ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA
STAVEBNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

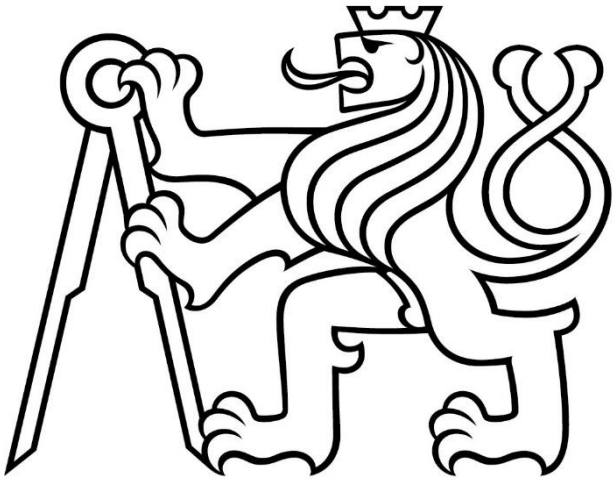
VERONIKA
DUBSKÁ

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Bakalářská práce

VÍCEPODLAŽNÍ DŘEVOSTAVBY

MULTI-STOREY TIMBER BUILDINGS

Veronika Dubská

studijní program: Stavební inženýrství

studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

vedoucí práce: doc. Ing. Petr Kuklík, CSc.

2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Dubská Jméno: Veronika Osobní číslo: 494244

Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vícepodlažní dřevostavby

Název bakalářské práce anglicky: Multi-storey Timber Buildings

Pokyny pro vypracování:
Bakalářská práce bude esejí zaměřenou na problematiku vícepodlažních dřevostaveb.

Seznam doporučené literatury:
[1] Kuklík: Dřevěné konstrukce, ČVUT Praha
[2] Kuklík, Kuklíková, Mikeš: Dřevěné konstrukce 1, Cvičení, ČVUT Praha
[3] Studnička, Holický: Ocelové konstrukce 20 - Zatížení staveb, ČVUT Praha
[4] http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf
[5] ČSN EN 1995-1-1
[6] ČSN Online | Portál FSv ČVUT (cvut.cz)

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. Petr Kuklík, CSc.

Datum zadání bakalářské práce: 20.02.2023 Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.05.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce" a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací".

20.02.2023
Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

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

V Jičíně dne 22. 5. 2023 ……

Dubská Veronika

Poděkování:

Ráda bych poděkovala doc. Petru Kuklíkovi, CSc. za odborné vedení, pomoc a poskytnuté materiály při vypracování této práce. Dále bych také chtěla poděkovat své rodině za podporu při studiu.
Děkuji.

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na výstavbu vícepodlažních dřevostaveb. V úvodu práce jsou vymezeny a definované pojmy. Problematika vícepodlažních dřevostaveb se nejvíce týká stability a bezpečnosti, proto se bakalářská práce zabývá hlavně statickými požadavky a požárními předpisy. Dále se práce soustředí na trendy ve výstavbě dřevostaveb, kterými jsou panely z křížem lepeného dřeva a modulární výstavba.

V práci jsou popsány odlišnosti požárních předpisů v Rakousku a Německu a popsány realizace nejvyšších dřevostaveb.

Klíčová slova

Dřevo, dřevěné konstrukce, křížem lepené lamelové dřevo, vícepodlažní stavba, prefabrikace, požární předpisy

Annotation

The bachelor thesis is focused on construction of multi-storey timber buildings. In the introduction of the thesis, the following terms are defined. The issues of multi-storey wooden buildings are mostly related to stability and safety, so the bachelor thesis mainly deals with structural requirements and fire regulations. Furthermore, the thesis focuses on trends in the construction of timber buildings, which are cross-laminated timber panels and modular construction.

The thesis describes the differences in fire regulations in Austria and Germany and describes the realisation of the highest timber buildings.

Key words

Wood, timber structure, cross-laminated timber, multi-storey building, prefabration, fire regulations

Obsah

1. Úvod 9
1.1 Dřevo jako stavební materiál 9
1.2 Dřevostavba 9
1.3 Vícepodlažní stavba 9
2. Historie dřevostaveb a konstrukcí na bázi dřeva 9
3. Výhody a nevýhody dřeva 10
4. Ekologie dřeva a dřevěných budov 11
5. Konstrukční systémy dřevostaveb 12
5.1 Srubová / Roubená konstrukce 12
5.2 Hrázděná konstrukce 13
5.3 Lehký dřevěný skelet 14
5.4 Těžký dřevěný skelet 15
5.5 Masivní deskové systémy 16
CLT panely 16
SWP panely 17
6. Technologicko – organizační formy 18
6.1 Staveništní (prvková) forma 18
6.2 Prefabrikace 18
Plošná (panelová) prefabrikace 18
Prostorová prefabrikace (modulární výstavba) 18
7. Stagnace vícepatrových dřevostaveb v ČR 19
8. Navrhování konstrukcí ze dřeva 20
8.1 Kombinace dřeva s ocelí 20
8.2 Smíšené konstrukce dřevobeton 20
9. Navrhování balkonů u dřevostaveb 21
9.1 Konzolové balkony 21
9.2 Připojené balkony 22
9.3 Samostatná konstrukce balkonů 22
10. Navrhování vícepodlažních dřevostaveb 23
11. Statické požadavky na vícepodlažní dřevostavby 24
11.1 Prostorová tuhost dřevostaveb 25
11.2 Ztužující prvky 26
Výztužné jádro 26

Vnitřní výztužné a nosné stěny ... 27
Obvodové výztužné a nosné stěny ... 27
Dřevobetonové stropy ... 27
Diagonály z rostlého dřeva a ocelová táhla ... 27
Opláštění ... 27
12. Vícepodlažní budovy z CLT panelů ... 28
Kombinace CLT panelů s jinými konstrukčními systémy ... 30
13. Modulární vícepodlažní dřevostavby ... 31
14. Požární bezpečnost staveb v ČR ... 32
14.1 Třídy reakce na oheň ... 33
14.2 Konstrukční systém ... 33
14.3 Požární odolnost stavebních konstrukcí ... 34
14.4 Odstupové vzdálenosti ... 35
14.5 Požární ochrana dřevěných prvků a konstrukcí ... 37
15. Akustické požadavky ... 39
16. Tepelně technické požadavky ... 39
17. Ochrana proti vlhkosti ... 39
18. Vícepatrové dřevostavby v Rakousku ... 40
18.1 Požární předpisy Rakousko ... 40
Klasifikace budov ... 41
Klasifikace stavebních výrobků z hlediska třídy reakce na oheň ... 42
Požární odolnost stavebních prvků ... 42
18.2 Nejvyšší dřevostavby v Rakousku ... 42
Hoho Wien ... 42
Alpenhotel Ammerwald ... 44
19. Vícepatrové dřevostavby v Německu ... 45
19.1 Požární předpisy v Německu ... 45
Klasifikace budov ... 45
Třídy reakce na oheň ... 46
Třídy požární odolnosti ... 46
Vzorová směrnice výškových budov ... 47
Vzorová směrnice pro dřevostavby ... 47
Požadavky na dřevěné konstrukce třídy budov GK 4 ... 47
Požadavky na dřevěné masivní konstrukce třídy budov GK 4 a GK 5 ... 47
Požadavky na vnější obklad stěn ze dřeva a materiálů na bázi dřeva ... 48

19.2 Nejvyšší dřevostavby v Německu 48
H8 48
Woho Berlin 49
Woody 50
20. Seznam obrázků: 51
21. Seznam tabulek: 52
22. Seznam použitých zdrojů: 53

1. Úvod

1.1 Dřevo jako stavební materiál

Dřevo je jedním z nejstarších stavebních materiálů, patří mezi přírodní a obnovitelné suroviny. Jedná se o vnitřní zdřevnatělou část kmene, větví a kořenů, která tvoří až 90 % objemu stromu. Jehličnaté dřevo je vývojově starší s jednodušší stavbou než dřevo listnaté. Jehličnaté dřevo je oproti listnatému měkčí, má menší objemovou hmotnost, proto je lehčí a rychleji roste. Ve stavebním průmyslu v České republice jsou z jehličnatých dřevin nejčastěji používané smrk, jedle, borovice a modřín a z listnatých dřevin se nejvíce uplatňuje dub, ale dále také jasanové dřevo, dřevo bukové a habrové. [1]

1.2 Dřevostavba

Termínem dřevostavba se označuje konstrukce, ve které dřevo či materiály na bázi dřeva plní nosnou funkci. Většina lidí má pojem dřevostavba spjatý pouze s rodinnými domy, u kterých je dřevo vidět na první pohled. Však dnes u značného množství dřevostaveb není dřevo vůbec přiznané a nemusí to být jen stavby malého rozsahu, jako dřevostavbu můžeme postavit třeba administrativní budovu, školku, hotel atd. [2]

1.3 Vícepodlažní stavba

Jak je z názvu patrno, jedná se o stavbu, která má dvě a více podlaží. U vícepodlažních budov se musí dbát na stabilitu a prostorovou tuhost. U vícepodlažních budov se s rostoucí výškou značně zvyšuje vliv vodorovných sil, základy je potřeba dostatečně přitížit, aby v nich nevznikala tahová napětí. [3]

2. Historie dřevostaveb a konstrukcí na bázi dřeva

Dřevo patří mezi nejstarší používané materiály. Díky své opracovatelnosti a dostupnosti se uplatňovalo ve všech historických obdobích, a i když neexistují žádné dochované

konstrukce, z nálezů je zřejmé, že si lidé už v době kamenné dokázali postavit jednoduché přístřešky. V pozdější době byli schopni stavět domy se svislými stěnami a konstrukčně oddělenou střešní konstrukcí. Stěny byly vyplétány a pomazány hlínou. Stavby se postupně vyvíjely dle potřeb jejich obyvatel.

Pravděpodobně na začátku středověku dochází k záměně vyplétané stěny za stěny z kulatin. Začínají vznikat první srubové stavby. Ve vrcholném středověku k nám přichází z Německa technologie hrázdění, která vznikla v důsledku nedostatku velkých dřevěných konstrukčních prvků. Hrázděné stavby jsou dodnes k vidění hlavně v pohraničí.

V období průmyslové revoluce nastává ve stavebnictví zlom – vývoj nových technologií. V Americe vzniká tyčové konstrukce nazývaná two by four systém. [4]

3. Výhody a nevýhody dřeva

Mezi výhody dřeva patří jeho obnovitelnost. Dřevo je přírodním materiálem. Proto, pokud budeme o lesy dobře pečovat a s rozumem s ním nakládat, neměl by tento zdroj dojít. Dřevo a konstrukce z něj snižují emise skleníkových plynů, u výroby se dá počítat s nižšími energetickými náklady. Dřevo má vzhledem ke své tíze dobrou pevnost, je lehkým materiálem, má nízkou objemovou hmotnost a díky ní ho lze dobře opracovávat, má dobré tepelně izolační vlastnosti – malou tepelnou vodivost. Při vhodných okolních podmínkách, závisejících především na teplotě a vlhkosti, má dřevo dlouhou životnost, také ho lze poměrně snadno recyklovat. U konstrukcí ze dřeva se hodně zavádí prefabrikace, výrobky se vytvoří ve výrobní hale, kde se oproti staveništní výstavbě minimalizuje množství chyb, a zároveň se tím proces výstavby výrazně zrychlí. Dřevostavby mají nižší požadavky na zařízení staveniště. Při výstavbě se jedná o suchý proces, tím se dají vyloučit možné poruchy v důsledku vlhkosti. Dřevo má široké uplatnění, při výrobě dřevěných výrobků je omezen vznik nezpracovatelného odpadu. Dřevo se často používá pro estetické účely, vůně i struktura dřeva pozitivně ovlivňuje psychiku člověka. Zpracování dřeva pomáhá řešit regionální zaměstnanost v blízkosti těžby dřeva. [5]

Nevýhodou dřeva je, že se jedná anizotropní materiál, v různých směrech má různé vlastnosti, často se v něm vyskytují vady jako například suky, vlnitost, trhliny, smolníky, reakční dřevo. Dřevo je hygroskopickým materiálem, z okolního prostředí je schopné přijímat či odevzdávat vzdušnou vlhkost nebo vodu v kapalném skupenství. V důsledku přijímání a odevzdávání vlhkosti mění svůj tvar, s tím souvisí bobtnání a sesychání dřeva. Při zvýšené vlhkosti dřevo snadno podléhá hnilobě, dřevokazným houbám a hmyzu, před kterými je nutné dřevo chránit. Oproti jiným stavebním materiálům vykazuje vyšší nároky na údržbu. Dřevo je také nutné chránit před UV zářením, při jeho působení totiž rychle šedne či černá. Jeho zásadní nevýhodou je jeho hořlavost. [5]

4. Ekologie dřeva a dřevěných budov

V poslední době se při navrhování a realizaci staveb dbá na trvale udržitelný rozvoj. V jeho rámci je akcentována snaha zajistit potřeby současné generace, ale neohrozit uspokojení potřeb generací budoucích. Dřevo je obnovitelná surovina, její využívání ve stavebnictví má pozitivní vliv na krajinu, jejím používáním se snižují potřeby těžby neobnovitelných surovin (vápno, slínky, hlíny, kamenivo, …), a tím se prodlužuje doba vyčerpání nalezišť nerostných surovin. Dřevo dobře zapadá do přirozeného životního prostředí, a vytváří tak zdravé prostředí. [6]

V průběhu růstu stromů na sebe dřevo váže uhlíkaté látky ze vzduchu a za pomoci vody a světla díky fotosyntéze vzniká pro člověka životně důležitý kyslík O_2. Rostoucí dřevo na sebe váže oxid uhličitý CO_2 a pokácené dřevo ho nadále uchovává. Lesy a výrobky ze dřeva tak pomáhají při snižování emisí CO_2 z ovzduší a současně přispívají ke stabilitě teploty a klimatu. Ostatní materiály jako beton, ocel a zdící materiály nemají schopnost uskladňování CO_2 a při jejich výrobě navíc emise CO_2 ještě vznikají. Díky snadné opracovatelnosti má dřevo oproti ostatním materiálům nižší spotřebu energie. Při zpracování dřeva vzniká minimum odpadů, a pokud se odpad nezpracuje při výrobě jiných výrobků (desky, papír, …), může být využit jako zdroj energie. Během svého života vytváří nejmenší množství odpadu ze všech tradičních stavebních materiálů. Dřevostavby mají poměrně malou hmotnost, s tím souvisí menší nároky na dopravu a méně vyprodukovaných emisí v rámci transportu. [6]

