzení detailu z hlediska stavební fyzika

Posuzované byly konstrukční skladby pomocí softwaru teplo od SVOBODA SOFTWARE na součinitel tepelného prostupu tepla skrz skladbu a kondenzace a difuze a bilanci vodních par skrz skladbu. Posudky výstupy a výsledky z programu a posuzované skladby viz přílohy práce příloha obsahující dokumenty svoboda software. Byly posuzované především skladby vnější i vnitřní ve většině případu nevzniká vůbec kondenzace, pokud vzniká tak se odpaří. Viz výsledky v přílohách či kapitola 5.

4.4 Statika

Posouzení z hlediska statiky byl zvolen dřevěný stropní nosník z BSH o rozměrech 267x60 mm který byl vybrán a označen ve výkresu pro montáž ve výrobní dokumentaci na výkresu půdorys a střecha sestava. Posouzení bylo provedeno v programu FIN výsledky a výstupy jsou uvedeny v přílohách pro statiku. Posuzovaný nosník vyhověl obou mezním stavům a je schopný plnit nosnou funkci a přenos všech zatížení ze střešní či stropní konstrukce.

Dále byly vybrány detaily konstrukčních spojů z výrobní dokumentace, které byly následně posouzeny v softwaru přímo od společnosti ROTHOBLOSS výrobců těchto spojovacích prostředku. Zde byly posuzované detaily spojů, v kterých je odkázáno na nutné posouzení spoje viz příloha statika nebo kapitola 5.

4.5 CNC dokumentace

Výrobní dokumentace pro výstup do CNC stroje je provedena při využití Autocadu či jiného programu pro technické kreslení který umožňuje výstupy s koncovkou programu .dwg, který v sobě má zakomponované hladiny, které nesou své kódové označení které cnc centrum pozná a na základě toho dokáže vyhodnotit jaký druh nástroje je potřeba použít a jak rychle ,či do jakého místa či hloubky zajet. Byla vybrán jeden panel, který byl třeba obrobit do menšího formátu do formátu na výšku 2803 mm a na šířku 600 jednalo se o prvek NOVATOP SOLID 7. Provedena byla volba hladiny s konkrétním označením pro nástroj, který má obrobit panel do tvaru zvoleného nákresem který byl navržen a nakreslen v jeho označené hladině v programu následně po z přenosu dat do počítače započal obráběcí proces. viz příloha CNC výstup.

4.6 Rozpočet

Rozpočet na stavbu byl proveden nejprve jako orientační pomocí programu kubix a následně poté byl proveden rozpočet položkový tedy podrobnější a přesnější rozpočet na vybrané části stavby. Výsledky rozpočtu lze najít v přílohách pro rozpočet popř. výsledky kapitola 5.

5 Výsledky

Z hlediska rozpočtu na základě rozpočtu v programu kubix vyšlo 6,8 milionu pomocí rozpočtu přes program kros vyšla stavba celkem na 15,6 milionu. Je zde vidět rozdíl jak moc cena narůstá čím víc jdu do detailu stavby a po konkrétních i drobnostech.

Z hlediska statiky byly provedeny proveden posudek na mezní stavy podle programu fin ,který se řídí podle výpočtu dle Eurokodu 5. Posouzení prvku vyhovělo a muže ve stavbě plnit při psvém průřezu 267x60 mm svou nosnou funkci bez rizika poruchy či zřícení.

Posouzení spojů bylo také provedeno a také vyhověly navržené hodnoty a prvky můžeme vidět v následujících příloze pro statiku ,kde jsou podrobně rozebrány charakteristiky těchto spojů Konstrukční spoje jsou dimenzované na dva spojovací prostředky přenos sil vyhovuje.

Dokumentace pro vstup do CNC byla také vytvořena viz přílohy.

Z hlediska stavební fyziky lze vidět, že konstrukce vyhovují z hlediska kondenzací par a a též také i z hlediska součinitele prostupu tepla, kdy konstrukce všechny splňují doporučené hodnoty pro pasivní budovy viz příloha stavební fyziky. Z hlediska prostupu tepla tabulkové hodnoty z normy pro doporučené hodnoty pro pasivní stavby minimálně pro podlahy u zeminy 0,22 až 0,15, stěna vnější od 0,18 až 0,12 a pro střechy do sklonu 45 stupňů vychází 0,15 až 0,10 v $W/m^2.k$.

