

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Modulární vícepodlažní dřevostavby

Modular multi-storey timber buildings

Vypracovala:

Šárka Bendová

Vedoucí práce:

doc. Ing. Petr Kuklík, CSc.

Praha 2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bendová Jméno: Šárka Osobní číslo: 477405
Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Modulární vícepodlažní dřevostavby

Název bakalářské práce anglicky: Modular multi-storey timber buildings

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce bude obsahovat State of the art problematiku modulárních vícepodlažních dřevostaveb. Specifikování klíčových problémů spojených s jejich realizací. Příklad možného provedení buňky pro modulární dřevostavby.

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

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

Datum zadání bakalářské práce: 15. 02. 2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 17. 05. 2021
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 nutně 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“.

15. 2. 2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou prací na téma Modulární 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 vypracovala pod odborným vedením vedoucího bakalářské práce pana doc. Ing. Petra Kuklíka, CSc.

V Praze dne 15. 5. 2021

Šárka Bendová

Poděkování:

Ráda bych poděkovala doc. Ing. Petru Kuklíkovi, CSc. za odborné vedení, pomoc a poskytnuté materiály při zpracování této práce. Dále také své rodině za hmotnou a duševní podporu při studiu.

Anotace

Práce se zabývá problematikou modulárních vícepodlažních dřevostaveb. Počáteční část práce se věnuje vymezení a definicím pojmů. V další části práce jsou vymezena a blíže charakterizována specifika modulárních vícepodlažních dřevostaveb, jejich výhody, nevýhody a provádění. Závěrečná, praktická, část se zabývá zjednodušeným návrhem konkrétního čtyřpodlažního bytového domu. Zaměřuje se na konstrukční systém, návrh skladeb konstrukcí, zatížení, návrh nosných prvků a řešení problematických partií návrhu.

Klíčová slova

modulární, vícepodlažní, dřevo, stavba, dřevostavba, lehký skelet, konstrukce

Annotation

The thesis deals with the issue of modular multi-storey timber buildings. The initial part of the thesis is devoted to the definitions of terms. In the next part of the thesis the specifics of modular multi-storey timber buildings, their advantages, disadvantages and implementation are defined and characterized in more detail. The final, practical, part deals with a simplified designing of a specific four-storey apartment building. It focuses on the construction system, designing of the building shell, loads, designing of the load-bearing elements and solution of problematic parts of the design.

Key words

modular, multi-storey, timber, building, timber building, light frame, construction

Obsah

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 8 |
| 1. Vymezení pojmů | 9 |
| 1.1. Modulární buňka | 9 |
| 1.2. Modulární výstavba | 9 |
| 1.3. Vícepodlažní stavba..... | 10 |
| 1.4. Dřevostavba..... | 10 |
| 1.5. Křížem vrstvené dřevo | 10 |
| 1.6. Lehký skelet..... | 11 |
| 1.7. Těžký skelet..... | 12 |
| 2. Modulární stavby..... | 13 |
| 2.1. Historie..... | 13 |
| 2.1.1 Do roku 1960..... | 13 |
| 2.1.2 1960 až 1990..... | 13 |
| 2.1.3 1990 až současnost..... | 14 |
| 2.2. Navrhování vícepodlažních modulárních staveb..... | 15 |
| 2.2.1 Výběr konstrukčního systému modulů..... | 15 |
| 2.2.2 Typy konstrukcí modulárních staveb | 16 |
| 2.2.3 Kompletační konstrukce | 16 |
| 2.2.4 Řešení předsazených konstrukcí..... | 17 |
| 2.2.5 Technická zařízení budovy | 18 |
| 2.2.6 Nepřesnosti a nedokonalosti | 18 |
| 2.2.7 Vliv 2. řádu | 19 |
| 2.2.8 Požární bezpečnost..... | 19 |
| 2.2.9 Robustnost | 20 |
| 2.2.10 Řešení přepravy..... | 22 |
| 2.2.11 Montáž | 23 |
| 2.3. Výhody | 24 |
| 2.4. Nevýhody..... | 25 |
| 2.5. Použití | 26 |
| 3. Provedení modulárních staveb | 27 |
| 3.1. Tuzemské zpracování..... | 27 |
| 3.2. Zahraniční zpracování..... | 27 |
| 3.2.1 Rakousko | 27 |
| 3.2.2 Německo | 28 |
| 3.2.3 Norsko | 29 |
| 3.2.4 Finsko..... | 29 |
| 3.2.5 Francie | 30 |
| 3.2.6 Švýcarsko..... | 30 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2.7 | Velká Británie | 32 |
| 4. | Praktický příklad..... | 34 |
| 4.1. | Úvod řešeného objektu | 34 |
| 4.2. | Konstrukční systém..... | 34 |
| 4.3. | Návrh skladeb | 35 |
| 4.3.1 | Skladba střešního pláště | 36 |
| 4.3.2 | Skladba obvodového pláště (S1)..... | 36 |
| 4.3.3 | Skladba podlahy (S2) | 37 |
| 4.3.4 | Skladba podhledu (strop modulu – S3) | 38 |
| 4.4. | Materiály | 40 |
| 4.4.1 | Dřevo..... | 40 |
| 4.4.2 | Železobeton..... | 40 |
| 4.5. | Součinitelé | 40 |
| 4.6. | Zatížení | 41 |
| 4.6.1 | Stálé zatížení – vlastní tíha | 41 |
| 4.6.2 | Stálé zatížení – podlaha | 41 |
| 4.6.3 | Stálé zatížení – střešní plášť | 41 |
| 4.6.4 | Stálé zatížení – podhled | 42 |
| 4.6.5 | Stálé zatížení – obvodový plášť..... | 42 |
| 4.6.6 | Proměnné zatížení – užitné..... | 42 |
| 4.6.7 | Proměnné zatížení – sníh..... | 42 |
| 4.6.8 | Proměnné zatížení – vítr | 44 |
| 4.7. | Provedení modulární buňky | 49 |
| 4.8. | Návrh prvků..... | 50 |
| 4.8.1 | Nosná konstrukce podhledu – fošny..... | 50 |
| 4.8.2 | Nosná stropní konstrukce | 52 |
| 4.8.3 | Sloupek | 54 |
| 4.8.4 | Práh v nejnižším podlaží | 56 |
| 4.8.5 | Výztužná stěna | 56 |
| 4.8.6 | Přípoj pláště ke sloupku | 58 |
| 4.9. | Návrhy řešení..... | 59 |
| 4.9.1 | Propojení modulárních buněk..... | 59 |
| 4.9.2 | Napojení buňky na základ | 62 |
| 4.9.3 | Sloupky – vzpěr | 62 |
| 4.9.4 | Řešení tlaku kolmo k vláknům | 63 |
| | Závěr..... | 65 |
| | Seznam obrázků | 66 |
| | Seznam příloh | 67 |
| | Seznam tabulek | 68 |
| | Reference..... | 69 |

Úvod

Modulární výstavba je vcelku zažitý pojem, pod kterým si každý dokáže představit něco jiného. O co se tedy jedná? I to je jedna z otázek, kterou bych chtěla na dalších stránkách zodpovědět.

Celkově svou práci dělím na 2 části – první obsahuje State of Art problematiku modulárních vícepodlažních dřevostaveb. V ní se věnuji objasnění některých pojmů souvisejících s tématem, historii modulárních staveb, volbě postupu při navrhování těchto staveb a možným úskalím, která obnáší jejich navrhování. V závěru této části zmiňuji pár společností, které se věnují modulárním vícepodlažním dřevostavbám, z České republiky i ze zahraničí.

V druhé části se zaměřuji na samotný zjednodušený návrh čtyřpodlažního objektu. Navrhuji skladby konstrukcí, počítám zatížení a provádím návrh a posouzení vybraných částí modulární buňky. Na konci druhé části navrhuji řešení problémů, které se během navrhování modulu vyskytují.

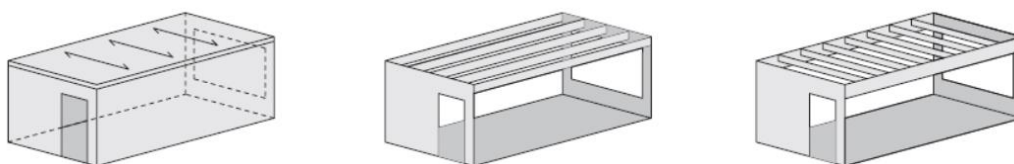
Hlavní cíl své práce vidím v podání zajímavých informací ve shrnuté formě. Pokouším se o to, aby v ní případný čtenář našel důležité informace o modulárních vícepodlažních dřevostavbách na jednom místě a nemusel složitě a sáhodlouze hledat ve velkém množství zdrojů, které jsou často cizojazyčné.

1. Vymezení pojmů

1.1. Modulární buňka

Modulární buňka, jiným názvem modul, je hlavním prvkem modulární stavby. Běžně je vysoký podle výšky podlaží, přibližně 3 metry. Zpravidla má tvar kvádru, půdorys zaujímá tvar obdélníku. Jednotlivé plochy modulu mohou být odejmuty ke zlepšení vnitřní dispozice, například spojení dvou buněk a odstranění stěn, které se dotýkají. Tato funkce umožňuje poměrně vysokou variabilitu sestavení. Nutno však podotknout, že odstraňování stěn jde neodmyslitelně ruku v ruce se snižováním tuhosti. Při transportu je třeba modul dostatečně ztužit, aby nedošlo k jeho poškození.

Odstraňování stěn ovlivňuje i směr pnutí stropu. Pokud jsou odstraněny podélné stěny, strop je potom pnut v podélném směru, nebo, jestliže upřednostňujeme pnutí v příčném směru, musí být nad chybějícími stěnami zřízeny průvlaky, které zatížení efektivně přenesou do příčných stěn. [1]



Obr. 1: Příklad pnutí stropní konstrukce při odstranění podélných stěn [1]

1.2. Modulární výstavba

Modulární výstavba využívá možnosti prefabrikace modulárních buněk ve výrobě. Následně se jednotlivé moduly převezou na místo stavby a tam jsou spojeny v celek. Díky tomu dojde ke snížení doby výstavby a tím k celkovému zrychlení procesu stavby. Ve výrobě dochází k vyšší kontrole kvality, proto se na stavbu nedostanou nevyhovující moduly. To vede k vyššímu standardu, než kdyby byla stavba zhotovována na místě. [2]

1.3. Vícepodlažní stavba

Jak už název napovídá, jedná se o budovu se dvěma a více podlažími. Se vzrůstající výškou stoupá i vliv vodorovných zatížení. Podstatnou částí návrhu je určení důsledků zatížení větrem a návrh ztužujících konstrukcí.