5. Konstrukční systémy dřevostaveb

5.1 Srubová / Roubená konstrukce

Stěny srubové konstrukce jsou z kulatin pokládaných vodorovně na sebe, v případě hraněného řeziva se jedná o roubenou konstrukci. Tradice srubových staveb přetrvává již z dávné minulosti. Daná zástavba patří hlavně do horských oblastí, kde ovlivnila vývoj a velmi se rozšířila. Svislé zatížení je přenášeno plnostěnnými profily nebo bodově v místech spojů. Spoje ložné spáry jsou natupo s výřezem tvaru V, spojem pero – drážka, vloženým perem nebo pomocí spojovacích prostředků, rohové spoje jsou provedeny přeplátováním, nárožním přeplátováním s kolíkem nebo prostorným rybinovým spojem. Tloušťka stěn se obvykle pohybuje v rozmezí 150 – 300 mm. [5]

U srubových konstrukcí se vlivem sesychání dřeva musí počítat se sednutím až 25 mm. V důsledku sedání je důležité dbát na správné napojení komínu na svislé konstrukce, u otvorů oken a dveří je potřeba použít osazovací rámy. [7]

Dříve se obvodový plášť skládal z jedné vrstvy řeziva, obvodový plášť plnil nosnou a zároveň estetickou funkci. Nedoléhající spáry a styky se utěsňovaly mechem nebo vlnou pomazanou jílem. V současné době se srubové a roubené konstrukce přizpůsobily moderním standardům bydlení. Obvodové konstrukce se mohou skládat z více vrstev. Na základě legislativních požadavků je vhodné do stěny vložit tepelnou izolaci, aby konstrukce splňovala dané hodnoty součinitele prostupu tepla. I u vícevrstvé obvodové stěny zůstávají charakteristické znaky srubů a roubenek, jako jsou viditelné rohy, hrany, trámy, … Dnešní hraněné řezivo na roubenky je velmi přesné, vyrábí se na CNC obráběcích strojích, zatímco kulatiny na sruby se opracovávají ručně. [7]

Roubenou konstrukcí se dají stavět i vícepodlažní budovy, důkazem toho je v České republice Slezský dům z roku 1909 v Karlově Studánce. Dané konstrukce vynikají náročnými tesařskými spoji. [8] Při návrhu vícepodlažních roubených dřevostaveb je potřeba dbát na sesychání prvků ve stěně a vytvořit je tak, aby se projevy sedání neprojevovaly nepříznivě. V případě lokálně uloženého průvlaku se musí dát pozor na tlak kolmo k vláknům, průvlak by mohl být zatlačován do vodorovných prvků stěny. Nevýhodami srubových dřevostaveb je velká spotřeba dřeva a pevně daná dispozice, kterou v průběhu užívání nelze téměř měnit. [7]

Obrázek 1: Slezský dům v Karlově Studánce, zdroj: wikipedia

5.2 Hrázděná konstrukce

Hrázděná konstrukce je tvořena z viditelné dřevěné kostry z hrázděného dřeva a jednotlivých polí, která jsou vyplněna cihlovým zdivem nebo vypletena proutím a pomazána jílem. Přiznaná dřevěná kostra uspořádaná do pravidelných obrazců je význačným architektonickým prvkem, později se však stavby omítaly, aby imitovaly stavby z kamene a cihel. Nejvíce se vyvíjely v oblastech, kde dřevo nebylo dostupné v takové míře, jaká je potřeba pro srubové domy. [7]

Nosnou konstrukci tvoří sloupky, prahy, vaznice, vzpěry a překlady. Sloupky přenáší svislé zatížení a od svislého zatížení jsou namáhány na vzpěr a ohyb. Vodorovný práh je část konstrukce mezi podlahou (základem) a stěnovou konstrukcí, působí na něj tlak kolmo k vláknům, proto se zhotovují ze širších průřezů. Při vysokém tlaku kolmo k vláknům mohou být vyrobeny z dubového či bukového dřeva. Šikmé vzpěry zajišťují potřebnou tuhost v rovině stěny. Také se podílí na přenosu vodorovných sil do prahů a podpor. Výplně jednotlivých polí jsou staticky nevýznamné. [7]

Hrázděné stavby vynikají pečlivě provedenými tesařskými spoji. Při montáži je zapotřebí dřevěnou kostru dostatečně chránit vůči povětrnostním vlivům. Dnes se již hrázděné stavby z technických a investičních důvodů nestaví. [9]

Obrázek 2: Tradiční hrázděný dům, zdroj: https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5790-zaciname-stavet-jak-se-vyznat-v-konstrukcich-drevostaveb

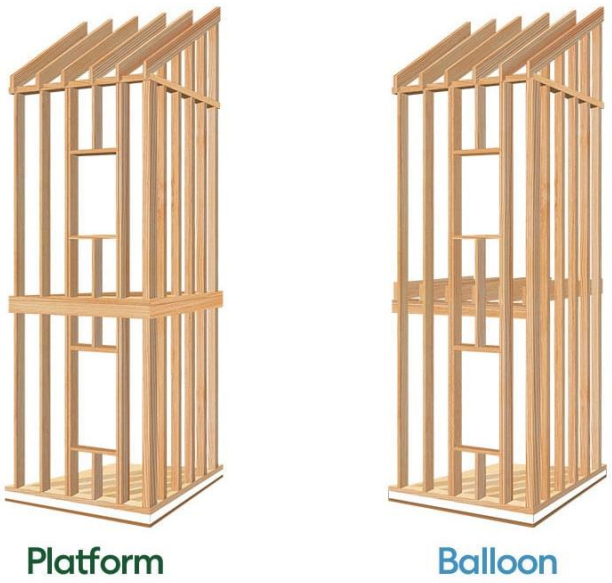
5.3 Lehký dřevěný skelet

Lehký dřevěný skelet je také nazýván two by four. Lehký skelet je systém prken a fošen, pomocí nich se vytvoří dřevěný rám, do kterého se vloží izolace a následně se opláští deskami na bázi dřeva nebo sádry. Sloupky jsou většinou vzdáleny 625 mm od sebe. V místech otvorů, které jsou širší než dané rozpětí, se pomocí trámků provede výměna. Lehké skelety se mohou sestavovat přímo na staveništi, což se může provádět i svépomocí, nebo se mohou jednotlivé stěny sestavit ve výrobní hale a na stavbu přivézt jako celé díly, které se na staveništi smontují. U lehkého skeletu je nutné zajistit ztužení stěn a stropů. [10]

Obecně se vyskytují dva typy: Balloon Frame – sloupky probíhají přes celou výšku budovy, neumožňuje prefabrikaci, Platform Frame – sloupky na výšku podlaží, jedná se o nejrozšířenější typ. [10]

U vyšších budov z lehkého skeletu se projevují trhliny a deformace. Ty vznikají v důsledku sesychání dřeva a tlaku kolmo k vláknům, svislé stavební prvky jsou pak

zatlačovány do vodorovných prvků. Z těchto důvodů se staví vícepodlažní budovy s maximálně čtyřmi patry. [10]



Obrázek 3: Příklad systému platform frame a balloon frame, zdroj: https://www.thinkwood.com/light-frame-wood-construction

5.4 Těžký dřevěný skelet

Hlavní nosnou konstrukci tvoří systém masivních svislých a vodorovných prvků, doplněný o nenosné příčky a obvodový plášť. Nosné prvky těžkého skeletu mohou být z hraněného řeziva nebo z lepeného lamelového dřeva. Dané prvky můžou být zajímavé i z architektonického hlediska, kde mohou zároveň plnit i pohledovou funkci. Jednotlivé prvky se vyrábějí s velkou přesností na CNC obráběcích strojích. Těžké skelety vynikají volnou dispozicí, proto jsou vhodné především pro administrativní budovy. Konstrukce těžkých skeletů je zapotřebí ztužit vůči účinkům vodorovných sil. [10]

Systém těžkého dřevěného skeletu vychází z hrázděných domů, kde byla jednotlivá pole dřevěné kostry vyplněna zdivem. Skeletové konstrukce se však liší nosnou strukturou, chybí u nich šikmé vzpěry, používají se pouze vodorovné a svislé. Tradiční tesařské spoje jsou nahrazeny ocelovými spojovacími prvky. V dnešní době mohou být pole prosklená nebo vyplněna deskami na bázi dřeva. [11]

U novodobých těžkých skeletů rozlišujeme jednotlivé varianty konstrukce dle napojení vodorovných a svislých prvků: skelet s jednodílnými průvlaky a sloupy, skelet

s dvojdílnými průvlaky a jednodílnými sloupy, skelet s jednodílnými průvlaky a dvojdílnými sloupy. [10]

Těžké skelety mají velmi dobrou požární odolnost, nosné dřevěné prvky jsou sice hořlavé, ale při požáru se na masivních prvcích vytvoří zuhelnatělá vrstva, která brání dalšímu prohořívání a prvek tak při správném návrhu zůstává stabilní. [10]

5.5 Masivní deskové systémy

V posledních letech se projevuje snaha o uplatnění trvale udržitelné výstavby i v rámci vícepodlažních budov. V rámci této koncepce se vyvinuly velkoplošné, masivní, nosné výrobky s poměrně dobrou tuhostí:

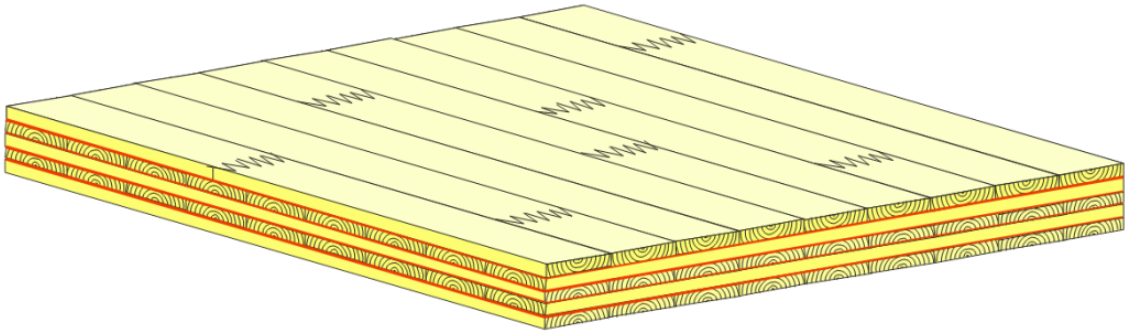
- ručně sbíjené prvky,
- průmyslově lepené prvky,
- prvky s různým počtem křížem orientovaných vrstev,
- prvky s dutinami.

Dané prvky účinně přenáší velká zatížení. Výstavba z těchto prvků je velice rychlá, jde o prefabrikované prvky a na stavbě je omezen mokrý proces. [10]

CLT panely

V polovině 90. let 20. století byla v Rakousku vyvinuta CLT technologie. Jedná se o panely z křížem vrstveného lamelového dřeva. Zkratka CLT vznikla z anglického názvu „cross laminated timber“. Panely jsou také někdy označovány zkratkami X-lam nebo KLH z německého názvu Kreuzlagenholz. Dřevěný panel je tvořen lichým počtem na sebe kolmých vrstev, jednotlivé vrstvy jsou tvořeny lamelami, které jsou v podélném směru spojovány pomocí zubovitých spojů. Obecně se vyrábí s minimálně 3 až maximálně 7 vrstvami o tloušťce jedné vrstvy 20 mm, 30 mm nebo 40 mm. Tloušťka panelů se tak pohybuje od 60 mm do 280 mm. Maximální rozměry panelu jsou 3 x 16 – 18 m, jsou limitovány možnostmi výrobních linek a dopravními podmínkami. Panely však nemají žádná tvarová omezení, vyrábí se s velkou přesností na CNC obráběcích strojích. Již v továrně jsou při výrobě do panelů vyříznuty otvory pro okna, dveře, prostupy apod. Výroba panelů je poměrně rychlá. [12]

Nejčastěji je na lamely použito smrkového dřeva, ale je snaha, využít i další dřeviny jako borovicové nebo modřínové dřevo. Jednotlivé vrstvy jsou slisovány a mechanicky spojovány hřebíky či vruty nebo lepeny pomocí lepidel na bázi polyuretanu či polymeru s garancí zdravotní nezávadnosti a trvanlivosti. Je kladen důraz na výběr takových lepidel, jejichž výrobci zaručují netoxičnost bez uvolňování formaldehydu a celkovou šetrnost k životnímu prostředí. Lepení lamel panelů lze provádět dvěma způsoby. U prvního se lepí pouze sousední vrstvy, u druhého způsobu jsou lepeny sousední vrstvy i lamely v rámci jedné vrstvy. Vrstvený průřez CLT panelu mu poskytuje lepší stabilitu oproti lehkému nebo těžkému skeletu. [12]



Obrázek 4: Skladba křížem lepeného lamelového dřeva, zdroj: https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vicepodlazni-budovy-z-krizem-vrstveneho-dreva.html

SWP panely

SWP panel je zkratka z anglického názvu solid wood panel. Jedná se o masivní vícevrstvé dřevěné desky z jehličnatého dřeva. Každá vrstva je tvořena lamelami, jednotlivé vrstvy jsou oproti sobě pootočeny o 90 °. Panely jsou tvořeny 3 vrstvami. Vyrábí se v různých tloušťkách. Krajní vrstvy panelu jsou vždy rovnoběžné a prostřední vrstva je většinou tlustší než vrstvy krajní. Lamely jsou napojovány natupo a všechny spoje jsou lepeny. Lepidla jsou zdravotně nezávadná bez formaldehydu. [13]

Obrázek 5: NOVATOP SWP panel, zdroj: https://novatop-swp.cz/produkt/novatop-swp/

6. Technologicko – organizační formy

6.1 Staveništní (prvková) forma

U staveništní montáže není zapotřebí žádného závodu, všechna činnost probíhá na stavbě. Z jednotlivých prvků se na staveništi montují jednotlivé stěny, stropy, střechy atd. Na staveniště je materiál navážen dle aktuální potřeby, k přepravě nejsou nutné speciální přepravní prostředky. Mezi nesporné výhody této formy výstavby patří, že stavbu lze provádět svépomocí, existuje neomezené množství individuálních projektových řešení a změny je možné provádět i během stavby.