SHRNUTÍ VLASTNOSTÍ HODNOCENÝCH KONSTRUKCÍ						
Teplota 2017 EDU		tepelná ochrana budov (ČSN 730540, EN ISO 6946, EN ISO 13788)				
Název kce	Typ	R [m2K/W]	U [W/m2K]	Ma,max[kg/m2]	Odpaření	DeltaT10 [C]
A. Obvodová stěna s vet...	stěna	8.002	0.121	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
KA. Obvodová stěna s vě...	stěna	7.502	0.129	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
KC. Příčka-W110-(koupel...	stěna	1.065	0.755	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
B. Příčka W111- pokoj...	stěna	3.023	0.305	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
KB. Příčka W111- (koupe...	stěna	2.949	0.312	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
C. Příčka W110-pokoj...	stěna	1.032	0.774	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
KD. Střecha s větrací m...	střecha	11.587	0.085	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
D. Střecha s větrací me...	střecha	5.872	0.165	nedochází ke kondenzaci v.p.	---	---
E. Základová konstrukce...	podlaha	5.921	0.164	0.0238	ano	---
KE. Základová konstrukc...	podlaha	5.921	0.164	0.0238	ano	---

Vysvětlivky:
R tepelný odpor konstrukce
U součinitel prostupu tepla konstrukce
Ma,max maximální množství zkond. vodní páry v konstrukci za rok
DeltaT10 pokles dotykové teploty podlahové konstrukce.

Figure 1-výsledky stavební fyzika (Autor)

Souhrnná technická zpráva také zpracována současně s realizací a výrobní dokumentací stavby.

6 Diskuze

Některé materiály ohledně ceny by lze šlo nahradit levnější materiálem ale už nebudou mít nic společného jakožto materiál na bázi dřeva aby poklesla cena stavby ,je známkou ,tato vyšší hodnota, že tento druh konstrukčního systému je na přízemní stavby moc drahý oproti tomu 2b4 bude vycházet jako přízemní stavba mnohem lépe. Všechny konstrukce vše splnili skladby jsou vhodné pro běžnou praxi a využití přesto ,že se mohou zdát dražší je zde minimalizováno riziko defektu na konstrukci na minimum.

7 Závěr

Cílem práce byly splněny konstrukce splňuje svou funkci a není ohrožena ohrožením co by napomohlo k její degradaci a zkrácení životnosti či k následným defektům a následnému ohrožení na životě ubytovaných. Z hlediska stavební fyzika stavba splňuje doporučené hodnoty pro pasivní stavby dle normy-Tepelná ochrana budovy ČSN730540 a vlhkost, žádná extrémní vysoké množství či spíše, žádné se nevyskytuje, převážně se vyskytuje u podlahové základové konstrukce, která je ale konstruována tak, že dřevěné prvky ohroženy nejsou a dochází zde během bilance roku k úplnému odpaření. Tato práce dokazuje velký potenciál i v malých stavbách jako jsou rodinné domy avšak zde stále narážíme na problém,, že takové stavby s tímto systémem díky tomu jeho cena stavby narůstá.Tato práce ukazuje ,že dřevo má své místo právoplatně mezi materiály na stavbě z hlediska jeho velmi zajímavou strukturou a stavbou či vlastnostmi.

8 Literatura

8.1 Literární zdroje

ZAHRANIČNÍ

DOUGLAS, Brad, KARACABEYLI, Erol, ed., 2013. *CLT Handbook: Cross-Laminated Timber: Special publication*. U.S.EDITION. FPInnovations, Pointe-Claire, Québec. ISBN 9780864885531.

(Douglas a Karacabeyli, 2013)

DUDAS, Juraj a Stanislav JOCHIM. *Konštrukčně drevně materiály: pro dřevěné stavební konstrukcie a výroby*. 1. Zvolen: Technická univerzita ve Zvolene, 2008. ISBN 978- 80-228-1938-1.

(DUDAS,2008)

FAHERTY, Keith F. a Thomas G. WILLIAMSON. *Wood engineering and construction handbook*. 2. ed. New York: Osborne-McGraw-Hill, 1995. ISBN 0-07-019911-6.

(FAHERTY a WILLIAMSON, 1995)

GAGNON, Sylvain a Erol KARACABEYLI, c2019 a. *Canadian CLT Handbook, 2019 Edition. Volume I*. 2019 edition. National Library of Canada. ISBN 978-0864885906.