Co se týká vícepodlažních staveb na bázi dřeva, dosud nejvyšší je budova Mjøstårnet v Norsku. Slavnostně otevřena byla v březnu 2019 s výškou 85,4 m. Objekt čítá 18 podlaží, využívá vlastností lepeného lamelového dřeva. [3]

1.4. Dřevostavba

Dřevostavba neboli stavba na bázi dřeva je typ stavby, kde se vyskytuje dřevo jako stavební materiál. Nemusí se jednat pouze o konstrukční prvky, široké uplatnění se najde i pro tepelné izolace. Dřevěné prvky nemusí být přiznané, nemusí být ani patrné, že je stavba obsahuje. Nejběžnějšími stavbami na bázi dřeva jsou lehké a těžké dřevěné skelety, sendvičové panely, panely z vrstveného masivního dřeva a v neposlední řadě sruby a roubenky. [4]

1.5. Křížem vrstvené dřevo

Pojem vznikl překladem z anglického cross-laminated timber, zkratka CLT. Jde o výrobek na bázi dřeva z vrstev příčných a podélných prken slepených, někdy sbitých, dohromady. Od této definice lze odvodit samotný termín křížem vrstvené dřevo – prkna jsou na sebe vrstvena křížem. Je možné ho použít jako nosný konstrukční prvek. V podélném směru jsou na sebe prkna napojována pomocí zubovitých spojů. V našich podmínkách se setkáme s CLT panely ze dřeva třídy pevnosti C24. [5]

V naprosté většině se CLT panel skládá z lichého počtu vrstev prken tak, aby na vnějších površích byla prkna orientována vertikálně v případě stěny a ve směru rozpětí v případě stropu. Vynikají svou vysokou tuhostí a tvarovou stálostí. Panely jsou vhodné i pro aplikaci pro vícepodlažní dřevostavby. Maximální rozměry panelů jsou dány výrobou a přepravou. Obvyklé maximální rozměry panelu jsou 3 a 16 m. Větší z rozměrů však naráží na podmínku bezproblémové přepravy, proto se volí šířky menší.

Použití je možné jako stěny a střešní a stropní panely. Vždy je třeba také zvážit poměr užitého množství materiálu a únosnosti. [6]

1.6. Lehký skelet

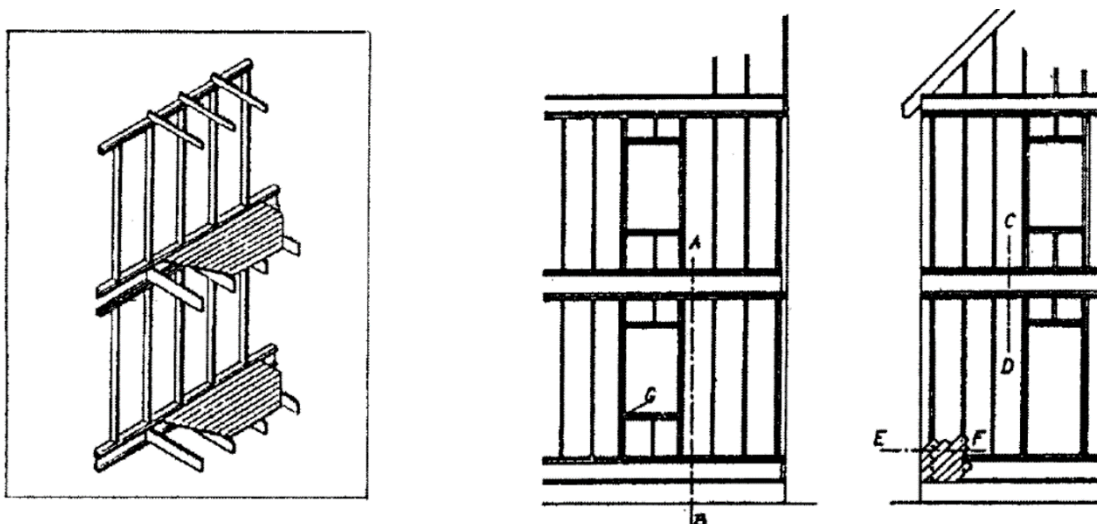
Jedná se o konstrukční systém tvořený převážně fošnami a prkny. Rozteče sloupků jsou poměrně malé, obvykle 625 mm. Obecně rozlišujeme 3 typy lehkého skeletu – Platform frame, Balloon frame a modifikovaný Balloon frame.

Platform frame je v současné době nejběžnějším typem lehkého skeletu používaného pro jednopodlažní i vícepodlažní stavby. Každé podlaží je tvořeno díly, které jsou poskládány na sebe. Tento systém je vhodný pro tvorbu modulů.

Balloon frame má sloupky na celou výšku budovy, od soklu po okap. Jednoduchý průvlak, který je za sloupky průběžný, tvoří patrový práh. Průvlak podporuje stropnice, k zajištění vzpěrné únosnosti sloupků je užito ztužení, které zmenší vzpěrnou délku.

Posledním typem je modifikovaný Balloon frame, který má sloupky rozdělené vždy v místě patrového prahu. Ve většině případů je sloupek v rohu průběžný z vyskládaných fošen nebo hranolů, stejně tak patrový práh. V konstrukci je užito ztužidel umístěných ve stěnách.

Důležitým bodem návrhu lehkého skeletu je jeho prostorová tuhost. Zajistí se ztužením stěn a stropů. Ztužení stropů zajistíme vzájemným ztužením stropnic. Jejich rozměr volíme tak, abychom zajistili stabilitu, tedy poměr tloušťky ku šířce by měl být menší než 1:6. Stěny je třeba ztužit, jelikož sloupky samy o sobě nejsou schopny efektivně přenést zatížení větrem. Jejich napojení na patrové prahy není realizováno jako spoj přenášející momentové zatížení. Použití výztužné stěny slouží k zajištění tuhosti nejen v podélném, ale i příčném směru. Obvyklé jsou zděné, betonové a dřevěné stěny, které jsou složeny z dřevěného pláště a rámu z fošen nebo prken.



Obr. 2: Příklad lehkého skeletu – Platform frame [7]

1.7. Těžký skelet

Prvky, které tvoří tento prostorový konstrukční systém, jsou z lepeného lamelového dřeva, hraněného řeziva, vrstveného dřeva a dalších materiálů. Systém je modulový o běžných rozměrech 4,8x4,8 m, 3,6x3,6 m, 1,25x1,25 m a 1,2x1,2 m. Rozlišujeme několik variant systému těžkého skeletu. Jejich odlišnosti jsou v propojení vertikálních a horizontálních prvků. 1. varianta obsahuje jednodílné sloupy a průvlaky, 2. varianta jsou jednodílné sloupy a dvoudílné průvlaky, 3. varianta dvoudílné sloupy a jednodílné průvlaky. Dvoudílný prvek je myšlen tím způsobem, že je podélně rozdělen na dvě části.

Stejně jako u lehkých skeletů je nutné příčné a podélné ztužení u těžkých skeletů. U těžkých skeletů hraje podstatnou roli tuhost stropní konstrukce. Stropnice ukládáme tak, že v polích mezi průvlaky střídáme směr uložení. Často též doplňujeme zavětrováním ve stropní rovině. Tuhost stropní roviny zásadně ovlivňuje návrh stěnových ztužidel.

Materiál ztužujících stěn je stejný jako u lehkých skeletů – beton, zdivo, dřevo. Je také možné použít klasické úhlopříčné ztužení. Důraz musí být kladen na správné určení vzpěrné délky sloupů.

Výhodou těchto systémů je vysoká míra variability dispozičního řešení, hlavní nevýhodou je náročnost navrhování konstrukčních detailů. [7]

2. Modulární stavby

2.1. Historie

2.1.1 Do roku 1960

Počátky modulárních staveb se datují na konec 19. století, respektive konec průmyslové revoluce. V tomto období hrálo dřevo podřadnou roli. Hlavními materiály, u kterých se udál rozvoj v prefabrikaci, byly ocel a železobeton. V roce 1896 byla vytvořena první železobetonová buňka, která byla sériově vyráběna francouzskou firmou Hennebique. Rozvoj modulárních staveb pokračoval i v 1. polovině 20. století, avšak bez větších pokroků. Především se jednalo o modulární stavby tvořené pouze jednou modulární buňkou.

2.1.2 1960 až 1990

Ve 2. polovině 20. století došlo k masivnímu rozvoji buněk pro modulární stavby. Jednalo se o často zmiňované téma na akademické půdě, buňky byly zkoumány a zkoušeny.

Ve Spojených státech amerických byl nejčastěji používán železobeton pro výškové budovy, ale můžeme si povšimnout i užití dřeva na tzv. Mobilhousy neboli modulové domy. Tyto domy vynikají svou jednoduchostí, rychlostí výstavby, poměrně nízkou cenou a možností přesunu na jiné místo dle přání majitele. Skládají se povětšinou z jedné jediné buňky.

Kromě USA započalo zkoumání železobetonových modulárních buněk i v Sovětském svazu. V SSSR se zaměřili hlavně na porovnání prefabrikovaných a monolitických staveb.

Rozvoje modulárních staveb si můžeme všimnout také v centrální Evropě, konkrétně ve Švýcarsku, kde byl vynalezen systém modulárních buněk, které bylo možné poskládat ve svislém i vodorovném směru. Byly používány na budovy všeho typu – obytné, komerční, administrativní a pro občanskou vybavenost.

Další zemí, ve které byl zaznamenán určitý pokrok, bylo Japonsko. Snaha o použití modulárních staveb zde vzešla z názoru tehdejší doby – budovy velkého měřítka s futuristickými prvky. Povětšinou se budova skládala ze

železobetonového jádra, které bylo obestavěno buňkami tvořenými ocelovými rámy s plastovými obalovými konstrukcemi.

V návaznosti na výskyt plastových obalových konstrukcí je nutno zmínit, že byla též snaha o čistě plastové modulární buňky. Velikost staveb z plastových modulárních buněk je limitována hlavně materiálovými vlastnostmi plastu, jako je únosnost a požární odolnost. Tvořily se tím pádem jen jednopodlažní budovy, které můžeme znát například jako typické sanitární buňky.

Na začátku 70. let 20. století se v Německu objevily dřevěné modulární buňky, omezené na jednopodlažní užití. Realizovány byly stavby dočasné i trvalé, standardní rozměry byly tvořeny násobky 3 metrů. Byly tvořeny skeletovým systémem z lepeného lamelového dřeva. Z důvodu jednodušší dopravy byly navrhovány i složitelné modulární buňky.