Na druhou stanu je nutné zmínit, že výstavba je pomalejší, je závislá na počasí, neopláštěné dřevěné konstrukce jsou po delší dobu vystaveny povětrnostním vlivům a také náklady na montáž jsou vyšší. Staveništní forma se uplatňuje u lehkých a těžkých skeletů. Staveništní forma je vhodná, pokud je pozemek obtížně přístupný. [9], [14]

6.2 Prefabrikace

Prvky stěn, stropů nebo buňky jsou předvyrobeny v hale, oproti staveništní formě je výrazně zrychlen proces výstavby. Za pomoci moderních výrobních technologií dochází ke zvýšení produktivity práce a kvality provedení. [14]

Plošná (panelová) prefabrikace

V současné době nejrozšířenější způsob výstavby dřevostaveb v České republice a střední Evropě. Panely mohou mít osazené otvory, být provedeny již s fasádou a povrchovými úpravami nebo mít již zavedené rozvody zdravotechniky, elektroinstalace apod. Průmyslová výroba umožňuje lepší technologickou kázeň. [9], [14]

Prostorová prefabrikace (modulární výstavba)

Systém spočívá ve výrobě modulových buněk. Použitím modulové výstavby se maximálně zkrátí doba montáže na staveništi. Buňky jsou vyráběné v krytých, temperovaných halách. Ve výrobně dochází k vyšší kontrole kvality. Buňky jsou vyrobeny včetně provedené rozvodové sítě, vnitřních povrchů, podlahové krytiny, sanity, kuchyně, zařizovacích předmětů i otopných zařízení. Modulární buňky mají rozměry omezeny přepravními podmínkami, k jejich přepravě i montáži je zapotřebí těžké techniky. Modulární buňky se dají používat jak pro výstavbu trvalou, tak i dočasnou.

Modulární objekt je možné rozložit na jednotlivé moduly, které lze dále použít i na jiný objekt. [9], [15]

7. Stagnace vícepatrových dřevostaveb v ČR

V dnešní době je stále vývoj dřevostaveb velmi omezený a není tak využito potenciálu dřeva. Daná stagnace stavění vícepatrových dřevostaveb přetrvává z minulosti. Zatímco dřevěná skeletová výstavba probíhá ve 14. století skoro ve všech regionech západní a severní Evropy, v českých zemích je značně omezena z důvodů velkých požárů. V českých zemích se tak směly budovat jen jednotlivé jednopatrové maloměstské nebo venkovské domy. Od konce 18. století se české úřady snažily omezit stavění dřevěných budov. Od konce 18. století bylo zakázáno ve větších městech stavět ze dřeva a již postavené domy ze dřeva musely být zdemolovány. Dochované městské dřevostavby z tohoto období patří pouze k výjimkám.

V polovině 20. století vešel v platnost státní program Úspory a náhrady dřeva ve stavebnictví, který značně omezoval výstavbu ze dřeva. Celodřevěné konstrukce již nebyly žádané. Zároveň podporoval betonovou panelovou prefabrikaci a rozvoj betonových panelových domů. Zcela omezené bylo použití dřevěných krovů, které zastoupily betonové vazníky či ploché střechy. Negativní vnímání požárů však přetrvalo do konce 20. století. Československé požární předpisy zpracované v období 1975–1976 neumožňovaly stavět vícepodlažní dřevostavby. Dřevo bylo povoleno pouze pro rodinné domy s maximálně dvěma podlažími. Tyto předpisy byly zrušeny v roce 1996. Těmito procesy byla dlouholetá tradice využívání dřeva ve stavebnictví přerušena a bohaté zkušenosti zapomenuty. [16]

Stejně jako strach z požární odolnosti konstrukce také u veřejnosti přetrvává předsudek krátké životnosti konstrukce. Neblahá domněnka vychází ze špatně provedených základů bez hydroizolace, ale dobře zabudované dřevo chráněné před vlhkostí a deštěm vydrží i stovky let. V současnosti někteří pohlíží na dřevostavby i nadále s nedůvěrou a dřevo považují za podřadný materiál s krátkou životností. [16]

8. Navrhování konstrukcí ze dřeva

Dřevo jako stavební materiál zažívá v dnešní době obrození. Zkušenosti s navrhováním dřevěných konstrukcí k nám přichází ze sousedního Rakouska a ze států severní Evropy, kde výstavba dřevostaveb nebyla omezena. Dnes je dřevo hojně používané v moderní architektuře. Už se nepoužívá pouze jako doplňkový materiál, ale uplatňuje se i na nosné konstrukce, které jsou často výrazným architektonickým prvkem. Využívá se nejen na stavby rodinných domů, ale také na stavby větších měřítek, vícepatrové budovy a budovy občanské vybavenosti. Nejvyšší dřevěné stavby dosahují i přes 80 m. [12]

Dřevěné konstrukční prvky jsou vhodné především na přenesení tahových, tlakových a ohybových namáhání. Dřevo je lehce opracovatelný materiál, proto se vyrábí v řadě velikostí a tvarů. Je příjemné a teplé, pro svoje estetické vlastnosti se dá přiznat v interiéru, proto může plnit funkci jak statickou, tak i pohledovou zároveň. I když je dřevo hořlavé, je možno nechat velké průřezy bez protipožární ochrany. Chování dřeva při požáru je předvídatelné. [17]

V dnešní době nelze u dřevostaveb hovořit o konstrukci jen čistě ze dřeva, dřevo se dobře kombinuje s ocelí a betonem.

8.1 Kombinace dřeva s ocelí

Ocelové prvky se u dřevostaveb velmi často používají na spoje. U kombinovaných konstrukcí ze dřeva a oceli se dřevo používá na tlačené prvky a ocel na prvky tažené. Dřevěné tlačené prvky jsou méně ohroženy na vzpěr než tlačené prvky z oceli. Dřevěnou konstrukci lze lokálně doplnit ocelovými prvky, především ze statických důvodů. Například se dají použít ocelová diagonální táhla jako ztužení těžkých skeletů nebo krovů. [17]

8.2 Smíšené konstrukce dřevobeton

U dřevobetonových stropů se efektivně využívá spojení statických i fyzikálních vlastností obou materiálů. Dřevěné nosníky přenáší tahové síly a betonová deska síly tlakové. Spřahovací prostředky musí mít dostatečnou tuhost, aby bylo zabráněno vzájemnému posunutí betonové desky a dřevěného nosníku. Provedením dřevobetonového stropu

zvýšíme únosnost a tuhost stropní konstrukce, které jsou závislé na účinnosti spřažení a na rozměrech dřevěných nosníků a betonové desky. Oproti tradičnímu trámovému stropu mají dřevobetonové stropy vynikající akustické vlastnosti. Mají také vyšší odolnost vůči vibracím, lepší akumulační schopnost a lepší požární vlastnosti díky betonu, který zvyšuje požární odolnost stropní konstrukce. Nevýhodou dřevobetonových stropů je větší pracnost, a s tím související časová náročnost a také zavedení mokrého procesu. Při betonáži by mělo být dřevo chráněno před vodou. [10], [18]

Dřevobetonové stropní konstrukce se dají využít u novostaveb i při rekonstrukcích. Používají se při vyšších zatíženích či na větší rozpětí. Voleny by být neměly v prostorách s vysokou vlhkostí vzduchu anebo s vysokou teplotou. Dřevobetonové stropy lze provádět ve dvou variantách, buď jako masivní deskové spřažené konstrukce, nebo jako trámovou soustavu. Při použití masivních desek přenáší masivní desky tah a současně slouží jako bednění. Na dřevobetonové stropy by se nemělo používat dřevo napadené dřevokaznými houbami, s vysokou vlhkostí a dřevo s vyšším obsahem sacharidů, které by mohlo zpomalovat proces tuhnutí betonu. Beton se musí vyztužit, aby smršťováním a v oblastech taženého betonu nevznikaly trhliny. [10], [18]

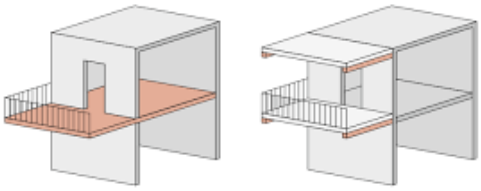
9. Navrhování balkonů u dřevostaveb

Balkon je otevřená plocha ležící mimo půdorys budovy, nemá boční stěny ani střechu, jediná uzavřená strana je směrem do interiéru. V závislosti na konstrukčním provedení balkonu můžou vznikat problémy, jako jsou např. tepelné mosty – špatně provedená tepelná izolace nebo špatně provedená izolace proti vlhkosti. Při návrhu balkónů u dřevostaveb je důležité konstrukční řešení, ale také je potřeba dbát na výběr vhodného dřeva, protože konstrukce balkonu je vystavena zvýšenému namáhání vlhkostí.[19]

9.1 Konzolové balkony

Tenhle typ balkónů je vykonzolovaný ze stropu pomocí trámů či použitím masivní desky. Balkon je pevně spojen s nosnou konstrukcí v interiéru. Přestože je dřevo dobrým izolačním materiálem, „vedení dřevěných stropů zevnitř ven“ se neosvědčilo.

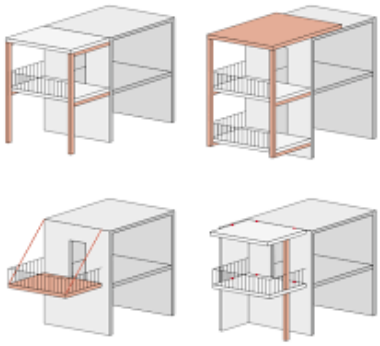
U vykonzolovaných balkonů vznikají problémy s tepelnými mosty a s kondenzací ve dřevěných prvcích. Pomoci by mohlo přerušení konstrukce balkonu od stropu, které je však v případě dřevěných konstrukcí poměrně nákladné, proto je lepší konstrukce od sebe oddělit. [19]



Obrázek 6: Konzolové balkony, zdroj: https://www.proholz.at/zuschnitt/86/balkone-uebersicht

9.2 Připojené balkony

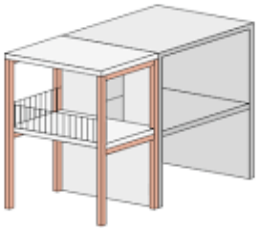
Připojené balkony přenášejí do obvodové konstrukce, ke které jsou připevněny, buď část zatížení, anebo zatížení celé. Připojení balkonu do fasády v ní vytváří ohrožená místa, zeslabení tepelné izolace, přenos zvuku a vlhkosti. Aby se to minimalizovalo, je zapotřebí dbát na správné provedení.



Obrázek 7: Připojené balkony, zdroj: https://www.proholz.at/zuschnitt/86/balkone-uebersicht

9.3 Samostatná konstrukce balkonů

Nosný systém i s vlastními základy samostatné konstrukce balkonů je umístěn před budovou. Ve fasádě vzniká minimální množství prostupů, konstrukce balkónů je k obvodové konstrukci pouze napojena. Díky tomu obvodová konstrukce přenáší z balkónů jen minimální zatížení. [19]



Obrázek 8: Samostatná konstrukce balkonů, zdroj: https://www.proholz.at/zuschnitt/86/balkone-uebersicht

10. Navrhování vícepodlažních dřevostaveb

Vícepodlažní dřevostavby měly ve střední Evropě dlouhou tradici, původně se stavěly srubové stavby, a v regionech, kde nebylo dřevo lehce dostupné, budovaly se stavby hrázděné. Hrázděné budovy se původně stavěly s průběžnými sloupy, ale následně byly vystřídány hrázděnými budovami se sloupky na výšku jednoho podlaží. Na podobném principu se poté v Americe vyvinul lehký skelet Platform Frame. [7]

Dnes lze vybrat z více konstrukční systémů: lehký skelet, těžký skelet, masivní deskové systémy a jejich možné kombinace nebo kombinace s jinými stavebními materiály za předpokladu efektivního využití daných materiálů či za předpokladu nižší ceny stavby. [7]

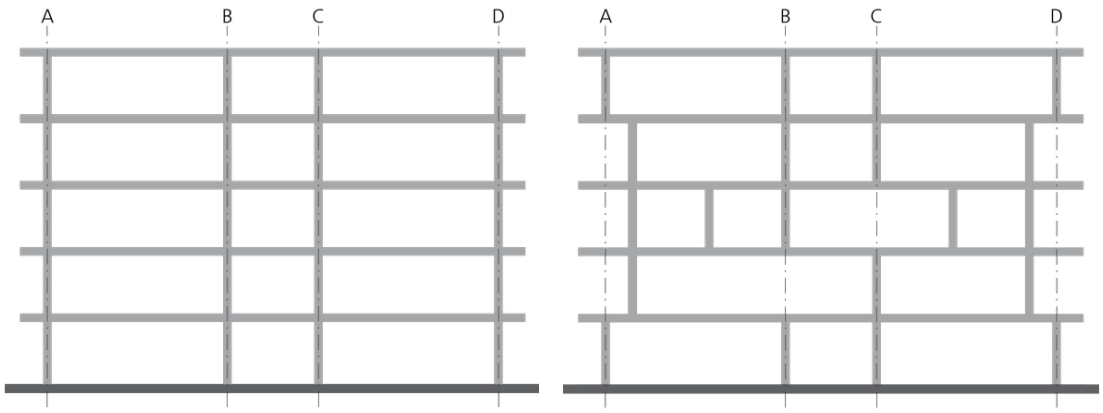
Sice je snaha navrhovat celodřevěné konstrukce, ale v opodstatněných případech je nutné dřevo kombinovat s jinými stavebními materiály – nejčastěji s železobetonem. Jako velmi vhodné se jeví kompozitní dřevobetonové stropní konstrukce, která může sloužit k zajištění tuhosti stropní tabule.