(Gagnon a Karacabeyli, c2019 a)(Poznámka 2.vydání-2019 ale asi 2020 více web: AMAZON)

GAGNON, Sylvain a Erol KARACABEYLI, c2019 b. *Canadian CLT Handbook, 2019 Edition. Volume II*. 2019 edition. National Library of Canada. ISBN 978-0864885913

(Gagnon a Karacabeyli, c2019 b)(Poznámka 2.vydání-2019 ale asi 2020 více web:

GREEN, Michael a Jim TAGGART, [2017]. *Tall wood buildings: design, construction and performance*. Basel: Birkhäuser. ISBN 978-303-5604-757.

HERZOG, Thomas. *Holzbau Atlas*. 4. Aufl., neu bearb. Basel: Birkhäuser, c2003. ISBN 3-7643-6984-1.

HERZOG, Thomas, Julius NATTERER, Roland SCHWEITZER,, Michael VOLZ a Wolfgang WINTER, [2004]. *Timber Construction Manual*. Birkhäuser: Birkhäuser – architektura. ISBN 9783764370251.

HUGUES, Theodor, Ludwig STEIGER a Johann WEBER. *Timber construction: details, products, case studies*. Basel: Birkhäuser, c2004. Detail praxis. ISBN 3-7643-7032-7.

MAHAMID, Mustafa, 2020. *Cross-Laminated Timber Design: Structural Properties, Standards, and Safety*. 1. New York: McGraw-Hill Education. ISBN 9781260117998.

JOACHIM BLASS, Hans a Carmen SANDHAAS, 2017. *Timber Engineering - Principles for Design*. KIT Scientific Publishing. ISBN 978-3-7315-0673-7.

(Joachim Blaß, 2017)

JODIDIO, Philip. *100 contemporary wood buildings = 100 zeitgenössische Holzbauten = 100 bâtiments contemporains en bois*. Köln: Taschen, [2020]. Bibliotheca Universalis. ISBN 978-3-8365-6156-3.

(Jodidio, 2020)

KAUFMANN, Hermann, Stefan KRÖTSCH a Stefan WINTER. *Manual of multistorey timber construction: principles – constructions - examples*. Second edition. Přeložil Mark KAMMERBAUER. Munich: Edition Detail, [2022]. ISBN 978-3-95553-581-0.

(Kaufmann, [2022])

KOLB, Josef, 2008 a. *Systems in Timber Engineering*. Birkhäuser: Birkhäuser – architektura. ISBN 9783764386894.

MAYO, Joseph, 2015. *Solid wood: case studies in mass timber architecture, technology and design*. Newyork. Abingdon: Routledge. ISBN 978-0-415-72530-9.

SCHOOOF, Jakob. *Engineering nature: timber structures*. Přeložil Raymond PEAT. Munich: DETAIL Business Information, [2021]. Edition DETAIL. ISBN 978-3-95553-552-0.

WAUGH THISTLETON ARCHITECTS, 2018. *100 Projects UK CLT*. Waugh Thistleton Architects. ISBN 9781999405021.

(Waugh Thistleton Architects, 2018)

WEINAND, Yves. *Advanced timber structures: architectural designs and digital dimensioning*. Basel: Birkhäuser, [2017]. ISBN 978-3-0356-0561-7

ČESKÁ

BÍLEK, Vladimír. *Dřevostavby: navrhování dřevěných vícepodlažních budov*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03159-4.

(Bílek, 2005)

HAVÍŘOVÁ, Zdeňka, 2005. *Dům ze dřeva*. Brno: ERA Group. Stavíme. ISBN 80-7366-008-3. (Havířová, 2005)

HAZUCHA, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.

HUDEEC, Mojmír. *Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět*. Praha: Grada, 2008. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2555-0.

CHYBÍK, Josef, 2009. *Přírodní stavební materiály*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978- 80-247-2532-1.

KOLB, Josef, 2008b. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2275-7.

KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7.
(Kuklík a Kuklíková, 2010)

KULHÁNEK, František, 2011. *Stavební fyzika II: stavební tepelná technika*. 5., přepracované vydání. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 978-80-01-04957-0.

KŘUPALOVÁ, Zdeňka. *Nauka o materiálech: pro 1. a 2. ročník SOU učebního oboru truhlář*. Čtvrté, upravené vydání. Praha: Sobotáles, 2023. ISBN 978-80-86817-52-1.

NUTSCH, Wolfgang. *Příručka pro truhláře*. 2., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 80-86706-14-1.

PAVLAS, Marek, 2016. *Dřevostavby z vrstvených masivních panelů: technologie CLT*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0055-2.

RŮŽIČKA, Martin, 2014. *Moderní dřevostavba*. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3298-5.

ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: Jaga, 2006. Home. ISBN 80-8076-043-8.

ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy: 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-4059-1.