O deset let později byly modulární dřevostavby na ústupu z důvodu nižší poptávky. Ta byla zapříčiněna obecně nižším růstem ve stavebnictví. Také se musela prefabrikace vyrovnat s problémem, který souvisel s jejich vzhledem, který byl mnohdy jednotvárný a neosobní.

2.1.3 1990 až současnost



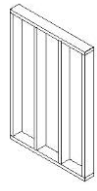


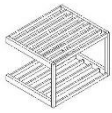
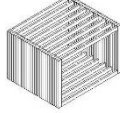




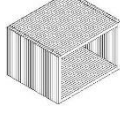

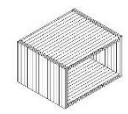


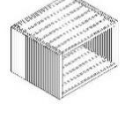
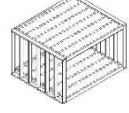
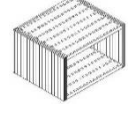

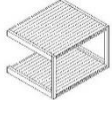
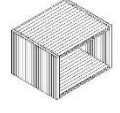

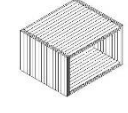
V 90. letech došlo k rozvoji vícepodlažních dřevostaveb. Průkopníky v tomto oboru byly Vorarlbersko, Štýrsko (Rakousko) a Švýcarsko. Zprvu bylo užito lehkých skeletových systémů rámových konstrukcí. Užití CLT bylo umožněno až na sklonku 20. století. V Mnichově byla rozvíjena rámová konstrukce dvoupodlažního rodinného domu, jehož návrh byl umožněn zejména nízkými nároky na akustické vlastnosti a požární bezpečnost.

V současnosti jsou modulární dřevostavby používány pro rodinné bydlení, hotely, školy a administrativní budovy. Není výjimkou, že mají více, než 6 podlaží. Je využíváno předností dřeva a tam, kde nám vlastnosti dřeva nestačí, je nahrazeno železobetonem, ocelí nebo jiným materiálem. [1]

2.2. Navrhování vícepodlažních modulárních staveb

2.2.1 Výběr konstrukčního systému modulů

Jednou z prvních věcí, které je třeba rozhodnout na začátku návrhu, je struktura modulární buňky. Vybrat si můžeme z mnoha konstrukčních systémů, z nichž nejpodstatnější jsou hraněné řezivo, lamelovaná deska, rámová dřevěná konstrukce a křížem vrstvené dřevo. Všechny čtyři typy je možné užít jak pro svislé, tak pro vodorovné konstrukce. Nevylučují se kombinace typů ani kombinace s ocelovými prvky. V Tabulce 1 uvádím pro ilustraci možnosti sestavení modulární buňky. Sloupec vlevo značí vodorovné prvky, druhý řádek tabulky naopak svislé prvky.

| | | sloupky (trámy) | lamelovaná deska | rámová konstrukce | CLT |
|-----------------|---|---|---|--|---|
| Prvek svislý | Prvek vodorovný |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| Prvek svislý |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |
| |  |  |  |  |  |

Tabulka 1: Kombinace konstrukčních systémů modulu [1]

Výběr konstrukčního systému není ničím předem daný, závisí na konkrétním projektu. Kritéria výběru jsou statická a estetická. Zajímá nás, jestli se prvek hodí pro velká rozpětí, jestli se jedná o přiznaný dřevěný prvek nebo jestli vyžaduje zapouzdření. V oblasti svislých konstrukčních prvků vynikají dřevěné sloupky na

vysoká zatížení a jako příznaný prvek. Křížem vrstvené dřevo vyniká v přenášení velkých zatížení i jako příznaný prvek. Jako vodorovné prvky vynikají trámy pro velké rozpony, lamelovaná deska pro vyšší světlou výšku a jako příznaný prvek a křížem vrstvené dřevo jako příznaný prvek. [1]

2.2.2 Typy konstrukcí modulárních staveb

Existují 3 základní typy konstrukčního systému modulárních staveb:

- moduly podporované v rozích
- průběžně podporované moduly
- nenosné moduly

Moduly podpořené v rozích jsou nosné a navrženy k překlenutí prostoru mezi podporami v rozích pomocí okrajových nosníků a rohových sloupků. Průběžně podporované moduly obsahují nosné boční stěny. Nenosné moduly jsou vkládány do skeletového systému, železobetonového nebo ocelového.

Další možností dělení je dle způsobu podepření. Způsob samonosných modulů spočívá v tom, že jsou moduly navrhovány způsobem, který zajišťuje jejich vlastní pevnost a stabilitu. Zajištění odolnosti proti vodorovnému zatížení je dosaženo ztužidly nebo smykovými stěnami. Princip „*police na knihy*“ využívá přídatné konstrukce k zajištění horizontální tuhosti, jako je například železobetonové jádro. [5]

2.2.3 Kompletační konstrukce

V této kapitole bych se chtěla věnovat řešení obvodové stěny, střechy a základové konstrukce.

Obvykle je stěna modulu přilehlá k exteriéru nenosná. Může být navržena jako lehký skelet, který bude vyplněn izolantem, nebo stěna z CLT, na kterou bude přidána extra vrstva izolantu. Pokud je ovšem stěna přilehlá k exteriéru nosná, narůstá nám tloušťka. Skladbu stěny také ovlivňují požární požadavky. Existuje mnoho způsobů pro řešení vertikálního i horizontálního přechodu mezi dvěma modulárními buňkami. Závisí na způsobu provedení buněk, zda jsou na ně izolační desky přidávány už ve výrobě nebo až na stavbě. Přechod může být příznaný, s barevně odlišnými klempířskými prvky, nebo dokonale skrytý. Volba

závisí především na architektovi, ale vždy musíme dbát na to, aby v místě přechodu nevznikl tepelný most.

V principu je konstrukce modulárních buněk vhodná pro všechny typy střech – plochých i šikmých. Pro šikmé střechy se objevuje také možnost použití speciálních modulů, které budou mít stropní konstrukci ve sklonu. Běžnější jsou střechy ploché. Jejich skladba obsahuje parozábranu, tepelnou izolaci, hydroizolaci a další vrstvy, jako je kačírek, travní pásy a podobně. Střechy se obvykle provádějí přímo na stavbě, nepřipravují se ve výrobě, protože je jejich zhotovení na stavbě rychlejší, přesnější a dosahuje vyšší kvality provedení detailů. V místech styků modulů není třeba zhotovovat speciální spojení, poněvadž jsou pohyby modulů minimální a materiály střešního pláště jsou schopny je zachytit.

Stejně jako u střech máme více možností provedení i pro spodní stavbu. Jestliže přízemní podlaží chceme využít na speciální účel, například pro komerci, nebo chceme suterén, většinou se toto podlaží provádí v železobetonu. Když nepožadujeme ani jednu z těchto možností, máme příležitost využít různých jiných způsobů. Jedním z nich je oddělit konstrukci modulů od terénu. K tomuto účelu se využívají buď železobetonové sloupové, nebo šroubové základy. Moduly jsou od provětrávané mezery odizolovány tepelnou izolací. Jinou možností je usazení dřevěných modulů na desku z železobetonu. Deska chrání moduly proti vlhkosti. Tepelnou izolaci je možno umístit mezi moduly a desku nebo mezi desku a zeminu.

2.2.4 Řešení předsazených konstrukcí

V modulární výstavbě převládají oddělené a konstrukčně nezávislé balkony a lodžie. Nejběžnějším řešením je předsazená konstrukce s vlastními základy, která je na hlavní konstrukci napojena jen kvůli přesnému umístění. Další možností je zavěšení za konstrukci střechy, které se dá využít, jestliže pod balkony chceme mít volnou dispozici bez sloupů. Lodžie mohou být vytvořeny vložením kratšího modulu mezi delší ve svislém směru, moduly ale musí být schopny přenést tento způsob zatížení.

2.2.5 Technická zařízení budovy

Tvorbu modulů ve výrobě můžeme vnímat jako velkou výhodu. Moduly jsou na stavbu dodávány s již zabudovanými rozvody, stejně jako s ostatním vybavením. V podlaze je předem použité podlahové vytápění, v podhledu jsou umístěná například vzduchotechnická potrubí. Pro vedení vodovodního a kanalizačního potrubí je více než vhodné vytvořit v buňce předstěnu, ve které může dojít k umístění těchto prvků.

Šachty je nutno předem detailně promyslet, roli hraje i protipožární hledisko. Uvádějí se 2 typy šachet. První je průběžná šachta, která je požárně oddělená svisle. Druhým typem je členěná šachta, kde je požární oddělení umístěno horizontálně mezi modulárními buňkami. Šachta může být umístěna přímo v modulu nebo mimo něj. Jestliže je mimo modul, jedná se o výhodnější umístění. Nemusíme tím pádem řešit prostupy moduly a údržba šachet je jednodušší. [1]

2.2.6 Nepřesnosti a nedokonalosti

Výsledná tolerance modulárních staveb je dána součtem dvou typů odchylek, při výrobě v továrně a při nepřesné montáži na stavbě. Pro samotné moduly se limitní odchylka udává jako $h/1000$.

Odchytkám při instalaci modulů na stavbě se dá předcházet užitím laserového vybavení. Umožňuje zamezení vzniku hromadných odchylek, které by se postupně nasčítaly. Jako příklad uvedu – jestliže máme na každém patře odchylku 10 mm a odchylka směřuje vždy stejným směrem, u šestého patra budeme mít odchylku 60 mm, což již není zanedbatelná hodnota. Ke korigování odchylek je možné využívat mezer mezi jednotlivými modulárními buňkami. Výšková tolerance není uvažována, poněvadž podstatně neovlivňuje chování konstrukce.

Nepřesnou výrobou a instalací způsobené výstřednosti mohou vyvodit přídatná vodorovná zatížení. Protože stěny modulu nejsou schopny přenášet momentová zatížení, je zatížení přenášeno smykovými silami ve stropní konstrukci.

2.2.7 Vliv 2. řádu

Vliv 2. řádu je zaměřený na výpočet konstrukce po deformaci. Odchyly, které jsou vyvolány nepřesnostmi a nedokonalostmi, způsobují, že je konstrukce náchylnější na zatížení větrem. Zatížení větrem způsobuje vodorovné posuny, které se zvětšují se zvyšováním stavby. Vlivem vodorovného posunu dojde ke změně pozice těžiště, to následně vyvolá přídatný moment, kde ramenem je právě odchylka od původní polohy těžiště. V krajních případech, kdy byl při výpočtu vliv 2. řádu zanedbán, může dojít až ke kolapsu budovy. Ve většině případů se jedná o vliv zanedbatelný. Je ale třeba určit, jestli je nebo není zanedbatelný.