První nadzemní podlaží je vhodné provést celé ze železobetonu, pokud se jedná o vyšší budovu, která je potřeba přitížit a řádně zakotvit proti ztrátě stability. První železobetonové patro je také vhodné jako ochrana před disproporčním kolapsem (kolaps neúměrný příčině) například v případě nárazu vozidla, ale třeba i jako ochrana dřeva před vlhkostí, což je vhodné to v horských oblastech, kde může napadnout vysoká vrstva sněhu.

Možné je také provedení železobetonového jádra, které se použije jako ztužení proti účinkům větru, a zároveň jako požární úniková cesta. [20]

11. Statické požadavky na vícepodlažní dřevostavby

Dřevostavby se navrhují dle požadavků ČSN EN 1995-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Také musí být v souladu s ČSN EN 1991-1 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Stavba musí být navržena tak, aby splňovala požadavky na únosnost, použitelnost a trvanlivost. Konstrukce musí být naprojektována a realizována tak, aby během své životnosti odolávala všem účinkům zatížení, které se mohou vyskytnout při výstavbě nebo v době užívání. Při návrhu dřevostaveb je vhodný jednoduchý a jasný konstrukční systém, stěny a sloupy jednotlivých podlaží by měly ležet nad sebou, aby se zatížení přenášelo jednoznačně. Z těchto důvodů by se měly místnosti s větším rozpětím umístit do vyšších pater, pokud to umožní využití budovy. Důležitou roli u vícepodlažních dřevostaveb hraje ztužení. Při statických výpočtech se často využívají 3D modely, které zohledňují vzájemné spolupůsobení jednotlivých prvků. [7]



Obrázek 9: ideální a nevhodná koncepce nosné konstrukce, zdroj: KOLB, Josef. Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště, 3., aktualizované vydání. Grada, 2011. ISBN 978-80-247-7115-1.

Dřevo má pevnostní a tuhostní vlastnosti závislé na vlhkosti a na úhlu mezi působící silou a směrem vláken. Ve směru vláken má dřevo vysokou pevnost a tuhost, ale při působení napětí v tahu kolmo k vláknům je kolmo k vláknům náchylné k rozštěpení. Dřevo má nízkou pevnost ve smyku a nízký modul pružnosti. Dřevo přizpůsobuje svoji vlhkost okolní teplotě a vlhkosti.

Pevnost a deformace dřeva jsou také ovlivněny dobou trvání zatížení. S delší dobou zatížení se zmenšuje pevnost dřeva. [17]

11.1 Prostorová tuhost dřevostaveb

V porovnání se zděnými a betonovými konstrukcemi jsou konstrukce ze dřeva lehčí, proto má vodorovné zatížení od větru u dřevostaveb mnohem větší vliv na stabilitu a prostorovou tuhost. Vodorovné zatížení může být přenášeno systémem svislých, anebo kombinací svislých a vodorovných prvků. Při přenosu zatížení pouze svislými prvky se požadují nejméně čtyři výztužné stěny, z nichž se v jednom bodě mohou protínat pouze dvě z nich. U kombinace svislých a vodorovných prvků je požadována tuhá stropní tabule a nejméně tři výztužné stěny, které se nebudou protínat v jednom bodě, a zároveň nebudou všechny vzájemně rovnoběžné. Výztužné konstrukční prvky by měly být umístěny souměrně k uspořádání zatížení, aby umožňovaly symetrické rozdělení sil. Jinak je zapotřebí uvážit přídavné síly vznikající účinkem kroucení, které jsou následkem mimostřednosti mezi těžištěm zatížení a těžištěm vyztužení. Problém prostorové tuhosti roste se zvětšující se výškou objektu. Jednotlivé dřevěné prvky jsou spojovány pomocí hřebíků, vrutů, ocelových příložek a desek, které nepřenášejí ohybové momenty. Styčníky dřevěných konstrukcí jsou kloubové, proto je nutné dřevěné konstrukce stěn a stropů doplnit výztužnými prvky (vzpěrami, diagonálami, ocelovými táhly, stěnami). [6]

U roubených dřevostaveb zajišťují příčnou tuhost roubené styčníky, provázání s příčnými stěnami, hmoždinkami a příložkami. [6]

U lehkých skeletů je prostorová tuhost zajištěna konstrukčními plášti v rovinách stropů a stěn. Ke ztužení se můžou použít dřevěné masivní stěny, zděné stěny, betonové stěny nebo diagonální ztužidla. [6]

U těžkých skeletů se zajišťuje prostorová tuhost rámovým účinkem, vzpěrami, dřevěnými diagonálami ocelovými táhly anebo vloženými stěnami. [6]

Z hlediska prostorové tuhosti se vícepodlažní dřevostavby často provádějí jako kombinované systémy.

11.2 Ztužující prvky

Výztužné jádro

Výztužná jádra se často používají u vícepodlažních budov pro zajištění odolnosti proti vodorovnému zatížení. Na základě požadavků mohou být jádra realizována z:

Masivních dřevěných panelů – Jádro z masivních dřevěných panelů může být výhodné, pokud ostatní konstrukce budou celodřevěné. Další výhodou jádra z masivních dřevěných panelů je prefabrikace, a s tím související rychlost montáže.

Železobetonového jádra – Železobetonové jádro lze využít ke ztužení objektu, a zároveň jako chráněná úniková cesta. Často se umisťuje symetricky v půdoryse budovy, je účinnější s rostoucím vodorovným zatížením, a tím se dá vyvarovat problémům s kroucením budovy. U vícepatrových dřevostaveb s výztužným železobetonovým jádrem se mohou vyskytnout problémy následkem rozdílných deformací (např. smršťování) nebo s teplotní délkovou roztažností, a to později může vést k potížím s rovinatostí. [8]

Obrázek 10: Železobetonové jádro dřevostavby, zdroj: https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8506-nejvyssi-drevena-budova-v-nemecku-uz-meri-25-metru

Vnitřní výztužné a nosné stěny

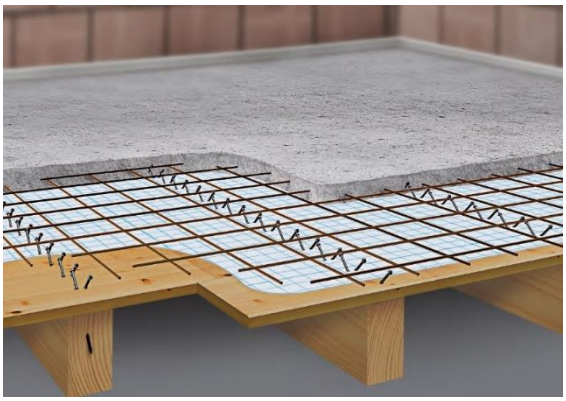
Vnitřní výztužné a nosné stěny jsou vhodné jako ztužení pro objekty s pevně daným půdorysem. Nejvíce se uplatňují u obytných budov. Vnitřní stěny mohou omezit možnost provádět změny v pozdní fázi nebo po dokončení stavby. [8]

Obvodové výztužné a nosné stěny

Obvodové výztužné a nosné stěny mohou být vhodné pro objekty s volnější dispozicí. Při plánování nabízí větší variabilitu než vnitřní výztužné a nosné stěny a také se lépe provádí změny po dokončení stavby, což je vhodné zejména pro administrativní budovy, kde budoucí nájemce není omezen při rekonstrukci. [8]

Dřevobetonové stropy

Dřevobetonové stropy jsou vhodné ke ztužení stropní tabule. [18]



Obrázek 11: Dřevobetonový strop, zdroj: https://www.spillner-ssb.de/sfs-system-vb/holz-beton-verbund.html

Diagonály z rostlého dřeva a ocelová táhla

Ztužení pomocí diagonál se uplatňuje zejména u těžkých skeletů. Ocelová táhla jsou účinná pouze v tahu, ale diagonály z rostlého dřeva lze využít jak v tahu, tak i v tlaku. Diagonální ztužení se používá buď uvnitř konstrukce, anebo jako viditelné prvky, které dotváří architektonické ztvárnění. [17]

Opláštění

Opláštění lehkých skeletů je zajištěno pomocí třískových desek, OSB desek nebo překližovaných desek, které se pro ztužující konstrukce používají díky své dobré pevnosti. Opláštění vedle ztužující funkce přispívá k požární ochraně, k tepelným a zvukově izolačním vlastnostem konstrukčního prvku. [17]

12. Vícepodlažní budovy z CLT panelů

Vícepodlažní dřevostavby z CLT panelů mají mnoho výhod, proto lze očekávat, že se tento výrobek bude v budoucnosti používat častěji. Převládajícími výhodami jsou velká přesnost provedení a rychlá výstavba, snadná montáž, na kterou je potřeba menší počet pracovníků. Efektivita vysoké rychlosti výstavby se projeví především u staveb většího měřítka, zejména pak u vícepodlažních budov, proto je u nich výhodné zvolit právě konstrukci z CLT panelů. Jedná se o suchý proces, proto lze s výstavbou pokračovat i v zimních měsících. Při stavbě je nutné použít zdvihací techniku, protože panely velkých rozměrů mají vysokou hmotnost. [20]

Vícepodlažní budovy z CLT panelů jsou oproti železobetonovým či zděným mnohem lehčí, proto jsou vhodné do oblastí se špatnými základovými podmínkami. [20]

Panely z křížem vrstveného dřeva mají vzhledem ke své nízké hmotnosti vysokou únosnost. CLT panely se vyznačují velmi dobrou tuhostí, ve většině případů je možné z nich provést i ztužující jádro pro umístění schodiště a výtahu. Díky velmi dobrým tepelně technickým vlastnostem se hodí pro nízkoenergetické stavby. CLT panely v porovnání s lehkými rámovými systémy na bázi dřeva vykazují lepší hodnoty akustického útlumu. Samotný panel však požadavkům na akustiku nevyhoví, proto je zapotřebí danou konstrukci zdvojit, což je vhodné například v případě mezibytových stěn. Jinou cestou snížení akustické zátěže je obložení panelů izolací. Masivní panely mají dobrou požární odolnost, již při tloušťce 80 mm splňují hodnoty požární odolnosti REI30. [12]

Obrázek 12: Nosná konstrukce z CLT panelů, zdroj: https://www.klh.at/en/references/cirerers-building/

CLT panely mohou být v interiéru přiznané, nebo se mohou opláštit deskami na bázi sádry. Při opláštění sádrokartonovými nebo sádrovláknitými deskami se zvyšuje hodnota požární odolnosti konstrukce. [12]

CLT panely jsou nejvíce využívány pro difuzně otevřenou konstrukci. Při vhodně zvolené skladbě obvodových konstrukcí nedochází ke vzniku rizika kondenzace vodních par. Tím odpadá nebezpečí špatně provedené parozábrany, nejrizikovějšího místa difuzně uzavřených dřevostaveb. [12]

Lichý počet vrstev je použit proto, aby krajní vrstvy měly stejnou orientaci, krajní vrstvy jsou rovnoběžné s hlavním směrem zatížení. Stěnové panely přenášejí zatížení svisle orientovanými vrstvami, horizontálně orientované vrstvy zajišťují především prostorovou tuhost a tvarovou stálost panelu. Stěnové panely jsou většinou pokládány kratší stranou na výšku, což je při konstrukční výšce do 3 m dostačující. Ale najdou se i konstrukce, kde je potřeba překonat větší výšku, a pak jsou panely pokládány delší stranou na výšku. Vždy je ale nutné, aby krajní vrstvy stěnového panelu byly orientovány svisle.

Stropní panely mají většinou větší tloušťku a jsou u nich nejvíce namáhány krajní vrstvy panelu. Panely se pokládají tak, aby krajní vrstvy měly lamely orientované ve směru rovnoběžném s rozpětím. Kolmo orientované vrstvy zajišťují tuhost, tvarovou stálost a zvyšují únosnost panelu. Běžně se používají na rozpon okolo 6 m, při větších rozponech nejsou panely efektivně využity. [12]

Konstrukční spoje jsou prováděny pomocí hřebíků, vrutů, ocelových úhelníků a kotev. Nejčastěji se používají samořezné vruty do dřeva, vyrábí se v mnoha velikostech. Jejich instalace je velmi jednoduchá a mají vysokou únosnost na vytažení. Při montáži je třeba dbát na správné provedení spojů. Většina spojů je schována v podlaze, za podhledem nebo za opláštěním. Při použití pohledových panelů se dají spoje provést jako skryté, aby byla zachována pohledová funkce panelu. Mezi spojovacími prvky jsou vyžadovány velké rozteče, aby se zabránilo rozštěpení dřeva a smykovým poruchám. [20]

U CLT panelů se jedná o vysoký stupeň prefabrikace. Díky ní se mohou ve výstavbě používat jako panelový nebo modulový systém. U panelového systému se na staveniště přivezou panely, které se smontují na místě. Může se jednat jen o holé přesně vyříznuté panely nebo do panelů mohou být na osazena okna a dveře či mohou být obloženy fasádou. U modulového systému se v továrně smontují celé buňky, mohou být vyrobeny

včetně povrchových úprav, sanity, rozvodů, atd. Pomocí prefabrikace se výrazně urychlí výstavba.

Nyní se nemusíme obávat negativních důsledků širokého uplatnění prefabrikovaného panelového systému, jenž v minulosti v podobě panelových sídlišť poznamenal podobu skoro všech měst v České republice. Architekti ani stavebníci nejsou omezeni typovostí vyráběných elementů. Panely nejsou vyráběny sériově ani v typových řadách, které by omezovaly možnost návrhu. Každý prvek je vyráběn na míru dle individuálního projektu. V rámci limitů je výroba omezena pouze možností výrobních linek a dopravy na maximální rozměry 3 m x 18 m. [12]

Kombinace CLT panelů s jinými konstrukčními systémy

Technologie CLT představuje stěnový panelový konstrukční systém. Nosné stěny dávají objektu pevně danou dispozici. Stěnový systém je vhodný u bytových domů, ale pro ostatní typy budov je nevýhodou, zejména se to týká administrativních budov, kde je budoucí nájemce limitován nosnými, nepřemístitelnými stěnami. Při dodržení jednotného konstrukčního systému z CLT panelů nelze docílit volné dispozice s variabilitou možného vnitřního uspořádání. Značně limitující je i dodržování návaznosti stěn jednotlivých podlaží.