VAVERKA, Jiří, 2008. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.

ZAHRADNÍČEK, Václav a Pavel HORÁK, 2011. *Moderní dřevostavby*. 2., aktualizované vydání. Brno: Computer Press. ISBN 978-80-251-3568-6.

8.2 Internetové zdroje

AMLA, JYOTSNA, 2018. Tokyo Is Planning To Make World's Tallest Wooden Building Reaching 1,148ft. *Rapidleaks* [online]. JYOTSNA AMLA 16. února 2018. [cit. 2023-09-05]. Dostupné z: <https://rapidleaks.com/world/world-tallest-wooden-building/>
)

DEKPANEL. O výrobě DEKPANELU, © 2023. *Dekwood* [online]. Praha 10: DEK [cit. 2023-09-05]. Dostupné z: <https://dekwood.cz/dekpanel/o-systemu>
(DEKPANEL, © 2023)

HENDERSON, James, © 2013. Co je Brettstapel? *Brettstapel* [online]. Velká Británie: Henderson [cit. 2023-09-05]. Dostupné z: https://www.brettstapel.org/Brettstapel/What_is_it.html

- KUKLÍK, Petr a VELEBIL, Lukáš, 2013. Křížem vrstvené dřevo s mechanickými spoji. *Stavba.tzb-info* [online]. Praha: Top info, 30.12.2013 [cit. 2023–09-05]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/nosne-systemy-drevostaveb/10738-krizem-vrstvene-drevo-smechanickymi-spoji>
- LIGNOTREND, Stěnové prvky Lignotrend, b. r. *Dietzmann-zimmerer* [online]. WAGENFELD: ZIMMEREI DIETZMANN, b. r. [cit. 2023–09-05]. Dostupné z: <https://www.dietzmann-zimmerer.de/main.php?cat=10>
- LVL, © 2022. *Ultralam* [online]. Petrohrad (Rusko): Modern Lumber Technology, © 2022, [cit. 2022-02-09]. Dostupné z: <https://ultralam.com/products/laminated-veneerlumber-lvl/>
- MHM. Stavební materiál MHM, b. r. *Massiv-Holz-Mauer* [online]. Weissbach(Německo): Massiv-Holz-Mauer Entwicklung, [cit. 2023- 09-05]. Dostupné z: <https://www.massivholzmauer.de/de/baustoff-mhm.html>
- NOVATOP. Clt panely jako základ stavebního systému Novatop: Jaké má výhody? b. r. *Novatop-system* [online]. Ptenský Dvorek: AGROP NOVA, b. r. [cit. 2023-09-05]. Dostupné z: <https://novatop-system.cz/clt-panely-jako-zaklad-stavebniho-systemu-novatopjake-ma-vyhody/>
- THEWOODLAND, © 2022. Příčné dřevo / CLT – Stručná historie. *TheWoodland* [online]. Nottingham: The Woodland Buildings Investment [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://www.greenspec.co.uk/building-design/crosslam-timber-history-and-production/>
- SCS. Typy připojení panelů CLT, © 2013. *CLT CROSS LAMINATED TIMBER* [online]. Thomas Town (Austrálie): Sustainable Construction Services, © 2013 [cit. 2023- 09-05]. Dostupné z: <http://www.cltcrosslaminatedtimber.com.au/products/connectorsbrackets-fixings> (SCS, © 2013)
- STEICO LVL-X, 2019. *STEICO Technická příručka – Nosníky* [online]. Praha 9: M. T. A., 07/2019, 1-44 [cit. 2023- 09-05]. Dostupné z: <https://web.steico.com/cz/stahnout/produkty-a-obecne-informace/>. Dostupné z: (https://www.mta.cz/site/assets/files/1035/steico_technicka_prirucka_nosniky_cz_07_2019.pdf)
- Střechy 92. O Ultralamu, © 2017. *Ultralam-lvl* [online]. Vlachovice: Střechy 92, © 2017, [cit. 2023–09-05]. Dostupné z: <https://www.ultralam-lvl.cz/>
- THOMA HOLZ. Světový rekord v tepelné izolaci, © 2022. *Thoma* [online]. Rakousko: Thoma Holz [cit. 2023–09-05]. Dostupné z: <https://www.thoma.at/100-prozentholz/>
- ZIMARK.BSP/CLT křížem lepené dřevěné panely, 2014. *ZIMARK webnode.cz* [online]. Brno [cit. 2023–09-05]. Dostupné z: <https://zimark.webnode.cz/technologie-stavby/>