Ke zjištění náchylnosti konstrukce k efektu 2. řádu se používá výpočet Eulerova kritického břemena. K této metodě je třeba dobrá znalost působení nosných prvků a jejich smykové a ohybové tuhosti. Hlavními složkami 2. řádu jsou ohybové a smykové namáhání budovy a pootočení základové konstrukce. [5]

2.2.8 Požární bezpečnost

Vzhledem k tomu, že se dřevo uvažuje jako hořlavý materiál, může být požární výška objektu, který má čistě dřevěný konstrukční systém (DP3), menší nebo rovna 12 m. Pro rozmezí 9 až 12 metrů musí být navržena chráněná úniková cesta z druhu konstrukčního systému DP1. Při užití kombinovaného konstrukčního systému, jako je například systém dřevěných trámů s výplní z minerální izolace a se sádrokartonovým obkladem, můžeme docílit zvýšení až na 22,5 m. Bohužel pro toto zvýšení budeme muset nahradit svislé nosné konstrukce druhem DP1. Vyšší stavby s konstrukčním systémem na bázi dřeva nejsou v českých podmínkách z požárního hlediska možné. Jinde ve světě je možné se setkat s vyššími stavbami, u nás však ještě nedošlo k rozhodnutí vydat se s konstrukčními systémy na bázi dřeva výše, nad 22,5 m. Možná se jednou dočkáme změny v přístupu ke dřevu z hlediska požáru. [8]

Desky na bázi dřeva a dřevo pro konstrukční využití řadíme do třídy reakce na oheň D, tj. hořlavé výrobky. Navzdory tomuto zařazení vykazuje velmi dobré chování při požáru, protože dojde na jeho povrchu k zuhelnatění dřevních buněk. Vytvoří se na něm vrstva, která ho chrání vůči požáru. Tento jev se děje u všech

dřevěných konstrukcí, je tím pádem předvídatelný, při požáru ho můžeme s jistotou očekávat. [7]

Nyní bych chtěla popsat zajištění požární odolnosti modulové buňky. Každá má svou nosnou stropní i podlahovou konstrukci. V případě nosné konstrukce podlahy zpravidla používáme zakrytí nehořlavými vrstvami skladby podlahy. Zespodu je konstrukce podlahy chráněna konstrukcí stropu buňky pod námi řešenou modulovou buňkou. Problém nastává u konstrukce stropu, který je zespodu přímo vystaven požárů. Jako opatření můžeme použít nehořlavý podhled nebo protipožární nátěr. Správné vyřešení tohoto problému vede ke zvýšení požární odolnosti a kouřotěsnosti mezi moduly.

Výstavba pomocí modulů nevyžaduje speciální opatření z hlediska požární bezpečnosti. Musí vždy splňovat nastavené standardy a nařízení. I když strop modulární buňky primárně neslouží pro přenos svislých zatížení, může sloužit ke ztužení budovy a tím se z něj stává nosná konstrukce. Navíc musí být schopen zajistit bezpečnou evakuaci osob z hořícího objektu, aniž by se propadl. [1]

Navrhování dřevěných konstrukcí na účinky požáru se uskutečňuje pomocí dvou metod. Metodou redukovaného průřezu, kde vypočítáme účinný průřez pomocí hloubky zuhelnatění a následně únosnost prvku s účinným průřezem. Hloubka zuhelnatění se vypočítá pomocí rychlosti zuhelnatění dřeva, požadované doby požární odolnosti, součinitele chráněného povrchu a d_0 , které je 7 mm. Další metodou je metoda redukovaných vlastností, která využívá vlastnosti zbytkového průřezu. [9]

2.2.9 Robustnost

Robustnost je definována v Eurokódu jako „*schopnost konstrukce odolat nepříznivým vlivům, jako požár, výbuch, náraz nebo následek lidské chyby, aniž by tím nastalo porušení nepřiměřené původní příčiny*“. S rostoucí podlažností je mnohem více důležité stavby navrhovat robustní, abychom zajistili bezpečné přenesení mimořádného zatížení. Snažíme se navrhovat stavby tak, aby při kolapsu části nezkolabovala celá budova neboli aby nedošlo k progresivnímu kolapsu. Eurokód nám pomáhá stavby rozdělit do tříd následků a dále doporučuje dle těchto tříd následků konkrétní strategie. [10]

| Třída následků CC | Příklady kategorizace podle typů pozemních staveb a jejich používání | Doporučené strategie |
|------------------------------------|--|--|
| 1 malá | <ul style="list-style-type: none"> • obytné domy do 4 podlaží • zemědělské stavby • stavby s občasným výskytem osob | Nejsou třeba další speciální opatření. |
| 2a střední – menší riziko | <ul style="list-style-type: none"> • obytné domy o 5 podlažích • hotely, rezidenční budovy, administrativní budovy do 4 podlaží • průmyslové stavby a obchodní plochy do 3 podlaží • školy o 1 podlaží • veškeré budovy nepřesahující 2 podlaží s povoleným vstupem veřejnosti; plocha podlaží max. 2 000 m² | Provedení účinných vodorovných vazeb nebo účinné kotvení zavěšených stropů ke stěnám. |
| 2b střední – větší riziko | <ul style="list-style-type: none"> • hotely, budovy s byty, apartmány, obchodní plochy, administrativní budovy o 5-15 podlažích • školy o 2-15 podlažích • nemocnice do 3 podlaží • veškeré budovy o 5-15 podlažích s povoleným vstupem veřejnosti; plocha podlaží max. 5 000 m² • parkoviště do 6 podlaží | Vodorovné vazby pro rámové konstrukce a nosné stěny společně se svislými vazbami ve všech podpěrných sloupech a stěnách nebo ověření stability při lokálním poškození. |
| 3 velká | <ul style="list-style-type: none"> • stavby, kde se shromažďuje značný počet osob • stavby s nebezpečnými látkami a technologickými procesy • ostatní stavby, co nespádají do 1, 2a nebo 2b | Systematické hodnocení rizik při uvážení předvídatelných i nepředvídatelných nebezpečí. |

Tabulka 2: Kategorizace podle tříd následků a doporučené strategie [10]

Abychom vyhověli všem požadavkům na robustnost, existují 3 možné přístupy, kterými jí můžeme dosáhnout. Jsou jimi:

- síla v táhle
- zaměření se na klíčový prvek
- stanovení místa poškození

Při metodě síly v táhle se snažíme o propojování se sousedními prvky. Je třeba, aby byly okolní prvky schopny přenést zatížení od poškozeného prvku. Důležitým bodem je v tomto případě dostatečná možnost prvků plasticky se deformovat. Metoda klíčového prvku je zaměřena na simulaci mimořádného zatížení na nejdůležitější nosný prvek. Metoda stanovení místa poškození využívá pomyslného odejmutí modulu z celku.

Pokud jde o samotné moduly, jsou navrhovány jako robustní z důvodu transportu a přepravy. Nejvhodnější způsob pro dosažení robustnosti je kombinace síly v táhle a stanovení místa poškození. Odstraníme prvek a dále sledujeme průběh tahových sil v okolních prvcích. Obvykle se odejímá vnitřní nebo krajní modulární buňka. Při odstranění vnitřního modulu se okolí chová jako prostý nosník, při odstranění vnějšího se prvky musí chovat jako konzola. Druhé zmíněné je horší v tom smyslu, že vznikají mnohem větší vnitřní síly. Při výpočtu je vhodné uvažovat i podpoření okolními prvky. Jednotlivé moduly se snažíme propojovat ve svislém i vodorovném směru. [5]

2.2.10 Řešení přepravy

Neopominutelným faktorem při navrhování modulárních staveb je promyšlení transportu na místo stavby, stejně jako zvedání a přemísťování. V České republice je velikost vozidla na pozemní komunikaci, které přepravuje náklad, omezena šířkou 2,55 m, výškou 4 m, délkou 16,5 m a hmotností 48 t. U hmotnosti se musí brát vždy v potaz rozložení zatížení na nápravy. Pro transport modulárních buněk je tedy nejvíce omezující šířka, která je pro moduly běžně 3 m. Při přepravě musí být tím pádem zařízeno speciální povolení pro nadměrné a nadrozměrné náklady. Jedním z možných řešení je i převoz částečně složených modulů, tj. skládacích nebo určitým způsobem rozložitelných. [11] [12]

Pro běžné bytové stavby nejsme omezeni přepravní výškou. Pokud chceme moduly použít na výstavbu budov, které si žádají vyšší světlé výšky, jako jsou třeba školy, začíná hrát výška podstatnou roli. Přepravní trasa musí být detailně prozkoumána, podjezdové výšky musí být ověřeny. Podobně je to s hmotností modulu. Je třeba ověřit, zda jsou schopny silnice zvládnout tlak náprav. Nesmíme zapomenout též na mosty, které taky musí být schopny přenést zatížení. [1]

Pro zdvihání modulů existuje mnoho způsobů. Mohou být zvedány lany zachycenými o rohy nebo hrany modulu s možným použitím vahadla. Abychom se vyhnuli vzniku příčných tahů v modulární buňce, minimalizovali vnitřní síly a zajistili dokonalé rozprostření zatížení, je vhodné použít vahadlo. Tento způsob zdvihání by měl být použit jak při transportu ve výrobě, tak na stavbě. Obvykle se moduly zdvihají přímo z nákladního vozidla a rovnou se umísťují na dané místo.

K návrhu uchycovacích bodů je vhodné znát hmotnost modulu, dynamická zatížení a úhel mezi lanem a modulem. Vnitřní sílu v kotevním bodě je možné spočítat pomocí následujícího vzorce:

$$F_z = \frac{F_G * f * z}{n}$$

kde F_G je tíha modulové buňky, f je dynamický součinitel zrychlení, z je součinitel zahrnující úhel lana a n je počet uchycovacích bodů. Dynamický součinitel zrychlení je blíže popsán v DIN 15018. Součinitel z vypočteme jako převrácenou hodnotu $\cos(\alpha)$, kde α je úhel mezi lanem a modulem. Pro únosnost dřeva v místě uchycení je možné používat modifikační součinitel k_{mod} pro krátkodobé zatížení. [5]

2.2.11 Montáž

Velmi rychlá montáž je jednou z předností modulárních staveb. Moduly jsou ve většině případů už ve výrobě opatřeny základní vrstvou, která je chrání proti povětrnostním podmínkám. To umožňuje montáž i za méně příznivého počasí. Plánování montáže vyžaduje pečlivou koordinaci výroby, transportu a přípravných prací na staveništi, aby nedošlo ke zbytečným prodlevám a zpožděním, a aby bylo dosaženo jedné z hlavních výhod modulárních staveb – rychlé výstavby. Před montáží je nutné, aby byly dokončeny základové

konstrukce, případně aby byl dostatečně vyzrálý beton. Důraz by měl být kladen také na příjezdovou cestu, po které budou moduly dopravovány na místo montáže.