Pro dosažení volné dispozice je vhodná kombinace CLT panelů s těžkým skeletem. Sloupy jsou provedeny z lepeného lamelového dřeva a na stropy jsou použity CLT panely, které jsou uloženy na průvlacích.

CLT panely je možné kombinovat i s lehkým skeletem. Často se tato kombinace využívá kvůli ekonomickému hledisku. Konstrukce vyrobené z lehkého skeletu jsou ve srovnání s konstrukcemi z CLT panelů finančně méně zatěžující, proto se k zajištění tuhosti provedou stropy a ztužující stěny z CLT panelů a na zbytek stěn je použit lehký skelet. [12]

13. Modulární vícepodlažní dřevostavby

Modulární výstavba je stavební systém založený na skládání jednotlivých modulárních buněk. Modulární dřevostavby jsou v dnešní době trendem, ale v České republice není systém prostorové prefabrikace moc rozšířen. Když už se firmy zabývají modulovou výstavbou, věnují se většinou jen jednopodlažním budovám. Modulová buňka má obvykle tvar kvádru.

Modulová výstavba nabývá na oblíbenosti z více důvodů. Díky prefabrikaci velkoprostorových modulů je velmi rychlá, stavební práce mohou probíhat paralelně, v době, kdy se ve výrobní hale montují moduly, mohou na staveništi současně probíhat stavební práce na spodní stavbě. [21] Modulové buňky jsou vyráběny ve výrobních halách za stálých klimatických podmínek, konstrukce nejsou vystavené nepříznivým vlivům počasí. V důsledku plně digitalizovaných linek dochází k lepší kontrole kvality. [15]

Obrázek 13: Modulární buňka, zdroj: https://www.swisskrono.com/de-fr/products/wooden-building-materials/prefabricated-construction/swiss-krono-longboard-osb/applications-uses/#/

Modulární buňka může být vyrobena z různých konstrukčních systémů, základními systémy jsou hraněné řezivo, lehký skelet a panely z křížem vrstveného dřeva. Charakteristickým znakem modulární výstavby je opakování standardních jednotek a používání ustálených rozměrů, čímž se zvyšuje efektivita. Řešení modulových buněk může být do jisté míry flexibilní, v daném objektu je možno použít i více různých modulů. [22]

Obvykle jsou v buňkách zabudovány rozvodové sítě, sanita, kuchyně, zařizovací předměty i otopná zařízení. Dále jsou vyhotoveny vnitřní povrchy, podlahové krytiny, fasáda a osazena okna.

Rozměry modulových buněk jsou omezeny přepravními podmínkami. Na transport je potřeba buňku dostatečně ztužit, aby nedošlo k jejímu poškození. K transportu jsou zapotřebí speciální přepravní a zdvihací prostředky. Aby se docílilo rychlé výstavby, což je hlavní výhoda prostorové prefabrikace, je zapotřebí pečlivě naplánovat koordinaci výroby, transportu a prací na staveništi, aby nedocházelo k prodlevám a následně ke zpoždění.

Nevýhodou modulární výstavby je menší možnost variability, hlavně komplikované řešení velkých prostorů, a s tím související menší zájem architektů. [15]

14. Požární bezpečnost staveb v ČR

Jak je obecně známo, dřevo je hořlavé, a to omezuje jeho uplatnění jako stavebního materiálu, zejména u větších a vyšších budov. Dřevo je sice zápalné, ale zároveň má taky dobrou požární odolnost, vůči požáru masivní dřevěný prvek odolává více než vybraný nehořlavý materiál, jako je např. ocel, která oproti dřevu při vysokých teplotách náhle ztratí svou pevnost. Naopak dřevo odhořívá od povrchu a svou pevnost ztrácí postupně. Při požáru dřevo a materiály na bázi dřeva vzplanou a hoří, než se na povrchu vytvoří zuhelnatělá vrstva, která brání přístupu kyslíku k vnitřní části, čímž zpomaluje proces hoření. Také má tepelně izolační vlastnosti, a díky tomu se ve zbytkovém průřezu nezvyšuje teplota ani se podstatně nemění mechanické vlastnosti uvnitř průřezu. Proces hoření lze zpomalit protipožárními nátěry nebo vhodnou povrchovou úpravou. Na chování prvků ze dřeva a materiálů na bázi dřeva za požáru má vliv jejich tvar, povrch a rozměry průřezu. Nepříznivý vliv na hoření mají ostré hrany a drsný povrch, proto se dřevěné prvky hoblují a hrany zaoblují. Trhliny a praskliny také přispívají k rychlejšímu hoření prvku, proto lepené dřevo, které je bez trhlin, má vyšší požární odolnost než dřevo rostlé. [10]

Při návrhu staveb je třeba dbát základních priorit požární bezpečnosti, mezi které patří:

- Bezpečná evakuace osob (zvířat) z hořícího objektu na volné prostranství (eventuálně do jiného objektu).
- Bránění šíření požáru – mezi jednotlivými požárními úseky uvnitř objektu
  – na jiné objekty.
- Umožnění zásahu jednotek požární ochrany při hašení a záchranných pracích. [23]

14.1 Třídy reakce na oheň

Kromě požární odolnosti stavebních konstrukcí je důležité, jaké stavební materiály byly použity k výrobě. Třída reakce na oheň udává, jak daný výrobek přispívá svou hořlavostí k rozvoji a intenzitě rozvíjejícího se požáru. Výrobky jsou členěny do 7 kategorií s označením: A1, A2, B, C, D, E, F. Třída A1 a A2 jsou nehořlavé výrobky, které k vývoji požáru významně nepřispívají. Do tříd B – F patří hořlavé výrobky, které se různou mírou podílejí na vývoji požáru. [23]

14.2 Konstrukční systém

V České republice se nosné a požárně dělící konstrukce rozdělují do 3 druhů konstrukčních částí: DP1, DP2, DP3.

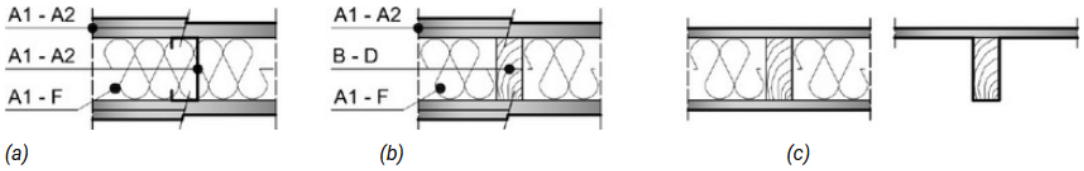
Konstrukce druhu DP1 jsou konstrukce pouze z nehořlavých výrobků třídy reakce na oheň A1 nebo A2. Pokud se jedná o vícevrstvou konstrukci, může obsahovat hořlavé výrobky třídy reakce na oheň B – F, ale ty se musí nacházet uvnitř konstrukce a po dobu požadované požární odolnosti nesmí dojít k jejich vzplanutí. Třídy reakce na oheň A1 a A2 se u vícevrstvé konstrukce týkají nosných prvků a opláštění. [23]

Konstrukce druhu DP2 a DP3 jsou konstrukce především u dřevostaveb. Konstrukce mají hořlavé nosné prvky. U konstrukcí druhu DP2 musí být konstrukce opláštěny nehořlavými výrobky třídy reakce na oheň A1 nebo A2 a opláštění musí být provedeno tak, aby po dobu požadované požární odolnosti nedošlo ke vzplanutí nosných výrobků. [23]

Dále na základě druhů konstrukčních částí rozlišujeme z požárního hlediska 3 druhy konstrukčních systémů: nehořlavý, smíšený, hořlavý. Jednotlivé konstrukční systémy mají svá výšková omezení.

Nehořlavý konstrukční systém obsahuje všechny svislé a vodorovné, nosné a požárně dělící konstrukce druhu DP1. Daný konstrukční systém má neomezenou požární výšku. Smíšený konstrukční systém má svislé, nosné a požárně dělící konstrukce druhu DP2 a nejméně jednu vodorovnou konstrukci druhu DP2. Je omezen požární výškou $h \leq 22{,}5$ m. Hořlavý konstrukční systém má konstrukce druhu DP2 a DP3. Do hořlavého konstrukčního systému spadají i konstrukce s jen jednou nosnou nebo požárně dělící konstrukcí DP2 (svislou) nebo DP3. Omezená požární výška je $h \leq 12$ m. [23]

Požární výška objektu h je výška od čisté podlahy 1. NP k čisté podlaze posledního užitného NP. [23]



Obrázek 4: Druhy konstrukční části (schematické znázornění pro sendvičovou konstrukci): (a) DP1; (b) DP2; (c) DP3; poznámka: A1 až F = požadované třídy reakce na oheň; dvouvrstvé opláštění na obr. (a) a (b) pouze ilustrativně vyjadřuje požárně ochrannou funkci a nemusí reprezentovat skutečný počet desek

Obrázek 14: Druhy konstrukčních systémů, zdroj: https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13651-druhy-konstrukcnich-casti

14.3 Požární odolnost stavebních konstrukcí

Požární odolnost je čas vyjádřený v minutách, po který jsou nosné a požárně dělící konstrukce schopné odolávat účinkům požáru bez porušení požadované funkce. Ta je vyjádřena mezními stavy a klasifikační dobou. Požární odolnost je určena na základě požární zkoušky. [23]

Odolnost prvků ze dřeva a materiálů na bázi dřeva proti účinkům požáru je charakterizována především hloubkou zuhelnatění, která je závislá na rychlosti zuhelnatění. Při navrhování nosných dřevěných prvků na účinky požáru se dá prokázat jejich požární odolnost jednoduchým statickým výpočtem, který vychází z redukce účinného průřezu. [24]

Mezi základní mezní stavy patří:

R… únosnost a stabilita – platí pro všechny nosné konstrukce v požárním úseku, které během požáru musí plnit nosnou funkci. Mezní stav R musí splňovat nosné stěny, stropy, průvlaky, nosníky, střešní vazníky, vaznice, ztužidla.

E…celistvost – platí pro všechny plošné požárně dělící konstrukce a požární uzávěry. Během požáru se v nich nesmí vytvořit trhlina, kterou by mohl plamen prošlehnout nebo kterou by mohly unikat horké plyny do jiného požárního úseku.

I…izolační schopnost – platí pro plošné dělící konstrukce a požární uzávěry, které musí zabránit nadměrnému ohřívání prostoru na neohřívané straně konstrukce.
W…radiace – platí pro plošné požárně dělící konstrukce, u kterých omezuje tepelný tok z neohřívané strany. Tepelný tok nesmí rozšířit požár nebo ohrozit osoby v blízkosti dané konstrukce.

S…kouřotěsnost – platí pro požární uzávěry zvláště pro dveře do chráněných prostor, kde se musí zamezit proniknutí zplodin hoření. Kouřotěsnost je zajištěna požárně odolným těsněním.
C…samozavírač – uplatňuje se především u dveří, které se v případě požáru samočinně uzavírají.

Klasifikační časy jsou: 15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180 minut, výjimečně 240, 360 minut.

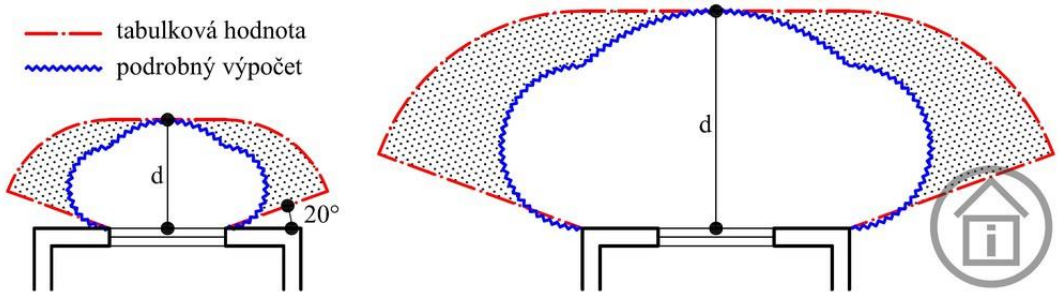
Dle daných požadavků musí nosné konstrukce splňovat mezní stavy REI/REW a požárně dělící konstrukce EI. [23]

14.4 Odstupové vzdálenosti

Odstupové vzdálenosti jsou vymezeny požárně nebezpečným prostorem kolem hořící budovy. Požárně nebezpečný prostor se hodnotí na základě 2 základních hledisek: sálání tepla z požárně otevřených ploch a odpadávání hořících částí DP3. Požárně nebezpečný prostor určuje prostor kolem budovy, kde je nebezpečí rozšíření požáru do sousedních požárních úseků a na sousední budovy. Požárně nebezpečný prostor se posuzuje pro obálku budovy (obvodové konstrukce a střešní plášť). Požárně nebezpečný prostor nesmí zasahovat na sousední objekty, nesmí zasahovat na soukromý pozemek, ale může zasahovat na veřejný pozemek (ulice, náměstí). [23]

Požárně otevřená plocha

Požárně otevřenou plochou jsou nejčastěji otvory v obvodových konstrukcích, ale může se jí stát i obvodová konstrukce. Platí to pro konstrukce obložené masivními hořlavými prvky a konstrukce tvořené exponovanými hořlavými prvky. V případě dřevostaveb představují obvodové konstrukce větší riziko než otvory. [23]



Obrázek 15: Odstupová vzdálenost – odstup od okna; odstup od stěny jakožto požárně otevřené plochy, zdroj: https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10625-hlediska-pozarni-bezpecnosti-pro-drevostavby-v-ceske-republice-2-dil