STORA ENSO, b.r. Křížem lepené dřevo (CLT). *STORA ENSO* [online]. Helsinky: Stora Enso [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/cs-cz/products/mass-timber-construction/building-products/clt>

VESELÝ, Vojtěch a Petr KUKLÍK, 2013. Masivní dřevostavby a požadavky na ně kladené. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2022-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/vlastnosti-drevostaveb/10345-masivni-drevostavby-a-pozadavky-na-ne-kladene>

8.3 Vědecký článek

ZAHRANIČNÍ

ARAUJO, Victor Almeida De, Juliano Souza VASCONCELOS, Juliana CORTEZ-BARBOSA, Elen Aparecida Martines MORALES, Maristela GAVA a José Nivaldo GARCIA, 2022. Can timber houses be productively faster to build than other buildings? *Revista Árvore* [online]. **2022**(46), 1-15 [cit. 2024-02-19]. ISSN 1806-9088. Dostupné z: doi:10.1590/1806-908820220000023

GUTIERREZ, Mateo, Azin ETTAEI, Nathan KOTLAREWSKI a Michael LEE, 2023. Structural Properties of Commercial Australian Plantation Hardwood CLT. *Buildings* [online]. **13**(1) [cit. 2024-02-19]. ISSN 2075-5309. Dostupné z: doi:10.3390/buildings13010208

Ronquillo, Gerard a Hopkin, Danny a Spearpoint, Michael. (2021). Review of large-scale fire tests on cross-laminated timber. *Journal of Fire Sciences* 39. doi:10.1177/073490412111034460.

ROSTAMPOUR HAFTKHANI, Akbar a Hojat HEMATABADI, 2022. Effect of Layer Arrangement on Bending Strength of Cross-Laminated Timber (CLT) Manufactured from Poplar (*Populus deltoides* L.). *Buildings* [online]. **12**(5) [cit. 2024-02-19]. ISSN 2075-5309. Dostupné z: doi:10.3390/buildings12050608

KOZARIC, Ljiljana, Aleksandar PROKIC a Miroslav BESEVIC, 2015. Cross laminated timber elements in contemporary timber structures of buildings: Application and design. *Gradjeviniski materijali i konstrukcije* [online]. **58**(4), 51-69 [cit. 2024-02-19]. ISSN 0543-0798. Dostupné z: doi:10.5937/grmk1504051K

Mohebbi, Behbood a Broushakian, Vahid. (2023). Moisture Distribution in Cross Laminated Timber (CLT) Made from Heat Treated Wood, preprint. *Research Square*. doi: 10.21203/rs.3.rs-2906320/v1.

VANDERSCHAAF, Curtis a Adam MAGGARD, 2023. *Cross-Laminated Timber (CLT) in the Construction of Nonresidential Buildings*. Mississippi State University. Dostupní z: https://www.researchgate.net/publication/367636076_Cross-Laminated_Timber_CLT_in_the_Construction_of_Nonresidential_Buildings

ČESKÁ

AGROP NOVA, 2012. Jak se montují masivní dřevěné panely NOVATOP. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/8841-jak-se-montuji-masivni-drevene-panely-novatop>

AGROP.NOVA, 2013. Stavba domu z NOVATOPu v Africe pokračuje. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2022-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/112667-stavba-domu-z-novatopu-v-africe-pokracuje>

ASB-PORTAL, 2013. Dřevostavby a povodně. *ASB-portal* [online]. V Praze: Jaga Media [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/drevostavby-a-povodne>

EISMANN, DOMOJA a MVTECHNIK, 2010. Stavby a povodně. *DřevoStavby* [online]. V Praze: PRO VOBIS [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/dum-na-bazi-dreva/151-o-drevostavbach/825-stavby-a-povodne>

JAMES HARDIE EUROPE, 2012. Rodinný dům VESPER FRAMES v osadě Zavadilka na Šumpersku. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2022-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8378-rodinny-dum-vesper-frames-v-osade-zavadilka-na-sumpersku>

)

KOŽELOUH, Bohumil, 2014. Pozoruhodné dřevěné konstrukce ze Severní Ameriky. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2022-01-26]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/11740-pozoruhodne-drevene-konstrukce-ze-severni-ameriky> (Pozn.ASI ZDROJ DŘEVOSTAVBY)

KUBÍČEK, Rostislav, Martin KRČ, David KŘEČEK a ATELIÉR, 2012. Nulová dřevostavba rodinného domu s krytým bazénem. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2022-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/9418-nulova-drevostavba-rodinneho-domu-s-krytym-bazenem>