Obvyklý postup při montáži je následující:

1. Příprava podkladu pro moduly
2. Montáž modulů – pomocí jeřábu běžně 10–20 za den
3. Zhotovení dočasné ochrany fasády
4. Zhotovení dočasné střešní krytiny – hydroizolace
5. Dokončení budovy

Přesun modulů na místo určení je nejčastěji uskutečňován autojeřábem. V závislosti na podloží je třeba navrhnout místo, odkud bude jeřáb operovat, případně navrhnout zpevnění podkladu – vyskládání panelů. [1]

2.3. Výhody

Předními benefity modulárních staveb jsou:

- rychlost výstavby
- nižší cena
- zvýšení kvality a bezpečnosti
- udržitelnost

Výroba modulů v továrně probíhá ve stejnou dobu, jako počáteční práce na staveništi. Tento fakt výrazně sníží dobu výstavby, stejně jako stále se opakující postupy při výrobě. Tvorba modulů není závislá na povětrnostních podmínkách, jako jsou výkyvy teplot, vítr, sněžení a déšť, je tedy možné je vytvářet v kteroukoliv roční dobu. Bylo zjištěno, že jestliže pro stavbu šestipodlažní budovy využijeme výhody modulárních staveb, dosáhneme zkrácení doby výstavby o 50 %. Úspora času je v dnešní době opravdu důležitým faktorem, protože je snaha stavět co nejrychleji a co nejlevněji.

Prostředí továrny a uzavřený prostor umožňuje vyšší míru kontroly výrobků a pracovníků. Opakující se technologie a postupy redukuje množství omylů a chyb a tím zajišťují vyšší přesnost a méně odpadu. Na první pohled se to nemusí zdát, ale opakující se procesy, méně osob na pracovišti a uzavřené

prostředí vede k nižšímu výskytu zranění. Výrobna také působí negativně pro plísně, přímé sluneční záření a korozi, které by mohly poškodit dřevní hmotu.

Poslední, ale neméně podstatnou výhodou modulárních dřevostaveb, kterou bych chtěla zmínit, je udržitelnost. Hlavními ukazateli udržitelnosti jsou energie a oxid uhličitý, materiál, odpad, znečištění, řízení, zlepšení výkonnosti, možnost přizpůsobení se a společenská zodpovědnost. Dřevo jako materiál má dobré izolační vlastnosti a obsah uhlíku a dřevostavby je možné vytvořit velmi neprodyšné. Při výrobě modulů v továrně vzniká znatelně méně odpadu, což přidává na účinnosti využití dřeva. Vzhledem k nízké objemové hmotnosti dřeva, u nás nejběžnějšího smrkového, se rapidně zmenšuje velikost základových konstrukcí. Nutno dodat, že možnost znovupoužití modulů také zvyšuje efektivitu využití materiálu. V oblasti znečišťování jsou modulární stavby příznivé hned ve dvou faktorech. První se týká snížení hluku, prašnosti a uvolňování těkavých organických sloučenin v prostředí staveniště. Prach a nežádoucí plyny jsou zachyceny vzduchotechnikou přímo ve výrobě, hluk je redukován jen do výroby, a ne na staveniště. Druhým faktorem je možnost doručování materiálů do výroby ve velkých objemech, namísto doručování na staveniště v malých objemech.

Řízení a plánování je zkvalitněno přesným termínem doručení modulů na stavbu a vysokou možností uplatnění v BIM. Zlepšení výkonnosti je zajištěno pevností a robustností modulárních buněk a kvalitní zvukovou a tepelnou izolací. Modulární stavby se snadno přizpůsobí požadavkům uživatele, jsou snadno rozmontovatelné a dají se znovu použít. Udává se, že práce ve výrobě jsou zhruba pětikrát bezpečnější než běžné procesy na stavbě, když vezmeme v potaz nahlášené nehody. [13]

2.4. Nevýhody

Určitými nevýhodami, které je třeba zmínit, jsou:

- určitá nižší míra variability (složitá řešení velkých prostor)
- menší atraktivita pro architekty
- požární odolnost a bezpečnost
- odolnost proti vnějším vlivům

Nižší variabilita je ovlivněna možností výběru tvaru nosné konstrukce. V současné době mnoho architektů požaduje různé, téměř nereálné tvary, jako jsou nepravidelné a šikmé sloupy, vlnité stěny a jiné. Modularitou se cítí určitým způsobem svázaní. Mnoho z nich si při slově prefabrikace vybaví uniformní panelové domy na sídlištích, ke kterým nemají mnoho kladných vztahů, co se týká architektury.

Jednou z brzd výstavby modulárních vícepodlažních staveb je fakt, že v naší zemi není povoleno stavět stavby se svislými nosnými konstrukcemi ze dřeva s požární výškou více než 12 metrů. Je možné zvolit při návrhu vyšší stavby inženýrský přístup, v tomto případě je ale nutná detailní znalost problematiky.

Dřevo je samo o sobě materiál náchylný na povětrnostní vlivy a dřevokazné škůdce, musí proto být důkladně ošetřeno a ochráněno. Jestliže chceme mít dřevěné prvky přiznané, je třeba dát zvlášť důraz na návrh odvodnění a ochranu dřeva. [14]

2.5. Použití

Hlavní účel modulárních vícepodlažních staveb spatřuji při různých přírodních katastrofách. Při těchto nešťastných událostech přichází velké množství lidí o střechnu nad hlavou. Rychlá výstavba a poměrně nízké náklady na pořízení umožňují aktivně pomáhat a řešit nastalou situaci.

Další použití vidím při výstavbě dočasných staveb. Vezměme si například olympijské hry. Před konáním je třeba pro sportovce vystavět mnoho ubytovacích prostor, jinými slovy olympijskou vesnici. Po skončení her mohou být tyto modulové vícepodlažní dřevostavby rozebrány a sestaveny na jiném místě s jiným účelem. Dejme tomu, že postavíme olympijskou vesnici. Dále budovy rozebereme a o pár kilometrů dál sestavíme jako nový domov seniorů. Jelikož dlouhodobě v České republice klesá porodnost, nastane doba, kdy už domov seniorů nebude třeba, tak se rozloží. Dojde k dalšímu přesunu na jiné místo, tentokrát za účelem stavby školy. Tímto způsobem se může cyklus stéle dokola opakovat. Při každém přesunu je třeba kontrolovat konstrukční prvky modulů, případně vyměnit poškozené prvky nebo ty, které dosloužily.

3. Provedení modulárních staveb

3.1. Tuzemské zpracování

V České republice lze najít nepřehledné množství firem, které se zabývají výstavbou modulárních dřevostaveb, nicméně téměř všechny končí u jednoho nadzemního podlaží. Když už některé z nich realizují vícepodlažní stavby, pomáhají si tím, že spodní podlaží dělají ocelová a dřevěná udělají jen nejvyšší.

Výjimku tvoří RD Rýmařov s.r.o. Podíleli se na stavbě sídliště v polské Lodži, kde využili lehkou prefabrikaci dřeva. Bytový dům je čtyřpodlažní, důraz byl kladen na tepelné, akustické, požární a statické vlastnosti. V současnosti se tato společnost snaží vyvinout systém pro pětipodlažní stavby. [15] [16]



Obr. 3: RD Rýmařov – bytový dům v Lodži (Polsko) [15]

3.2. Zahraniční zpracování

3.2.1 Rakousko

Nejvýraznější rakouskou firmou, která se zabývá modulovou výstavbou dřevostaveb, je bezpochyby Kaufmann Bausysteme se sídlem v Reuthe. Věnuje se stavbám pro vzdělání, bydlení a ubytování. Ve své výrobě jsou schopni vytvořit až 4 moduly za den. Jejich internetové stránky jsou propracované, s odkazy na zajímavá videa z výroby i ze stavby. Soustředí se hlavně na lehké

skelety. Společnost působí jak v Rakousku, tak i v Německu a ve Švýcarsku. Jako reference je vhodné zmínit například zdravotní středisko Josefhof v Grazu, domov seniorů v Hallein nebo mateřskou školu v Innsbrucku.



Obr. 4: Kaufmann Bausysteme – zdravotní středisko Josefhof v Grazu (Rakousko) [17]

3.2.2 Německo

Jak již bylo řečeno v předchozím odstavci, Kaufmann Bausysteme působí i v sousedním Německu, kde se tato firma podílela např. na stavbě školy Mahlsdorf v Berlíně, Das Bader hotelu v Parsdorfu a kolejí v Heilbronn. [17]

Modulární výstavbě se v Německu věnuje též společnost LiWood se sídlem v Mnichově. Soustředí se na dřevěné nástavby, spojovací můstky mezi budovami i samostatně stojící modulární vícepodlažní stavby. Jako reference lze uvést koleje v Heidelbergu a sociální bydlení v Mnichově. [18]



Obr. 5: LiWood – studentské ubytování v Heidelbergu (Německo) [18]

3.2.3 Norsko

Důležitou norskou společností pro modulární vícepodlažní výstavbu je Moelven. Podílela se na stavbě ve své době nejvyšší dřevostavby na světě v Bergenu. Objekt má 14 pater, pro moduly je použito lepené lamelové dřevo a CLT. [19]