Odpadávající hořící části

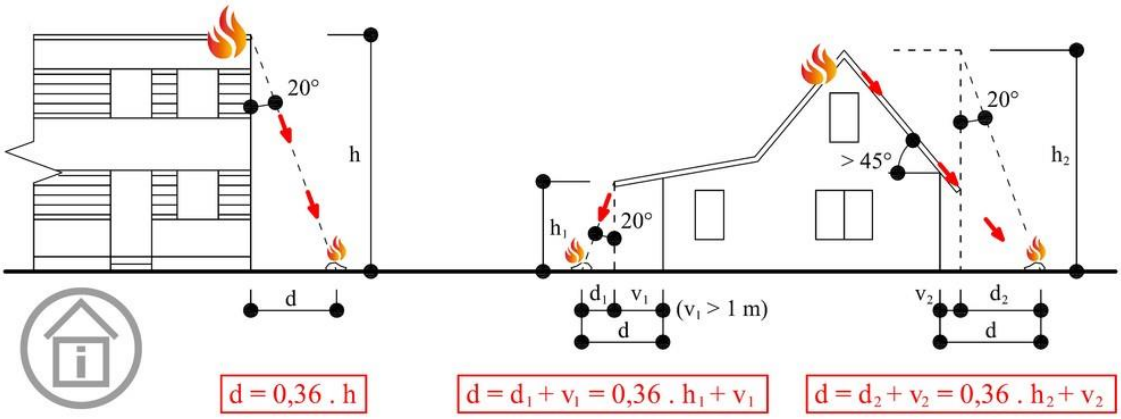
Zejména u konstrukcí druhu DP3 se při určování odstupových vzdáleností musí posoudit, zda z obvodových či střešních konstrukcí nemůže docházet k odpadávání hořících částí, které by mohly rozšířit požár na sousední pozemky nebo sousední objekty. Oblast, kam by mohla dopadnout hořící torza (trosky) z obálky budovy, se nazývá torzní (troskový) stín, který kolem budovy vymezuje požárně nebezpečný prostor. Hodnocení odpadávání hořících částí dřevěných konstrukcí se neprovádí pro:

- obvodové a střešní pláště druhu DP2, pokud se prokáže, že padající části konstrukce nemohou šířit požár na jiné objekty

- u střech se sklonem do 45°

- římsy s vyložením do 1 m

- dřevěná zábradlí, žaluzie, rámy dveří a oken, truhlíky, … [23]



Obrázek 16: Odpadávání hořících částí konstrukcí druhu DP3, zdroj: https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10625-hlediska-pozarni-bezpecnosti-pro-drevostavby-v-ceske-republice-2-dil

Omezujícími okolnostmi pro dřevostavby jsou požární výška a odstupové vzdálenosti. Dřevostavby spadají do hořlavého konstrukčního systému, dle kterého mohou mít maximální požární výšku 12 m, což při konstrukční výšce jednoho patra do 3 m odpovídá 5 patrům.

14.5 Požární ochrana dřevěných prvků a konstrukcí

Předimenzování konstrukčně-statických nutných průřezů – Při předimenzování prvků se využívá požárně ochranné vrstvy zuhelnatělého dřeva, což je často neekonomické. [25]

Obezdění a obetonování – Zvýšení požární odolnosti obezděním nebo obetonováním je poměrně trvanlivé. Aby toto opatření mělo potřebný efekt, je prostorově náročné. [25]

Požární omítky – Požární omítku je potřeba provést ve větší tloušťce. Z hlediska požární ochrany mají největší účinek omítky sádroperlitové a sádrovermikulitové. Aby měly lepší soudržnost s podkladem, mohou se omítky vyztužit pletivem nebo minerálními vlákny. Omítky jsou trvanlivé, po zaschnutí jsou však křehké a na dynamicky zatížených konstrukcích mohou praskat. [25]

Požární nástřiky – Požární nástřiky jsou trvanlivé. Rychle se nanáší. Vyrábí se na silikátové bázi, do které se přidávají specifická plniva (perlit, vermikulit) a výztuž. Po zaschnutí jsou křehké stejně jako požární omítky. [25]

Požární obklady a podhledy – Požární obklady jsou trvanlivé. Používají se deskové materiály a jedná se o suchý proces. Oproti nátěrům mají výraznou nevýhodu, kterou je vyšší pracnost. [25]

Požární nátěry – Požární nátěry se nanášejí v menší tloušťce než předchozí opatření. Prvky si tak zachovají svůj původní tvar. Jejich největší nevýhodou je omezená životnost, po jejímž uplynutí se musí požární nátěr obnovit. Životnost obvykle bývá přibližně 10 let. Požárních nátěrů existuje více typů:

Intumescentní nátěry – nejčastěji používané, univerzální nátěry. Při požáru vytvoří nátěr masivní tepelně izolační pěnu, která zamezí přístupu vzduchu k průřezu a zpomaluje ohřívání chráněného prvku. [25]

Zábranové nátěry – při požáru se na chráněném prvku vytvoří neprodyšná krusta, která zabraňuje přístupu kyslíku, a tím zabraňuje hoření. [25]

Sublimující nátěry – Používají se jen výjimečně na ocelové konstrukce. Při tepelné expozici se z nátěru uvolňují plyny, které ochlazují konstrukci. [25]

Impregnace dřeva – impregnační prostředky obsahují retardéry hoření, které zpomalují tepelný rozklad dřeva. Při tepelné expozici se na povrchu chráněného prvku vytvoří pěna, která spotřebovává teplo a zabraňuje přístupu vzduchu k prvku. [25]

Stabilní hasicí zařízení – stabilní hasicí zařízení je určené pro automatický hasební zásah v případě požáru. V koordinaci se systémy detekce požáru slouží k uhašení nebo ke snížení účinků vznikajícího požáru. Typy stabilních hasicích zařízení jsou:

Sprinklerové systémy – jako hasicí medium využívají vodu. Jsou nejvhodnější a nejužívanější v obytných dřevostavbách. Jejich výhodami jsou rychlé spuštění, levné hasicí médium, široký rozsah použití a dlouhá životnost. [26]

Pěnová hasicí zařízení – hasicí pěna vzniká smísením vody, vzduchu a syntetické látky. Používají se především pro hašení požárů hořlavin. [26]

Plynové hašení – systémy využívají vlastností inertních plynů, jsou šetrné k životnímu prostředí a nepoškozují majetek. Jsou vhodné pro hašení technologických zařízení. [26]

15. Akustické požadavky

Akustika je schopnost stěny nebo stropu chránit vnitřní prostor před nežádoucím hlukem. Akustické vlastnosti budov jsou důležitým kvalitativním hlediskem budov. Hluk je rušivý faktor, exponované osoby obtěžuje, má velký význam pro pohodu uživatelů a může mít škodlivé účinky na jejich zdraví. [27]

Všechny dřevostavby mají kvůli své relativně nízké objemové hmotnosti dřeva malou plošnou hmotnost. Proto z ekonomického, konstrukčního a technologického hlediska nelze konstrukce navrhnout jako jednovrstvé konstrukce tak, aby splňovaly akustické požadavky. Při použití smrkového dřeva by konstrukce musela mít tloušťku cca 75 cm. Dřevěné konstrukce se provádí vícevrstvé. [24]

16. Tepelně technické požadavky

Dřevo má dobré tepelné vlastnosti, nízkou tepelnou vodivost, nízká teplotní roztažnost rovnoběžně i kolmo ke směru vláken. Dřevo je dobrým tepelně izolačním materiálem. Poruchy nevznikají účinkem teplotních změn, a proto se kvůli nim nemusí provádět dilatační spáry. [10]

U dřevostaveb lze poměrně snadno dosáhnout nižších hodnot součinitele prostupu tepla, i bez většího úsilí lze dosáhnout hodnoty U kolem 0,1 W/m^2K. [7]

17. Ochrana proti vlhkosti

Správně provedená ochrana proti vlhkosti je klíčem k dlouhé životnosti dřevěných konstrukcí. Proto je potřeba dbát, aby vlhkost pomalu a nepozorovaně nevnikala do konstrukce. [28]

Škoda způsobená vodou, která je rychle zpozorovaná, pro budovy s nosnou konstrukcí ze dřeva není problém. Při poškození prasklým potrubím nebo po povodni je potřeba dbát, aby dřevěné konstrukce měly možnost rychle vyschnout.[28]

Zato pomalé a nepozorované prosakování vody je velmi problematické. Vady typu špatně provedené těsnící vrstvy, netěsnosti střechy, nesprávně provedeného soklu, netěsného potrubí, nevhodně provedeného sprchového koutu atd. přivádí vodu do konstrukce a následně vedou k nákladným škodám. Proto je potřeba dbát na správné provedení ochranných opatření proti vlhkosti. [28]

Sokl dřevěné konstrukce by měl mít dostatečný odstup od okolního terénu, měl by být alespoň 15 cm nad okolním terénem. Vhodným řešením u vícepatrových dřevostaveb je provedení celého prvního patra z betonu. [28]

18. Vícepatrové dřevostavby v Rakousku

18.1 Požární předpisy Rakousko

Na území Rakouska neplatí všeobecné stavební předpisy, ty jsou v pravomoci jednotlivých spolkových zemí. Požadavky ve všech spolkových zemích budou podobné českým požadavkům, protože vychází z Eurokódu. Ve většině spolkových zemí v Rakousku se používá směrnice OIB 2 Požární ochrana jako základ pro stavební předpisy. Od dané směrnice je možno se odchýlit, pokud se prokáže, že stavba dosáhla stejné požární ochrany jako při použití předpisů OIB 2. [29]

Podle směrnice OIB 2 Požární ochrany se v Rakousku se může postavit dřevostavba až s šesti podlažími, aniž by musela splňovat nějaké zvláštní požadavky. U dřevěných budov s více jak šesti podlažími je při navrhování zapotřebí koncepce požární ochrany, ve které se je třeba zdůvodnit, že konstrukce dosahuje stejné úrovně bezpečnosti jako budovy z nehořlavých stavebních materiálů. [29]

Ztužující a nosné prvky, potřebné pro stabilitu konstrukce, musí být v případě požáru účinné po dobu požadované požární odolnosti. Obytné prostory musí být od ostatních prostorů s jiným způsobem využití odděleny požárně dělícími konstrukcemi, pokud celková čistá podlahová plocha celé budovy přesahuje 1200 m^2 nebo pokud plocha prostor s jiným způsobem využití než obytným přesahuje čistou podlahovou plochu 400 m^2. [30]

Klasifikace budov

Třídy budov se dělí dle požadavků na záchranu osob a schopnosti (možnosti) hašení požáru. Budovy se řadí do pěti tříd GK 1–5. Důležitými parametry pro zatřídění budov do klasifikačních tříd jsou požární výška, počet nadzemních podlaží, počet bytů nebo provozních jednotek a hrubá plocha nadzemních podlaží. Klasifikace budov však nezohledňuje prostory v podzemních podlažích, pro které platí zvláštní nařízení, závislá na požární odolnosti, velikosti požárních úseků a odvodu kouře. V podzemních podlažích nesmí požární úsek překročit maximální podlahovou plochu 800 m^2, z důvodu méně příznivých podmínek pro zásah hasičů. [30], [31]

GK	*Počet nadzemních podlaží*	*Požární výška (m)*	*Počet bytů nebo provozních jednotek*	*Hrubá podlahová plocha nadzemního podlaží (m^2)*
1	≤ 3	≤ 7	≤ 2 byty 1 provozní jednotka	≤ 400 volně stojící
2	≤ 3	≤ 7	–	≤ 400 řadové domy ≤ 800 obytné budovy, volně stojící
3	≤ 3	≤ 7	–	–
4	≤ 4	≤ 11	1 –	– na patro ≤ 400
5	–	≤ 22	–	–

Tabulka 1: Přehled tříd budov, zdroj: OIB 2 - přeloženo

U samostatně stojících budov třídy budov GK 1 nejsou kladeny žádné požadavky na požární odolnost konstrukce, pokud se nejedná o zvláštní konstrukce, které musí splňovat dané požadavky. U těchto budov je ochrana osob zajištěna povinnou instalací detektorů kouře. Dále musí být dodrženy požadované odstupové vzdálenosti, nejméně 2 m od hranice pozemku. [30], [31]

Klasifikace stavebních výrobků z hlediska třídy reakce na oheň

Požadavky na třídu reakce stavebních materiálů na oheň jsou v Rakousku stanoveny podle Eurokódu. Díky tomu je v Rakousku obdobné zatřídění výrobků do třídy reakce na oheň jako v České republice. Základními vlastnostmi pro posouzení chování stavebních materiálů při požáru je zápalnost a hořlavost. Výrobky jsou zatříděny do sedmi tříd A – F. [30], [31]

Požární odolnost stavebních prvků

Požadavky na požární odolnost stavebních prvků závisejí na klasifikační třídě budovy. Dané požadavky vychází z principu, že s rostoucím počtem podlaží, s vyšší kapacitou ubytovaných atd. se zvyšuje riziko ohrožení, a tím se hasičům ztěžuje zásah. Proto tedy se zvyšující se klasifikační třídou budovy zvyšují požadavky na požární odolnost stavebních prvků. [30], [31]

V Rakousku se lze od požadavků norem odchýlit, pokud se prokáže, že cíle ochrany jsou splněny alespoň v takové míře jako při dodržení pokynů požární směrnice OIB 2. Budovy lze stavět i s více než šesti nadzemními podlažími. U těchto budov je vyžadována koncepce požární ochrany, která musí být předem dohodnutá se stavebním úřadem. Budovy s více než šesti nadzemními podlažími musí konstrukce s výjimkou nejvyššího podlaží dosáhnout požární odolnosti 90 minut, přičemž nosné dřevěné prvky musí být zapouzdřeny. [30], [31]