KUKLÍK, Petr, Anna GREGOROVÁ, Lenka MELZEROVÁ a Jan TIPPNER, 2013. Pokročilé metody pro navrhování konstrukcí z CLT. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10314-pokrocile-metody-pro-navrhovani-konstrukci-z-clt>

KUKLÍK, Petr, Lukáš VELEBIL a Antonín LOKAJ, 2013. Křížem vrstvené dřevo s mechanickými spoji. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/nosne-systemy-drevostaveb/10738-krizem-vrstvene-drevo-s-mechanickymi-spoji>

KUKLÍK, Petr, Lukáš VELEBIL, Anna GREGOROVÁ a Bohumil STRAKA, 2017. Technická normalizace a vícepodlažní dřevostavby. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/15930-technicka-normalizace-a-vicepodlazni-drevostavby>

KUKLÍK, Petr, Lukáš VELEBIL a Antonín LOKAJ, 2018. Novinky v oblasti navrhování vícepodlažních dřevostaveb z křížem vrstveného dřeva. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze:

Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/17914-novinky-v-oblasti-navrhovani-vicepodlaznich-drevostaveb-z-krizem-vrstveneho-dreva>

KUKLÍK, Petr, Anna KUKLÍKOVÁ, Anna GREGOROVÁ a Bohumil STRAKA, 2019. Nové poznatky v oblasti požární odolnosti vícepodlažních dřevostaveb. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/19345-nove-poznatky-v-oblasti-pozarni-odolnosti-vicepodlaznich-drevostaveb>

MACEK, Daniel a Iveta STŘELCOVÁ, 2013. Dřevostavby a cenové ukazatele nosných obvodových zdí. *Old.konstrukce* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/drevostavby-a-cenove-ukazatele-nosnych-obvodovych-zdi/>

PETÁKOVÁ, Helena, 2013. Velká voda nemusí být pohroma. *DřevoStavby* [online]. V Praze: PRO VOBIS [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/stavba-drevostavby/ostatni/2528-z-aktualniho-vydani-velka-voda-nemusi-byt-pohroma>

PREFA ALUMINIUM PRODUKTE, 2023. Kompozitní desky na pražské čerpací stanici. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-systemy/24935-kompozitni-desky-na-prazske-cerpaci-stanici>

PRODESI/DOMESI, 2015. Typový dům Futura NEO bude postaven v pasivním standardu. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2022-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/117423-typovy-dum-futura-neo-bude-postaven-v-pasivnim-standardu>

SANDANUS, Jaroslav, Orsolya KATONA a Petr KUKLÍK, 2014. Navrhovanie nosných konštrukcií z křížom lepeného dreva. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/11824-navrhovanie-nosnych-konstrukcii-z-krizom-lepeneho-dreva>

SMOLA, Josef, Martin RUŽIČKA, 2012. Podpora dřevostaveb v ČR – možnosti a východiska. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8548-podpora-drevostaveb-v-cr-moznosti-a-vychodiska>

STAVBA.TZB-INFO, 2013. High-tech dřevostavba s opalovanou dřevěnou fasádou. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2022-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/9592-high-tech-drevostavba-s-opalovanou-drevenou-fasadou> ZDROJ ASI DŘEVOSTAVBY

VELEBIL, Lukáš, Petr KUKLÍK a Antonín LOKAJ, 2019. Stanovení tuhosti a únosnosti výztužných stěn z mechanicky spojovaného křížem vrstveného dřeva. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/20003-stanoveni-tuhosti-a-unosnosti-vyztuznych-sten-z-mechanicky-spojovaneho-krizem-vrstveneho-dreva>

VELUX, 2016. Rodinný dům na svahu hory. *Stavba.tzb-info* [online]. V Praze: Topinfo [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/14832-rodinny-dum-na-svahu-hory>

ZAHRADNÍČEK, Václav, 2010. Povodně a různé technologie stavění – dřevostavby. *ASB-portal* [online]. V Praze: Jaga Media [cit. 2023-09-06]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/architektura/rodinne-domy/drevostavby/povodne-aruzne-technologie-staveni-drevostavby>

8.4 Normy

ČSN EN 338. Konstrukční dřevo – Třídy pevnosti: Terminologie. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016

ČSN EN 16351 ed.2. Dřevěné konstrukce – Křížem vrstvené dřevo-Požadavky. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021

ČSN EN 16351. Dřevěné konstrukce – Křížem vrstvené dřevo-Požadavky. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021