3.2.4 Finsko

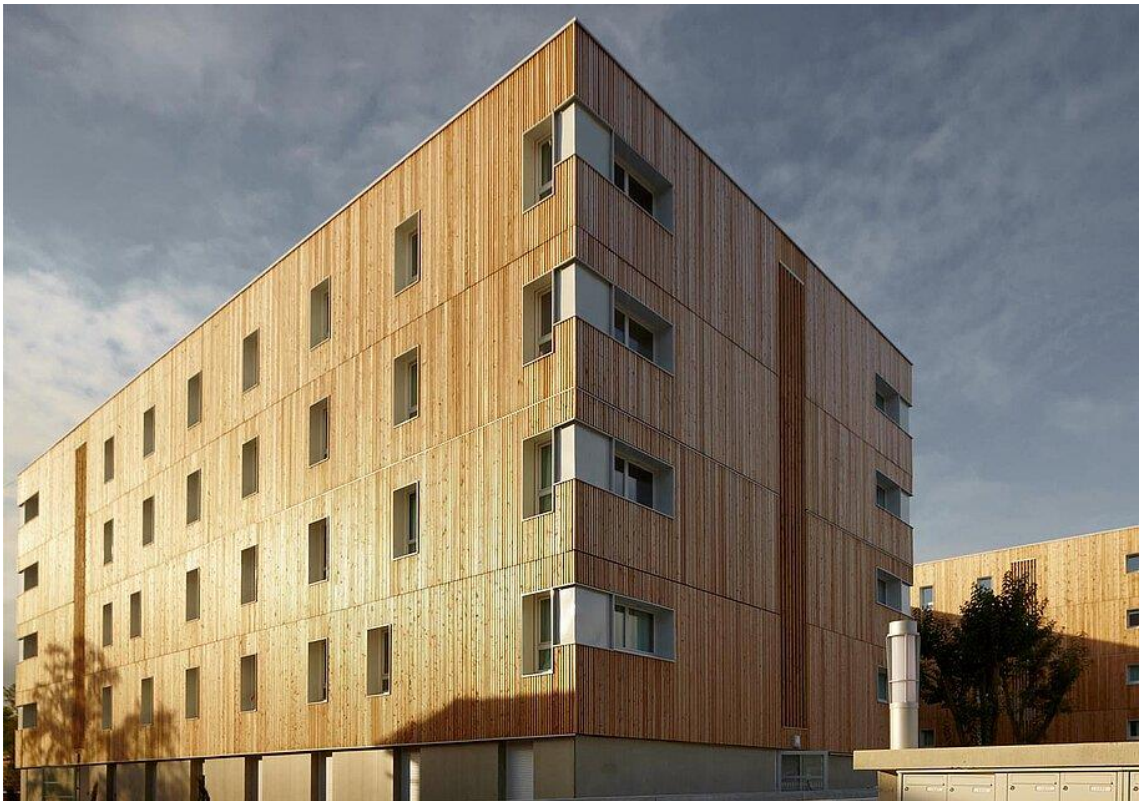
Významnou finskou firmou zabývající se dřevem je Stora Enso. Její pole působnosti je opravdu široké. Počínaje produkty pro denní užívání, jako jsou obaly a papír, konče dřevěnými konstrukčními prvky. Co se modulární výstavby týče, firma se zabývá řešením obytných a kancelářských budov. Jako reference uvádím komplex bytových domů Puukuokka v Jyväskylā. [20]



Obr. 6: Stora Enso – komplex bytových domů Puukuokka v Jyväskylā (Finsko) [20]

3.2.5 Francie

Ve Francii v oboru modulárních vícepodlažních staveb působí s více než 30letou historií firma Pyrénées Charpentes se sídlem v Agos-Vidalos. Používá hlavně lepené lamelové dřevo a CLT. Zhotovenými díly jsou např. komplex obytných budov v Toulouse a studentské koleje Montalambert tamtéž. [21]



Obr. 7: Pyrénées Charpentes – studentské koleje Montalambert v Toulouse (Francie) [21]

3.2.6 Švýcarsko

Ve Švýcarsku můžeme najít hned dvě společnosti, které vynikají v modulární výstavbě. Jsou jimi Blumer Lehmann v Gossau a ERNE AG Holzbau v Laufenburgu.

Blumer Lehmann pro své moduly používá technologii lehkého skeletu. Svůj zájem ubírá směrem ke stavbám pro vzdělání a k sociálnímu bydlení. Mezi jimi realizované stavby patří azylové centrum Grosshof v Kriens a škola v Curychu. [22]



Obr. 8: Blumer Lehmann – azylové centrum Grosshof v Kriens (Švýcarsko) [22]

ERNE AG Holzbau se věnuje školám, nemocnicím a kancelářím. Moduly nevyrobí jen ze dřeva, používají i ocel, kombinaci oceli a dřeva a dřevobeton. Jejich budovy je možné najít i v Německu. Jejich známým objektem ve Švýcarsku je dočasná budova školy Lettenwiese v Curychu. [23]



Obr. 9: ERNE EG Holzbau – dočasná škola Lettenwiese v Curychu (Švýcarsko) [23]

3.2.7 Velká Británie

Další zemí, ve které můžeme narazit na známky modulárních vícepodlažních dřevostaveb, je Velká Británie. Jistě by se dalo najít mnohem více společností, které se touto problematikou zabývají, ale já zmíním 3, které mě zaujaly. Jsou jimi Frame Homes UK, TG Escapes a Carbon Dynamic. První dvě jmenované sídlí v Anglii, posledně jmenovaná ve Skotsku.

Frame Homes UK, sídlící v Redruthu, se komponentům pro modulární dřevostavby věnuje více než 15 let. Speciální oddělení pro modulární stavby je, jak můžeme vidět z jejich internetových stránek, teprve ve vývoji. Firma se věnuje i částečné prefabrikaci stěn a podlah dřevostaveb. [24]

TG Escapes, se sídlem v Coventry, se věnuje hlavně školním, obytným a komerčním stavbám. Byla založena roku 2003 a jejím hlavním úsilím je stavět budovy v souladu s životním prostředím. Pokud se zaměříme na jimi realizované objekty, nalezneme především jedno a dvoupodlažní budovy. Referencí je například dvoupodlažní budova školy v Claremontu. [25]



Obr. 10: TG Escapes – škola v Claremontu (Velká Británie) [25]

Poslední společností je skotský Carbon Dynamic, který sídlí v Alness. Založen byl v roce 2010. Podílel se například na výstavbě Kingsmills, hotelu v Invernessu. [26]



Obr. 11: Carbon Dynamic – fotografie z realizace Kingsmills [26]

4. Praktický příklad

4.1. Úvod řešeného objektu

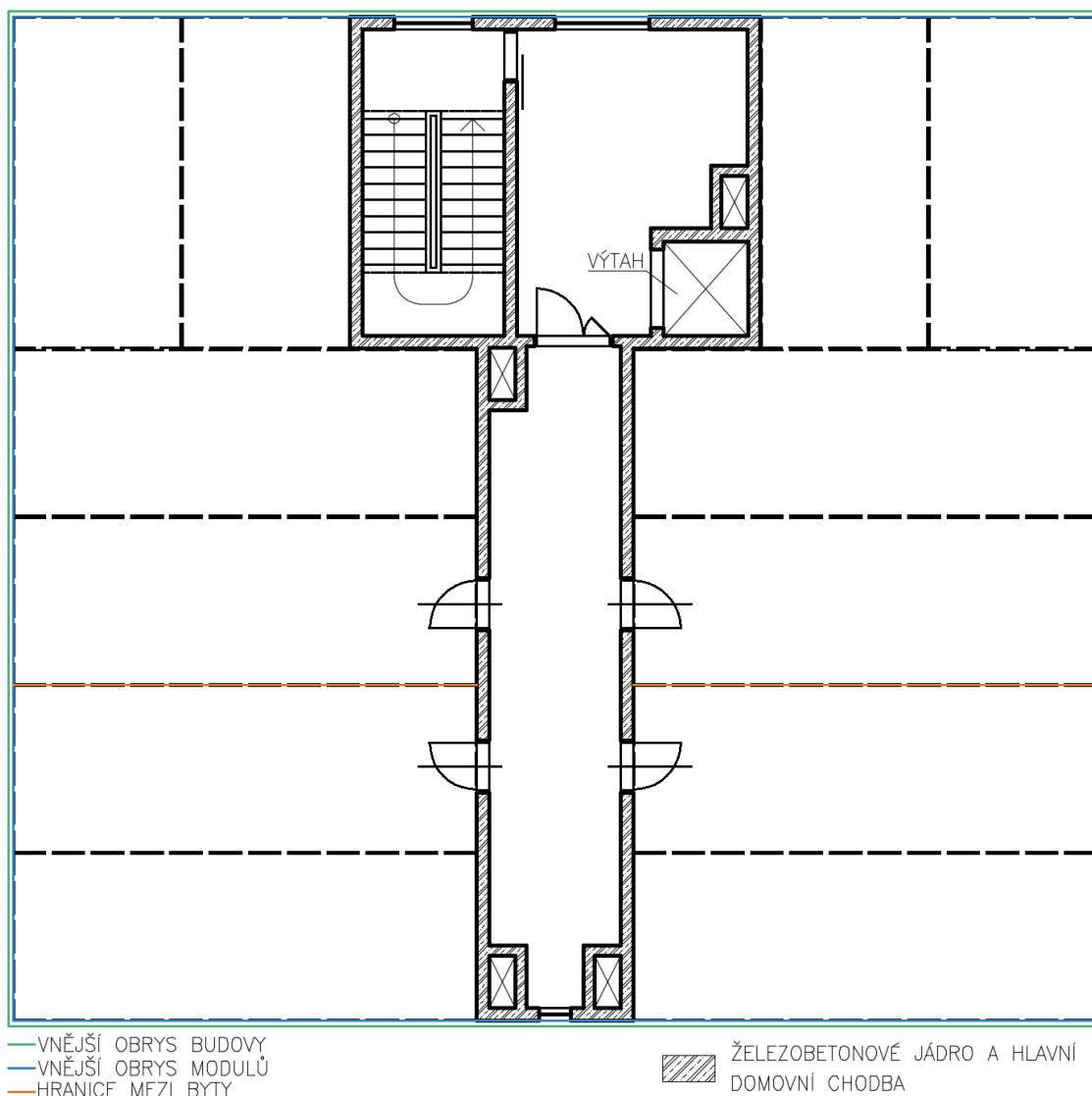
V praktické části své práce bych se chtěla věnovat návrhu modulární vícepodlažní dřevostavby s potenciálním umístěním v Praze 11. Navrhnou čtyřpodlažní konstrukci bytového domu. Budu se věnovat konstrukčnímu systému, návrhu skladeb, zatížení, návrhu prvků a v závěru návrhu shrnu největší úskalí, na které jsem narazila a pokusím se o jejich vyřešení.

4.2. Konstrukční systém

Základním konstrukčním systémem modulárních buněk bude jeden z typů lehkého skeletu, tzv. Platform frame, popsany ve vymezených pojmech. Jádru budovy s výtahem a schodištěm bude železobetonové, stejně tak hlavní domovní chodba, abychom zajistili prostorovou tuhost a určitou míru požární bezpečnosti. Musí být dodržena světlá výška 2 600 mm pro obytné místnosti bytových domů.
[27]

Střechu volím plochou, nosnou konstrukci budou tvořit dřevěné trámy, tepelná izolace EPS.

Šachty jsou navrženy uvnitř železobetonového jádra objektu tak, aby nemusely být složitě řešeny prostupy modulárními buňkami.