18.2 Nejvyšší dřevostavby v Rakousku

Hoho Wien

Jak je z názvu patrné, nachází se daná budova ve Vídni. Stala se o nejvyšší dřevostavbou postavenou v Rakousku. Budova má 24 podlaží a je 84 metrů vysoká. Jedná se o polyfunkční budovu, nachází se v ní obchody, kanceláře, byty, fitness centrum a hotel s restaurací. Konstrukce se prohlašuje za moderní, udržitelnou a ekologickou, i když není provedena výhradně z obnovitelných zdrojů, ale je postavena ze dřeva a betonu. Dřevo, použité na stavbu, pochází z domácích zdrojů. Bylo spočítáno, že množství použitého dřeva doroste v Rakousku za 75 minut. Budova je ze 75 % postavena ze dřeva, má 800

sloupů, je z lepeného lamelového dřeva a na stěny a stropy bylo použito 16 000 m^2 křížem lepeného lamelového dřeva. Stropy jsou provedeny jako spřažené dřevobetonové (z CLT panelů a betonu), ztužující jádro bylo vyrobeno ze železobetonu a okrajové stropní nosníky jsou z betonových prefabrikátů. Výstavba byla velice rychlá, díky prefabrikaci se postavilo 1 podlaží za 1 týden. [33], [34]

Stavební projekt byl z hlediska požární bezpečnosti navržen inženýrským přístupem, protože dle platných předpisů lze v Rakousku postavit dřevostavbu maximálně do šesti nadzemních pater. Požární odolnost dřevěných prvků byla prokázána požárními zkouškami. Pro stavbu platila přísná kritéria protipožární ochrany, v certifikované zkušebně se prováděly požární zkoušky v měřítku 1:1. V rámci zkoušek se zjistilo, jak vrstva lepidla ovlivňuje chování panelu při požáru. Týká se to především stropních panelů, u kterých hoření způsobuje předčasné odpadnutí ochranné zuhelnatělé vrstvy, a tím hoření urychluje, zatímco vrstvy dřeva postup požáru zpomalují. Při zkoušce spoje sloupu a stropu odhořela 5centimetrová vrstva, která zuhelnatěla a pod ní bylo dřevo zcela neporušené. Tyto poznatky z provedených zkoušek mohou být využity na následující projekty. Na základě provedených zkoušek byly všechny konstrukce navrženy tak, aby odolaly požáru po dobu 90 minut. Důležitou zajímavostí je, že v roce 2018 byla postavena vedle HoHo Wien šestipatrová menší budova jako předobraz toho, jak by mohla HoHo Wien vypadat. Byla realizována ze stejných materiálů i stejnou technologií jako HoHo Wien, byla určena k ověření konstrukčního systému, zvýšení efektivity a pochopení metodiky pro stavbu HoHo Wien. Únikové cesty, schodiště a výtahy jsou umístěné v železobetonovém jádře, šachty jsou provedeny z nehořlavých materiálů. Na obklad obvodových stěn byl použit materiál třídy reakce na oheň A2, aby nedošlo k šíření požáru po fasádě. Budova je dělena na malé požární úseky (do 400 m^2, místo předpisy povolených 800 m^2) s krátkými únikovými a přístupovými cestami pro zásah hasičů. V objektu se dále nachází celoplošný poplachový systém, sprinklerový systém a v suterénu dvě nádrže na požární vodu. [33], [34]

Obrázek 17: HoHo Wien, zdroj: https://www.siga.swiss/be_de/referenzen/hoho-wien

Alpenhotel Ammerwald

Jedná se o hotel v Tyrolsku z modulárních buněk z křížem lepeného lamelového dřeva. Na místě již dříve objekt stál, byl ale zdemolován a na jeho místě byla postavena nová budova ve tvaru písmene L. Hotel má dvě patra ze železobetonu, na kterých jsou naskládány tři patra prefabrikovaných buněk. V betonových podlažích se nachází restaurace, sauna a krytý bazén. [44]

Pro stavbu hotelu bylo vyrobeno 93 modulových buněk z CLT panelů. Aby nebyla narušena plynulost provozu v horské oblasti, byly buňky na stavbu dopravovány v noci. Prefabrikace výrazně zkrátila dobu výstavby a zároveň zvýšila kvalitu provedení. Při výrobě byly instalace, sanita i nábytek napevno zabudovány do buněk. Fasáda byla provedena až na staveništi. [44]

Obrázek 18: Alpenhotel Ammerwald, zdroj: https://www.ammerwald.at/de/hotel

19. Vícepatrové dřevostavby v Německu

19.1 Požární předpisy v Německu

Stejně jako Rakousko ani Německo nemá jednotnou stavební legislativu. Stavební předpisy jsou záležitostí jednotlivých spolkových zemí. Stejně jako rakouské požární předpisy i německé požární předpisy vychází z Eurokódu. Ve většině spolkových zemí je možné stavět dřevěné konstrukce bez zapouzdření s požární odolností R90 do požární výšky 22 m. [29]

Jako v Rakousku i v Německu existuje vzorový stavebního řád MBO (Musterbauordnung), který není závazný. Vzorový stavební řád slouží pouze jako orientační základ pro stavební předpisy jednotlivých spolkových zemí. Jeho účelem je sjednocení zemských stavebních předpisů. Stavební předpisy jednotlivých spolkových zemí se proto liší jen v detailech. [35]

Klasifikace budov

Požadavky na požární odolnost prvků se určují na základě tříd budov. Použité informace vychází ze vzorového stavebního řádu (MBO) pro Německo. V jednotlivých spolkových zemích se požadavky mohou mírně lišit. Zařazení do třídy budov závisí na typu budovy, požární výšce a hrubé podlahové ploše budovy. V zásadě platí, že s vyšší třídou budovy jsou vyšší požadavky na požární ochranu konstrukcí. [36]

Třída budovy (GK)	*Typ budovy*	*Požární výška (m)*	*Užitné jednotky*	*Celková hrubá podlahová plocha (m^2)*
1a	volně stojící	≤ 7	≤ 2	≤ 400
1b	volně stojící – zemědělské nebo lesnické			
2	budovy, které nestojí volně	≤ 7	≤ 2	≤ 400
3	jiné budovy	≤ 7	–	> 400
4	–	≤ 13	–	≤ 400
5	–	> 13	–	>400

Tabulka 2: Přehled tříd budov, zdroj: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/grundlagen/gebaeudeklassen-3134967 - přeloženo

Třídy reakce na oheň

Stavební materiály se klasifikují do tříd reakce na oheň na základě jejich hořlavosti. Tříd reakce na oheň se v Německu určují buď podle národní normy, anebo podle Eurokódu. Podle národní normy se materiály dělí na nehořlavé značené A a hořlavé stavební materiály značené B1, B2 a B3. Třídy B se od sebe liší rychlostí se vznícení a způsobem, kterým přispívají k vývoji požáru.

- Třída A1 jsou stavební materiály, u kterých se nedokládá jejich nehořlavost, např. kamenivo, beton, ocel atd.
- Třída A2 jsou materiály, které obsahují malé zastoupení hořlavých látek, ale hlavní složky nejsou hořlavé, např. sádrokartonové desky.
- Třída B1 jsou stavební materiály, které po odstranění zdroje tepla nesmí pokračovat v samovolném hoření, např. sádrokartonové desky s perforovaným povrchem, omítky ze syntetických pryskyřic atd.
- Třída B2 jsou normálně hořlavé materiály, do této třídy spadá například i dřevo a materiály na bázi dřeva o tloušťce větší než 2 mm.
- Třída B3 jsou snadno hořlavé materiály.

Na základě Eurokódu se výrobky dělí do sedmi tříd reakce na oheň (A1, A2, B, C, D, E, F), které jsou stejné jako v České republice. Národní a evropská klasifikace však nejsou vzájemně kompatibilní. Na základě vzorových stavebních předpisů se snadno hořlavé stavební materiály nesmí používat bez dalšího opatření, které by zvýšilo jejich zařazení. [37], [38], [39]

Třídy požární odolnosti

Stavební konstrukce jsou rozděleny do tříd požární odolnosti, které nyní v Německu jsou klasifikovány buď na základě německé národní normy, anebo evropské normy podle Eurokódu. Podle německé národní normy obsahuje označení požární odolnosti písmeno F a číslo, které udává dobu požární odolnosti stanovené v minutách. Doba požární odolnosti se zaokrouhluje dolů na nejbližší hodnotu dělitelnou třiceti. Německá norma podle Eurokódu se shodují s českou normou. Evropská norma je oproti německé národní normě přesnější. [40]

Německé národní normy jsou postupně nahrazovány Eurokódem. [40]

Vzorová směrnice výškových budov

Protože plánování a realizace vyšších budov představuje problémy a rizika z hlediska požární ochrany, existuje v Německu vzorová směrnice pro výškové budovy MHHR (Muster-Hochhaus-Richtlinie). Podle německého stavebního zákona se za výškové budovy považují budovy, u kterých je podlaha alespoň jedné obytné místnosti více než 22 m nad stanoveným povrchem terénu. Hlavním cílem směrnice je ochrana lidí. Při návrhu výškových budov se vždy vyžaduje zpracování koncepce požární ochrany. Podle dané směrnice pro výškové budovy musí být všechny nosné, ztužující a požárně dělící konstrukce vyrobeny z nehořlavých materiálů. Od výšky 60 m musí být požární odolnost u nosných a ztužujících konstrukcí 120 minut. [41]

Vzorová směrnice pro dřevostavby

Protože se stavby ze dřeva v posledních letech staly velmi populárními, vznikla v Německu vzorová směrnice MHolzBauRL (Muster-Holzbaurichtlinie), která určuje požadavky na požární ochranu stavebních prvků dřevostaveb třídy budov GK 4 a GK 5. Tato směrnice umožňuje odklonit se od vzorového stavebního řádu a směrnice pro výškové budovy. Směrnice umožňuje navrhnout nosné, ztužující a požárně dělící konstrukce z hořlavých materiálů, tedy ze dřeva a na bázi dřeva. Dřevěné konstrukce s dutinami lze použít pouze do třídy budov GK 4 a masivní monolitické dřevěné konstrukce bez dutin lze použít u třídy budov GK 4, ale i GK 5. [42]

Požadavky na dřevěné konstrukce třídy budov GK 4

Nosné, ztužující a požárně dělící konstrukce musí splňovat požární odolnost 60 minut. Dutiny ve dřevěné konstrukci mohou být vyplněny pouze nehořlavou izolací. Dále musí opláštěny protipožárním obkladem z nehořlavých materiálů, který zabraňuje vznícení nosných, ztužujících a požárně dělících konstrukcí ze dřeva nebo materiálů na bázi dřeva po dobu nejméně 60 minut. [42]

Požadavky na dřevěné masivní konstrukce třídy budov GK 4 a GK 5

Hořlavé konstrukce z masivních prvků jsou ve třídách budov GK 4 a GK 5 povoleny za předpokladu, že velikost užitných jednotek v budově bude maximálně do 200 m^2. Nosné, ztužující a požárně dělící konstrukce musí splňovat požární odolnost u třídy budov GK 4 60 minut a u třídy budov GK 5 90 minut. Plochy by měly být opatřeny protipožárním obkladem z nehořlavých stavebních materiálů, který zabraňuje vznícení dřevěných

konstrukcí po dobu 30 minut. Je však přípustné provést buď strop, nebo maximálně 25 % všech stěn v každé místnosti bez opláštění, s výjimkou požárně dělících stěn a stěn ve schodišťovém prostoru. Pro třídu budov GK 5 je však zakázáno použití schodišťových stěn ze dřeva, ty musí být z nehořlavých materiálů. Spoje stěn a stropů musí být provedeny dostatečně kouřotěsně. [42]

Požadavky na vnější obklad stěn ze dřeva a materiálů na bázi dřeva
Daná směrnice stanovuje požadavky i na vnější obklad stěn ze dřeva nebo materiálů na bázi dřeva u třídy budov GK 4 a GK 5. Vnější obklad stěn ze dřeva nebo materiálů na bázi dřeva jsou třídy budov GK 4 a GK 5 povoleny za předpokladu, že bude omezeno šíření požáru po fasádě a bude zajištěna dobrá přístupnost pro hasiče. V určitých rozestupech musí být rozmístěny protipožární zábrany, které v případě požáru budou bránit rozšíření požáru. [42]

19.2 Nejvyšší dřevostavby v Německu

H8

Jedná se o nejvyšší dřevostavbu v Německu, má 8 pater a je 25 m vysoká. Budova se nachází v bývalém vojenském prostoru v Bad Aiblingu nedaleko do Mnichova, kde vznikl areál přezdívaný „City of wood“. V budově se nachází byty a kanceláře. Celá konstrukce je ze dřeva, jen schodišťové jádro je ze železobetonových prefabrikovaných prvků z důvodů požární ochrany. Na stavbu bylo použito 500 m^3 dřeva. Díky vysokému stupni prefabrikace byla konstrukce postavena za tři a půl týdne. Masivní obvodové stěny byly prefabrikovány včetně oken a fasádního obkladu. [43]

Všechny navržené dřevěné prvky jsou s požární odolností 90 minut. V interiéru je dřevo přiznané pouze u stropů v reprezentativních místnostech, jinak jsou všechny vnitřní povrchy opláštěny sádrovláknitými deskami s třídou reakce na oheň A2. Protipožární obklad chrání dřevo před vznícením po dobu 60 minut. V místech, kde se stýkají zapouzdřené prvky s nezapouzdřenými, jsou vloženy protipožární pásky, aby nedošlo k propálení konstrukce. [43]

Obrázek 19:H8 v Bad Aiblingu, zdroj: https://informationsdienst-holz.de/index.php?id=66&tx_stores_pi1%5BlocationUid%5D=474&tx_stores_pi1%5Baction%5D=show

Woho Berlin

Woho je zatím v procesu plánování, které by mělo být finalizováno nejdříve v roce 2026. Mělo by se jednat o nejvyšší dřevostavbu na světě. Bude postavena v Berlíně, měla by mít 29 podlaží a být 98 m vysoká. Celkově by ji měly tvořit 4 různě vysoké budovy. Konstrukce by měla být smíšená dřevěná se železo betonovým jádrem. Bude mít 7 podzemních podlaží, přízemí by mělo být přístupné veřejnosti. Má se jednat o prostor, kde se budou nacházet malé obchody, kavárny, společenské prostory. Budova by měla sloužit jako obytný dům.¨Veřejnosti by dále měla být přístupná terasa v 29. patře. [45]

Obrázek 20: WoHo Berlin, zdroj: https://www.skyscrapercenter.com/building/woho/40366