ČSN EN 385. Konstrukční dřevo nastavované zubovitým spojem – Požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky. 2. Praha: Český normalizační institut, 2002

ČSN EN 386. Lepené lamelové dřevo. Požadavky na užitné vlastnosti a minimální výrobní požadavky. 2. Praha: Český normalizační institut, 2002

ČSN EN 14080. Dřevěné konstrukce – Lepené lamelové dřevo a lepené rostlé dřevo-Požadavky. 1. Praha: Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013

ČSN 73 0540-1. Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

ČSN 73 0540-2. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

ČSN 73 0540-3. Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin. 1. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN 73 0540-4. Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. 1. Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN 73 0802 ed. 2. Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty. Ed.2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023

8.5 Zdroje obrázky

Obr. 1– Porovnání vysokopodlažních staveb na bázi dřeva na světě.Zdroj: AMLA, JYOTSNA, 2018. Tokyo Is Planning To Make World’s Tallest Wooden Building Reaching

1,148ft. Rapidleaks [online]. JYOTSNA AMLA 16. února 2018. [cit. 2023-09-09]. Dostupné z: <https://rapidleaks.com/world/world-tallest-wooden-building/>

Obr. 25- Lighthouse Joensuu (Finsko) dokončená v roce 2018 (vpravo). Zdroj: ARCADIA OY ARKKITEHTITOIMISTO, 2019. Lighthouse Joensuu. In: Arcadia [online]. [cit. 2023-09-11]. Dostupné z: <https://www.arcadia.fi/yritys/#lighthouse-joensuu>

Obr. 25- Mjostarnet (Norsko) dokončena v roce 2019 (vlevo). Zdroj: MOELVEN, c2023. Mjostarnet. In: Moelven [online]. [cit. 2023-09-11]. Dostupné z: <https://mediabank.moelven.com/mediaroom.html?keywords=Mjostarnet&company=MoelvenLimtreAS>

Obr. 26- (NTU ABS) Nanyang Technological University's Academic Building South (Singapur)-Největší dřevostavbou v Asii. Zdroj: STEELTECH INDUSTRIES PTE LTD, 2023. Case Study: Nanyang Technological University's Academic Building South, Singapore. In: Stora Enso [online]. [cit. 2023-09-11]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/en/newsroom/news/2023/4/nanyang-technological-universitys-academic-building-south>

Obr. 27- PENNY- Obchodní prodejna celodřevěná v ČR dokončena 2022. Zdroj: PENNY MARKET, 2022. PENNY OTEVŘELO VE SKUTČI NEJEKOLOGIČTĚJŠÍ PRODEJNU. In: PENNY [online]. [cit. 2023-09-11]. Dostupné z: <https://www.penny.cz/mediaweb/press-releases/tz-penny-otevrel-o-ve-skutci-nejekologictejsi-prodejnu>

Obr. 28- The World of Volvo (Švédsko) má 5 pater)-interaktivní prostor pro veřejnost dokončeno v roce 2024. Zdroj: ESSELMARK, Markus, b.r. The World of Volvo. In: Stora Enso [online]. [cit. 2023-09-11]. Dostupné z: <https://references.buildingsolutions.storaenso.com/en/projects/commercial/sweden/the-world-of-volvo>

Obr. 29- Tržnice Le Grand Marché v Quebecu z Novatopu. Zdroj: NOVATOP, b.r. TRŽNICE LE GRAND MARCHÉ V KANADSKÉM QUEBECU. In: *Novatop* [online]. [cit. 2023-09-11]. Dostupné z: <https://novatop-swp.cz/pouziti/trznice-le-grand-marche-v-kanadskem-quebecu/>

9 Seznam obrázku

Obr. 1 Vysoko podlažní stavby ve světě a jejich budoucnost (AMLA, 2018).....	13
Obr. 2 Technologie křížem lepeného dřeva různých výrobců (Foto: Autor)	14
Obr. 3 Základní rozdělení konstrukčních systému dřevostaveb (Vaverka,2008, upraveno: Autor).....	14
Obr. 4 Základní rozdělení konstrukčních systému z křížem vrstveného dřeva (Kolb, 2008 a, upraveno: Autor).....	14
Obr. 5 Technologie systému CLT výrobcem Novatop(Foto:Autor)	17