Obr. 12: Schéma půdorysu řešeného objektu

4.3. Návrh skladeb

V této části bych se chtěla věnovat návrhu skladeb konstrukcí. Zaměřím se zejména na střešní plášť a obvodovou stěnu, podlahu budu řešit pro běžná podlaží. Na konci návrhu skladeb jsem pro lepší pochopení vyhotovila schéma 2 modulů postavených na sebe, bez důrazu na návaznosti kompletačních konstrukcí a spojovacího prostředku modulů.

Půdorys jednoho z bytů a jeho řez je možné najít v příloze 1 a 2.

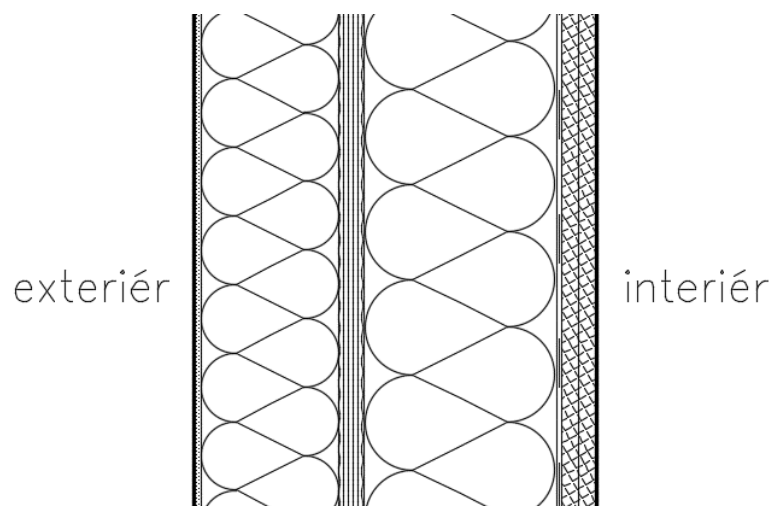
4.3.1 Skladba střešního pláště

Skladba byla převzata od firmy DEK. Bližšímu návrhu střechy se ve své práci nebudu věnovat, skladbu uvádím z důvodu následného výpočtu zatížení. Toto souvrství má $U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Požadavek na ploché střechy je $U_{\text{rec},20} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. $U < U_{\text{rec},20}$, skladba vyhovuje na tepelné požadavky. Okraje střechy budou řešeny dřevěnou atikou, odhadovaná výška atiky (pro výpočet zatížení) je 600 mm, tloušťka 120 mm.

| název vrstvy | tloušťka |
|---|-----------------|
| modifikované asfaltové pásy | 7,5 mm |
| tepelná izolace EPS | 140 mm |
| EPS pro vytvoření spádu | min. 30 mm |
| parozábrana | 2,2 mm |
| dřevěné palubky | 24 mm |
| střešní trámy (odhadovaný rozměr) 100x160 | 160 mm |
| konstrukce stropu modulu | |

4.3.2 Skladba obvodového pláště (S1)

| název vrstvy | tloušťka |
|--|-----------------|
| 2x SDK deska | 25 mm |
| parozábrana – PE fólie | 0,1 mm |
| svislé fošny 60x140 mm, rozteč 625 mm, mezi nimi minerální izolace | 140 mm |
| překližka | 18 mm |
| ETICS s 100 mm minerální izolace | 100 mm |

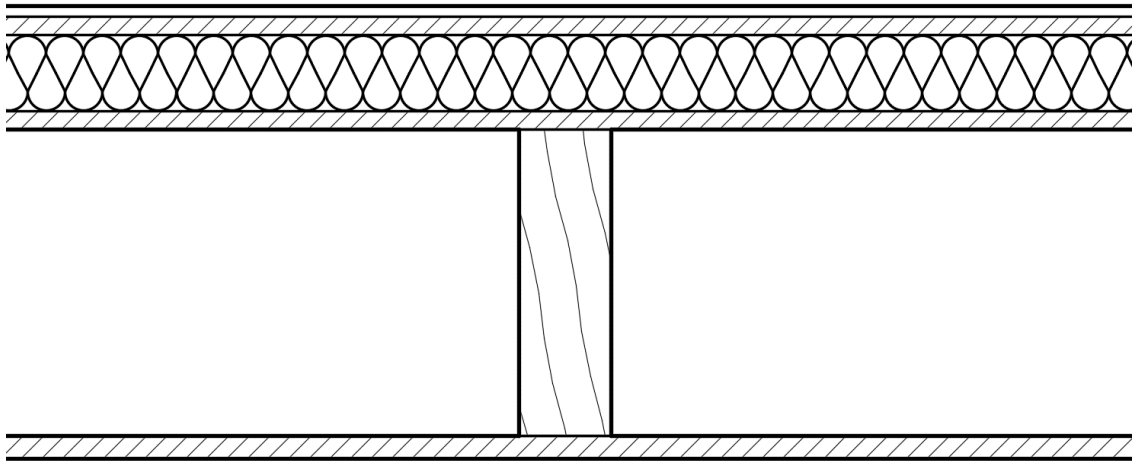


Obr. 13: Schéma skladby obvodového pláště

Takto navržená skladba má součinitel prostupu tepla $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ a nedochází v ní ke kondenzaci. Požadavek je $U_{\text{rec},20} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$. $U < U_{\text{rec},20}$, skladba vyhovuje na tepelné požadavky.

4.3.3 Skladba podlahy (S2)

| název vrstvy | tloušťka |
|---|----------|
| vinylová nášlapná vrstva | 5 mm |
| dvoužilová topná rohož s hliníkovou krycí vrstvou | 2 mm |
| podložka pod vinylové podlahy | 1,8 mm |
| OSB desky pero-drážka | 12 mm |
| kročejová izolace – kamenná vlna | 50 mm |
| překližka | 15 mm |
| dřevěné stropnice 60x200 mm se vzduchovou mezerou | 200 mm |
| podbití – překližka | 15 mm |



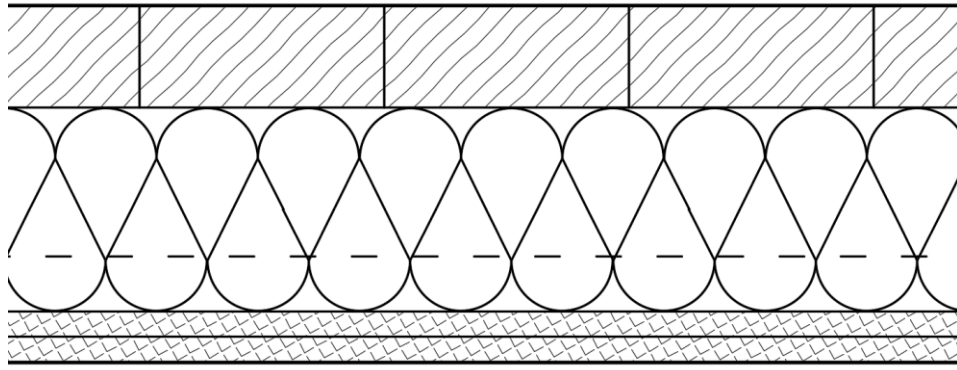
Obr. 14: Schéma skladby podlahy

V oblasti základů bude pod tuto skladbu přidáno ještě 100 mm tepelné izolace a hydroizolace. Takto navržená skladba vyhovuje požadavku $U_{rec,20} = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ pro podlahy a stěny vytápěného prostoru přilehlé k zemině. Bez vlivu podlahového vytápění skladba spadá z hlediska poklesu dotykové teploty do kategorie I. velmi teplé.

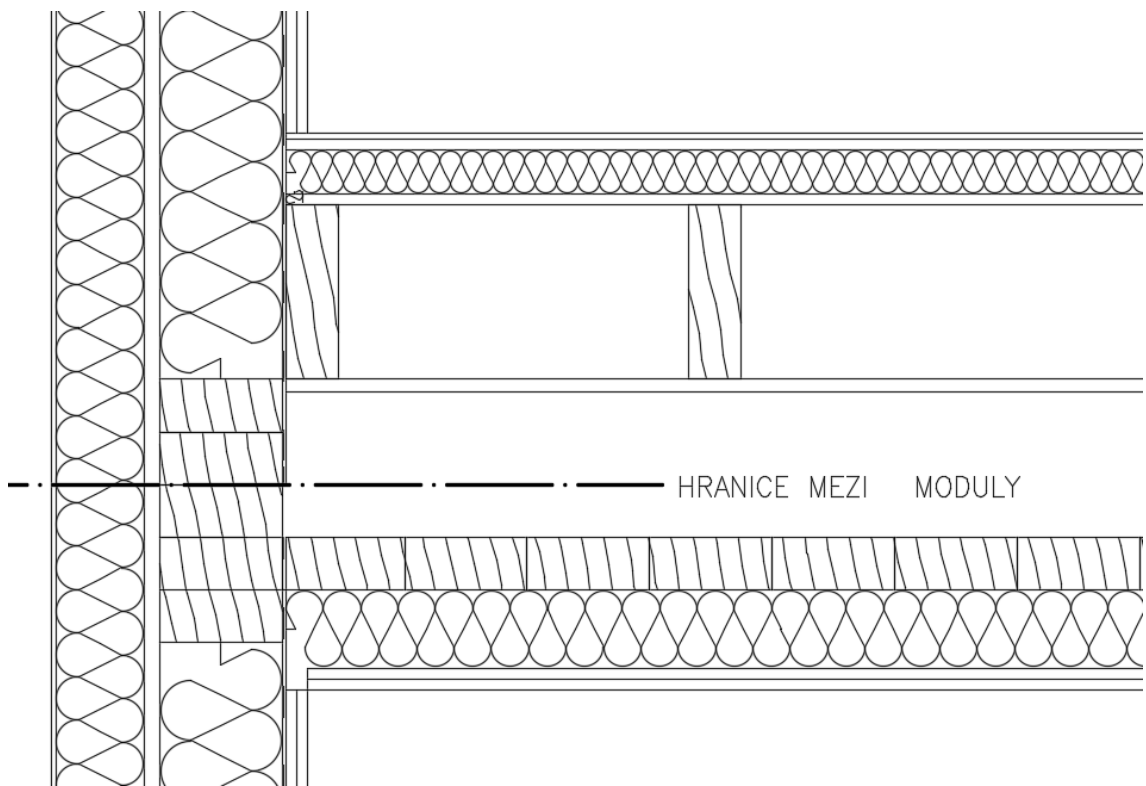
Základní skladba byla převzata z webových stránek výrobce podlahových topných rohoží. [28]