Woody

Woody patří k největším projektům v rámci dřevěné modulární výstavby. Nachází se v Hamburku a slouží jako studentské koleje. Poskytuje byty o velikosti 20 m^2 pro celkem 371 studentů. Přízemí a tři schodišťová jádra jsou z pohledového betonu. Na železobetonovém přízemí je naskládáno pět až šest pater obytných modulů z masivních dřevěných panelů. V buňkách kromě podlah je na všech stěnách dřevo přiznané. Železobetonová jádra jsou využita ke ztužení budovy. Modulové buňky byly vyrobeny včetně koupelny, kuchyňského koutu, elektroinstalace i vybavení. Dovoz modulů na staveniště byl načasován a moduly byly okamžitě pomocí jeřábu ukládány. Mezisklad na staveništi nebyl z prostorových důvodů naplánován. Za den byly zhotoveny maximálně čtyři modulové buňky. [46], [47]

Obrázek 21: Woody, zdroj: https://www.getzner.com/en/case-studies/student-residence-udq-hamburg

20. Seznam obrázků:

Obrázek 1: Slezský dům v Karlově Studánce, zdroj: wikipedia 13
Obrázek 2: Tradiční hrázděný dům, zdroj: https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/5790-zaciname-stavet-jak-se-vyznat-v-konstrukcich-drevostaveb 14
Obrázek 3: Příklad systému platform frame a balloon frame, zdroj: https://www.thinkwood.com/light-frame-wood-construction..... 15
Obrázek 4: Skladba křížem lepeného lamelového dřeva, zdroj: https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vicepodlazni-budovy-z-krizem-vrstveneho-dreva.html 17
Obrázek 5: NOVATOP SWP panel, zdroj: https://novatop-swp.cz/produkt/novatop-swp/ 17
Obrázek 6: Konzolové balkony, zdroj: https://www.proholz.at/zuschnitt/86/balkone-uebersicht 22
Obrázek 7: Připojené balkony, zdroj: https://www.proholz.at/zuschnitt/86/balkone-uebersicht 22
Obrázek 8: Samostatná konstrukce balkonů, zdroj: https://www.proholz.at/zuschnitt/86/balkone-uebersicht 23
Obrázek 9: ideální a nevhodná koncepce nosné konstrukce 24
Obrázek 10: Železobetonové jádro dřevostavby, zdroj: https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/8506-nejvyssi-drevena-budova-v-nemecku-uz-meri-25-metru..... 26
Obrázek 11: Dřevobetonový strop, zdroj: https://www.spillner-ssb.de/sfs-system-vb/holz-beton-verbund.html 27
Obrázek 12: Nosná konstrukce z CLT panelů, zdroj: https://www.klh.at/en/references/cirerers-building/ 28
Obrázek 13: Modulární buňka, zdroj: https://www.swisskrono.com/de-fr/products/wooden-building-materials/prefabricated-construction/swiss-krono-longboard-osb/applications-uses/#/31
Obrázek 14: Druhy konstrukčních systémů, zdroj: https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13651-druhy-konstrukcnich-casti 34
Obrázek 15: Odstupová vzdálenost – odstup od okna; odstup od stěny jakožto požárně otevřené plochy, zdroj: https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10625-hlediska-pozarni-bezpecnosti-pro-drevostavby-v-ceske-republice-2-dil..... 36
Obrázek 16: Odpadávání hořících částí konstrukcí druhu DP3, zdroj: https://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/10625-hlediska-pozarni-bezpecnosti-pro-drevostavby-v-ceske-republice-2-dil 37
Obrázek 17: HoHo Wien, zdroj: https://www.siga.swiss/be_de/referenzen/hoho-wien..... 44
Obrázek 18: Alpenhotel Ammerwald, zdroj: https://www.ammerwald.at/de/hotel..... 44
Obrázek 19:H8 v Bad Aiblingu, zdroj: https://informationsdienst-holz.de/index.php?id=66&tx_stores_pi1%5BlocationUid%5D=474&tx_stores_pi1%5Baction%5D=show 49
Obrázek 20: WoHo Berlin, zdroj: https://www.skyscrapercenter.com/building/woho/40366 .. 49
Obrázek 21: Woody, zdroj: https://www.getzner.com/en/case-studies/student-residence-udq-hamburg 50

21. Seznam tabulek:

Tabulka 1: Přehled tříd budov, zdroj: OIB 2 - přeloženo 41
Tabulka 2: Přehled tříd budov, zdroj: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/grundlagen/gebaeudeklassen-3134967 - přeloženo 45

22. Seznam použitých zdrojů:

[1] Pavlík: Sylaby přednášek Materiálové inženýrství, Stavební fakulta ČVUT Praha

[2] Co je dřevostavba a jaké jsou její druhy | Dřevostavby, časopis o bydlení – DřevoStavby. *Dřevostavby – Portál | Dřevostavby, časopis o bydlení – DřevoStavby* [online]. 2023 Kladenská 107, Praha 6 [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.drevoastavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/3006-co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/

[3] Gattermayerová: Sylaby přednášek Pozemní stavby 3C, Stavební fakulta ČVUT Praha

[4] Historie dřevostaveb v ČR (část 1/2) – Dřevostavby od pradávné historie do raného novověku konce 18. století | MeziStromy.cz. *Lesnicko-dřevařský vzdělávací portál* [online]. 2023. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.mezistromy.cz/drevostavby/historie-drevostaveb-v-cr-(cast-1)-drevostavby-od-pradavne-historie-do-raneho-novoveku-konce-18-stoleti

[5] ŠTEFKO, Jozef, Petr KUKLÍK a Ladislav REINPRECHT. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba. 2. české vyd*. Bratislava: JAGA MEDIA, 2006. ISBN 80-8076-043-8

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

[7] KOLB, Josef. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště, 3., aktualizované vydání*. Grada, 2011. ISBN 978-80-247-7115-1.

[8] KUKLÍK, CSC., doc. Ing Petr a Ing. arch. Anna GREGOROVÁ. Konstrukční systémy vícepodlažních dřevostaveb. *Stavebnictví*. 2023, **XVII**(01-02/2023), 22-27. ISSN 1802-2023.

[9] VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení*. Grada, 2008. ISBN 978-80-247-7014-7.

[10] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.

[11] NOVÁK, Ing. František. Domy s těžkým dřevěným skeletem. *Dřevařský magazín*. 2014, **XV**(11/2014), 36-39.

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

[13] NOVATOP SWP - Novatop. *Úvodní strana - Novatop* [online]. Dostupné z: https://novatop-swp.cz/produkt/novatop-swp/

[14] KUBŮ, Ing. Ladislav. Výběr dřevostavby podle technologie její výroby a montáže. *Časopis Stavebnictví* [online]. 2009 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vyber-drevostavby-podle-technologie-jeji-vyroby-a-montaze.html

[15] Modularita – KOMA MODULAR. *Specialista na modulární výstavbu. Dodáme modulární objekty takové, jaké chcete, aby byly. - KOMA MODULAR* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.koma-modular.cz/modularita

[16] BÍLEK, doc. Ing. Vladimír. Stagnace, nebo rozvoj dřevěného stavění a architektury? *Stavebnictví: speciál*. 2012, (02/12), 8-11.

[17] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5: STEP 1: navrhování a konstrukční materiály*. Vyd.1. Zlín: KODR, 1998. ISBN 80-238-2620-4.

[18] Spřažené dřevobetonové stropy – YouTube. *YouTube* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=Qy3G2ZRE1rQ&t=162s

[19] Balkone, eine Übersicht nach Art der Tragkonstruktion. *Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz*. 2022, **22**(86), 7.

[20] KUKLÍK, CSC., doc. Ing. Petr a Ing. Lukáš VELEBIL, PH.D. Vícepodlažní budovy z křížem vrstveného dřeva. *Stavebnictví*. 2018, **XII**(01-02/2018), 8 - 12.

[21] Modulová výstavba :: KOWA plus s.r.o.. *KOWA plus s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 17.05.2023]. Dostupné z: https://www.kowaplus.cz/ocelove-moduly/modulova-vystavba/

[22] Sujit Bhandari, Mariapaola Riggio, Sina Jahedi, Erica C. Fischer, Lech Muszynski, Zhixin Luo,A review of modular cross laminated timber construction: Implications for temporary housing in seismic areas,Journal of Building Engineering,Volume 63, Part A, 2023, 105485, ISSN 2352-7102, https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105485.

[23] POKORNÝ, Marek a Petr HEJTMÁNEK. *Požární bezpečnost staveb: sylabus pro praktickou výuku*. 3. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické v Praze, Česká technika-nakladatelství ČVUT, 2021. ISBN 978-80-01-06839-7.

[24] *Dřevěné domy v bytové výstavbě: (stavební kniha)*. Brno: Expo Data, 2002. ISBN 80-7293-048-6.

[25] HEJTMÁNEK, Ing. arch. Petr, Ing. Hana NAJMANOVÁ a Ing. Marek POKORNÝ, PH.D. Požární odolnost stavebních konstrukcí. *Www.tzb-info.cz* [online]. 2016 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/13655-pozarni-odolnost-stavebnich-konstrukci

[26] Co je stabilní hasicí zařízení? *Www.tzb-info.cz.* [online]. 2015 [cit. 17.05.2023]. Dostupné z: https://www.kowaplus.cz/ocelove-moduly/modulova-vystavba/

[27] HELLMUTH, Tomáš, Dana POTUŽNÍKOVÁ, Pavel JUNEK a Zdeněk FIALA. Obtěžování hlukem: zdravotní problém nebo akustický komfort? Hygiena [online]. 2016, 61(1), 33–35. ISSN 18026281, 18031056. Dostupné z: doi:10.21101/hygiena.a1439

[28] Feuchteschutz. *Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz*. 2022, **Fokus-Mehrgeschossiger-Holzbau**, 16.

[29] Drei Brandschutzexperten im Gespräch, Holz brennt überall gleich, und doch unterscheiden sich die nationalen Herangehensweisen. *Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz*. 2022, **77**, 14-16.

[30] RICHTLINIEN DES ÖSTERREICHISCHEN INSTITUTS FÜR BAUTECHNIK. OIB-Richtlinie 2: Brandschutz (Duben 2019). OIB-330.2-012/19

[31] RICHTLINIEN DES ÖSTERREICHISCHEN INSTITUTS FÜR BAUTECHNIK. Erläuternde Bemerkungen OIB-RL 2: Brandschutz (Duben 2019). OIB-330.2-016/19-004

[32] Architektur: In Wien entsteht das weltweit höchste Holzhaus - WELT. *WELT - Aktuelle Nachrichten, News, Hintergründe & Videos* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.welt.de/wissenschaft/article141680200/In-Wien-entsteht-das-weltweit-hoechste-Holzhaus.html

[33] HoHo next - bauXund forschung und beratung gmbh. *Home - bauXund forschung und beratung gmbh* [online]. [cit. 17.05.2023]. Dostupné z: https://bauxund.at/hoho-next-2/

[34] Brandschutz im HoHo Wien – HoHo Wien. *HoHo Wien – HoHo Wien steht für die ANDERE Gewerbefläche – für arbeiten, kaufen, konsumieren, mit Stil. Auf 24 Stockwerken erstrecken sich Gewerbeflächen für …* [online]. [cit. 18.05.2023]. Dostupné z: https://www.hoho-wien.at/brandschutz-im-hoho-wien/

[35] Musterbauordnung | Brandschutz | Glossar | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/glossar/m/musterbauordnung-3156031

[36] Gebäudeklassen | Brandschutz | Grundlagen | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/grundlagen/gebaeudeklassen-3134967

[37] Brandverhalten: Baustoffe nach europäischer Klassifizierung | Brandschutz | Baustoffe/Bauteile | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/baustoffe-bauteile/brandverhalten-baustoffe-nach-europaeischer-klassifizierung-3138895

[38] Baustoffklassen | Brandschutz | Grundlagen | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/grundlagen/baustoffklassen-3190153

[39] Brandverhalten: Baustoffe nach deutscher Klassifizierung | Brandschutz | Baustoffe/Bauteile | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/baustoffe-bauteile/brandverhalten-baustoffe-nach-deutscher-klassifizierung-3112695

[40] Feuerwiderstandsklassen | Brandschutz | Grundlagen | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/grundlagen/feuerwiderstandsklassen-3183147

[41] Hochhäuser | Brandschutz | Sonderbauten | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/fachwissen/sonderbauten/hochhaeuser-3154225

[42] Muster-Holzbaurichtlinie MHolzBauRL | Holz | Regelwerke | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/holz/fachwissen/regelwerke/muster-holzbaurichtlinie-mholzbaurl-6970262

[43] Achtgeschossiger Holzbau in Bad Aibling| Holz | Wohnbauten | Baunetz_Wissen. *Baunetz_Wissen* [online]. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.baunetzwissen.de/brandschutz/objekte/wohnbauten/achtgeschossiger-holzbau-in-bad-aibling-3158543

[44] Raumzellenbau, Brettsperrholz, tragend - proholz Austria. *Holzinformation - proholz Austria* [online]. [cit. 20.05.2023]. Dostupné z: https://www.proholz.at/zuschnitt/43/raumzellenbau-brettsperrholz-tragend

[45] WoHo Berlin wird Deutschlands höchstes Holzhaus - ubm magazin.. [online]. UBM Development AG [cit. 15.05.2023]. Dostupné z: https://www.ubm-development.com/magazin/woho-berlin/

[45] Hoch gestapelt: Studentenwohnheim aus Holzmodulen in Hamburg. [online]. 2023 DETAIL. Alle Rechte vorbehalten. [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://www.detail.de/de/de_de/hoch-gestapelt-studentenwohnheim-aus-holzmodulen-in-hamburg-31918

[46] Woodie - Modulares Wohnhaus für Studierende, D-21109 Hamburg | INFORMATIONSDIENST HOLZ. *Willkommen beim INFORMATIONSDIENST HOLZ* [online]. 2023Informationsdienst Holz [cit. 16.05.2023]. Dostupné z: https://informationsdienst-holz.de/index.php?id=66&tx_stores_pi1%5BlocationUid%5D=779&tx_stores_pi1%5Baction%5D=show