Obr. 6 Provedení různých napojení lamel při výrobě vrstev CLT panelu (ZIMARK, 2014, upraveno: Autor).....	18
Obr. 7 Vstupní materiál sušené řezivo(vlevo) a následná fáze strojního jakostního třídění v softwaru MICROTEC (vpravo)(Foto: Autor).....	19
Obr. 8 Následuje ruční dotřídění lamel po strojním třídění většinou barvy odpovídají jakostem z třídění strojem (nejčastěji hnědá jakost C)(Foto:Autor).....	19
Obr. 9 Skládání desek(panelu) z křížem vrstveného dřeva Stora enso je spíše bližší původní pojetí CLT panelu z hlediska výroby o trochu odlišnější je pak systém Novatop(ZIMARK, 2014,NOVATOP, b. r., upraveno: Autor)	21
Obr. 10 Ukázka vícevrstevných CLT panelu včetně standartních rozměru od výrobce Stora enso(vlevo)Novatop(vpravo)(Foto: Autor).....	21
Obr. 11 Výroba jedné vrstvy křížem vrstvené desky (Foto:Autor)	22
Obr. 12 Fáze křížové vrstvení desky a lisování (Foto:Autor).....	22
Obr. 13 Lisování a vytvrzení souboru křížem vrstvené desek většího počtu (Foto:Autor).....	23
Obr. 14 Různé druhy a tloušťky biodesek, které jsou následně používány i pro výrobu CLT panelu od Novatop(Foto: Autor).....	23
Obr. 15 Fáze oprav povrchu-Vyspravení tmelem (Využití hnědého tmelu kvůli vzhledu CLT po žloutnutí UV dřeva)(vlevo).Oprava suků a nahrazení zdravými suky (tzv. vyspravení),Využití hnědého tmelu kvůli vzhledu CLT po žloutnutí UV dřeva.(vpravo) (Foto: Autor).....	24
Obr. 16 Zbroušení desky do finálního povrchu (zrnitost nejčastěji 50 a 100) (Foto: Autor) ...	24
Obr. 17 Vytvoření finálního profilu CLT panelu pro montáž na stavbu je provedeno CNC obráběcí centru Hamuel Reichenbache-dle výrobní dokumentace (Foto:Autor).....	25
Obr. 18 Pokud je třeba vytvořit komplikovanější tvar panelu např. několika kusu jsou nejprve vy profilovány a následně spojeny lepeným spojem a lisovány pomocí vakuového lisu který umožňuje složité tvary CLT panelu lisovat.Finálního profil CLT panelu pro montáž na stavbu dle výrobní dokumentace (Foto:Autor)	25
Obr. 19Kompletace a balení CLT stropního panelu se středem z roštu BSH (tzv.Novatop Element) (Foto:Autor)	26
Obr. 20 Finální konečné opracování CLT panelu pro stavbu(Foto:Autor)	26
Obr. 21 Balení, skladování a expedice na staveniště k montáži(Foto: Autor).....	27
Obr. 22(Vzorová) Rodinný dům (Čakov)system NOVATOP realizován firmou 3AE s.r.o. (Foto:Autor)	28
Obr. 23Rodinný dům (Čerčany) ze systému Novatop realizované firmou 3AE s.r.o. Interiér domu z příznaného Novatop systému(vpravo). (Foto:Autor).....	29
Obr. 24 Rodinný dům (Klecany) systém Novatop realizované firmou 3AE s.r.o. Interiér-příznan Novatop(vpravo). (Foto:Autor)	29
Obr. 25(Vpravo) Lighthouse Joensuu (Finsko) dokončená v roce 2018 (Arcadia Oy arkkitehtitoimisto, 2019, Upravil :Autor), (Vlevo)Mjostarnet(Norsko) dokončena v roce 2019 (Moelven, c2023,Upravil:Autor)	31
Obr. 26 (NTU ABS) Nanyang Technological University's Academic Building South (Singapur)-Největší dřevostavbou v Asii (Steeltech Industries PTE Ltd, 2023).....	32
Obr. 27 PENNY – Obchodní prodejna celodřevěná v ČR dokončena 2022 (PENNY Market, 2022)	32
Obr. 28The World of Volvo (Švédsko-5 pater) -interaktivní prostor pro veřejnost dokončeno v roce 2024(Esselmark, b.r.)	32
Obr. 29Tržnice Le Grand Marché v Quebecu z Novatopu(NOVATOP, b.r.).....	33

10 Samostatné přílohy

Příloha č. 1 – Realizační dokumentace stavby

Příloha č. 2 – Výrobní dokumentace stavby

Příloha č. 3 – Souhrnná technická zpráva pro realizaci

Příloha č. 4 – Posouzení detailu z hlediska stavební fyziky

Příloha č. 5 – Statika

Příloha č. 6 – CNC dokumentace

Příloha č. 7 – Rozpočet