4.3.4 Skladba podhledu (strop modulu – S3)

| název vrstvy | tloušťka |
|--|----------|
| fošny 140x60 | 60 mm |
| minerální izolace, vedení instalací, konstrukce podhledu | 90 mm |
| 2x SDK deska | 25 mm |



Obr. 15: Schéma skladby stropu



Obr. 16: Hranice mezi moduly

4.4. Materiály

4.4.1 Dřevo

Pro dřevěné konstrukční prvky bude použito dřevo C24. Všechny skladby obsahující dřevěný nosný prvek musí být navrženy tak, aby v nich nedocházelo ke kondenzaci vody. [29]

$$f_{m,g,k} = 24 \text{ MPa}$$

$$f_{v,g,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,k} = 2,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,\text{mean}} = 11 \text{ GPa}$$

$$E_{0,05} = 7,4 \text{ GPa}$$

$$\rho_V = 500 \text{ kg/m}^3 \text{ (konzervativně – pro výpočet zatížení vlastní tíhou)}$$

4.4.2 Železobeton

Železobeton je použit jako nosný prvek stěn a stropů v hlavní chodbě, prostoru schodiště a výtahů. Ve své práci se návrhu železobetonových prvků nebudu blíže věnovat, zvolím proto:

beton C 30/37 – XC2 – CI 0.2 – D_{max} = 16 – S3

ocel B500B

4.5. Součinitelé

součinitel stálého zatížení $\gamma_g = 1,35$

součinitel proměnného zatížení $\gamma_q = 1,50$

součinitel materiálu pro rostlé dřevo $\gamma_M = 1,30$

modifikační součinitel (třída provozu 2) $k_{\text{mod},1} = 0,80$ (střednědobé zatížení)

$k_{\text{mod},2} = 0,90$ (krátkodobé zatížení)

způsob výpočtu návrhové pevnosti: $f_d = k_{mod} \cdot f_k / \gamma_M$

4.6. Zatížení

Zatížení bude spočteno na základě Eurokódu 1. [30] Postupně vypočítám vlastní tíhu, ostatní stálé zatížení, užité zatížení, zatížení sněhem a zatížení větrem. [31] [32]

4.6.1 Stálé zatížení – vlastní tíha

Zatížení vlastní tíhou bude vypočteno u konkrétních posuzovaných prvků.

4.6.2 Stálé zatížení – podlaha

| Zatížení – podlaha | |
|---|--|
| vrstva | charakteristické zatížení [kN/m ²] |
| vinylová nášlapná vrstva | 0,03 |
| dvoužilová topná rohož s hliníkovou krycí vrstvou | 0,02 |
| podložka pod vinylové podlahy | 0,01 |
| OSB desky pero-drážka | 0,07 |
| kročejová izolace – kamenná vlna | 0,07 |
| překližka | 0,09 |
| podbití – překližka | 0,09 |
| CELKEM | 0,39 |

Tabulka 3: Zatížení – podlaha

4.6.3 Stálé zatížení – střešní plášť

| Zatížení – střešní plášť | |
|--------------------------|--|
| vrstva | charakteristické zatížení [kN/m ²] |
| asfaltové pásy | 0,09 |
| EPS 200 mm | 0,07 |
| parozábrana | 0,00 |
| palubky | 0,12 |
| dřevěné trámy (odhad) | 0,15 |
| CELKEM | 0,43 |

Tabulka 4: Zatížení – střešní plášť

4.6.4 Stálé zatížení – pohled

| Zatížení – pohled | |
|--|--|
| vrstva | charakteristické zatížení [kN/m ²] |
| nosná konstrukce pohledu s minerální izolací | 0,10 |
| 2x SDK deska | 0,10 |
| CELKEM | 0,20 |

Tabulka 5: Zatížení – pohled

4.6.5 Stálé zatížení – obvodový plášť

| Zatížení – obvodový plášť | |
|--|--|
| vrstva | charakteristické zatížení [kN/m ²] |
| ETICS minerální izolace | 0,12 |
| překližka | 0,13 |
| minerální tepelná izolace mezi sloupky | 0,10 |
| PE fólie | 0,00 |
| 2x SDK | 0,10 |
| CELKEM | 0,45 |

Tabulka 6: Zatížení – obvodový plášť

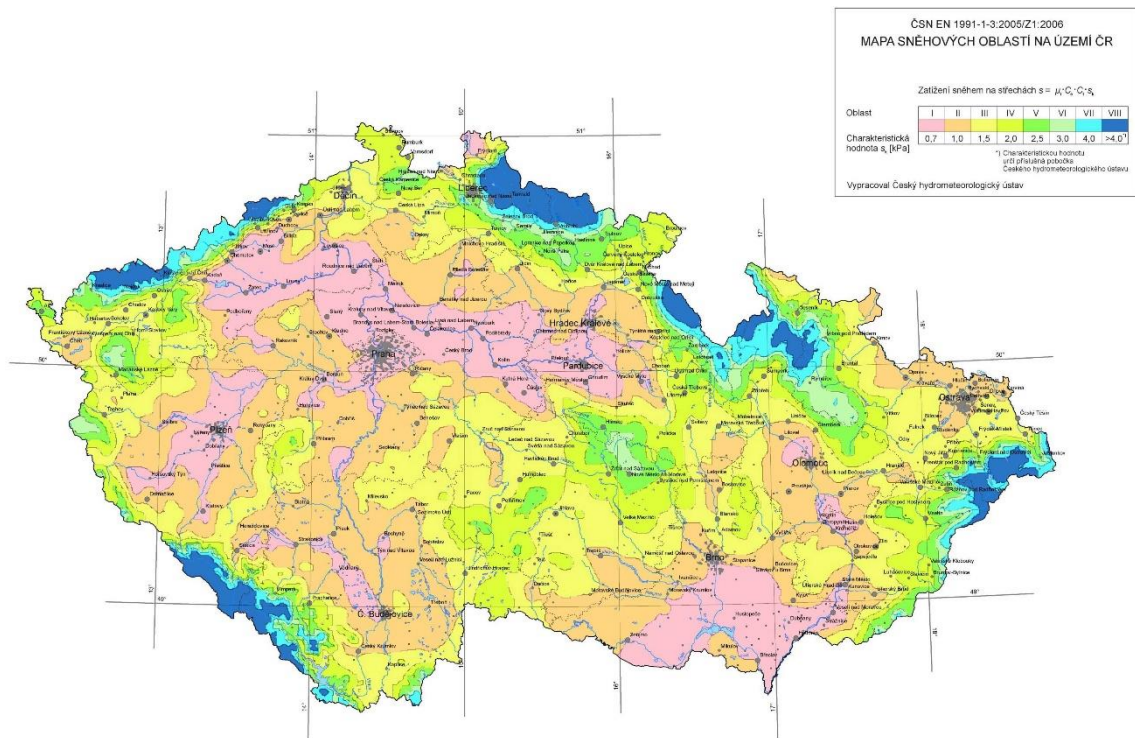
4.6.6 Proměnné zatížení – užité

Kategorie A – stropní konstrukce a schodiště $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Kategorie H – nepochozí střechy $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

4.6.7 Proměnné zatížení – sníh

Praha spadá do sněhové oblasti I, charakteristická hodnota $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$.



Obr. 17: Mapa sněhových oblastí [33]

Budova má plochou střechu, nepochozí.

tvárový součinitel $\mu_1 = 0,8$

součinitel expozice $C_e = 1$ (normální krajina)

tepelný součinitel $C_t = 1$

zatížení sněhem:

$$s_1 = \mu_1 * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1 * 1 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

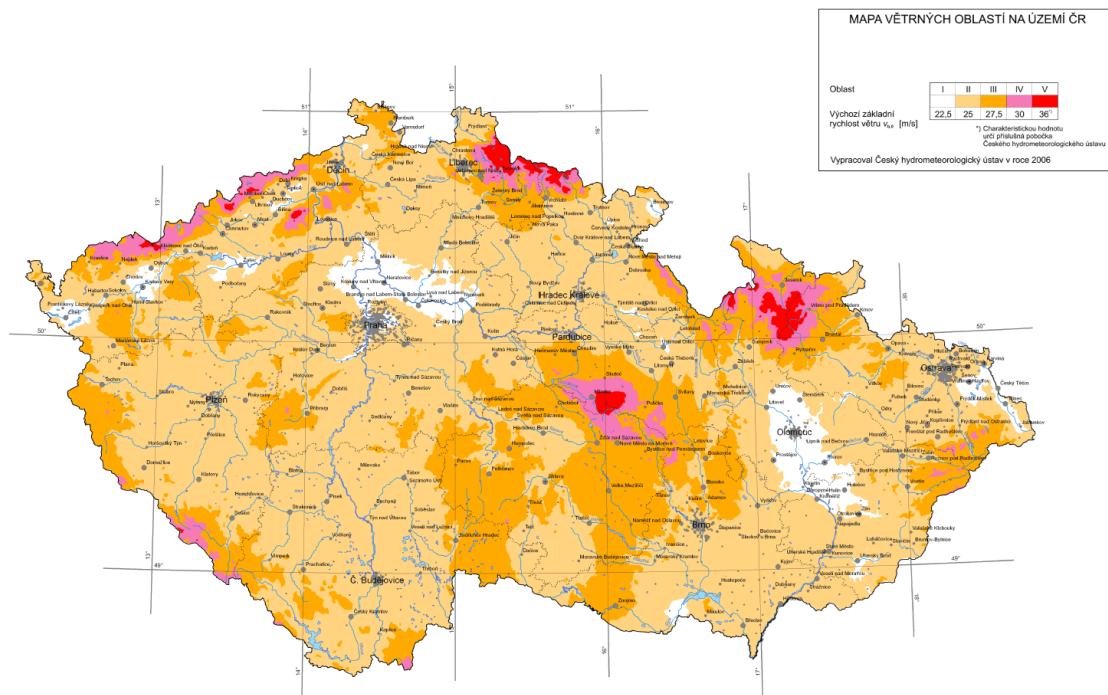
Hodnota proměnného zatížení střechy bude uvažována jako větší z hodnot:

- užité zatížení střechy $0,75 \text{ kN/m}^2$
- průměrné zatížení sněhem $0,56 \text{ kN/m}^2$

Proměnné charakteristické zatížení střechy je tedy $q_{stř,k} = 0,75 \text{ kN/m}^2$.

4.6.8 Proměnné zatížení – vítr

Praha spadá do větrné oblasti I, výchozí základní rychlost větru $v_{b,0} = 22,5$ m/s.



Obr. 18: Mapa větrných oblastí [33]

základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 22,5 = 22,5 \text{ m/s}$$

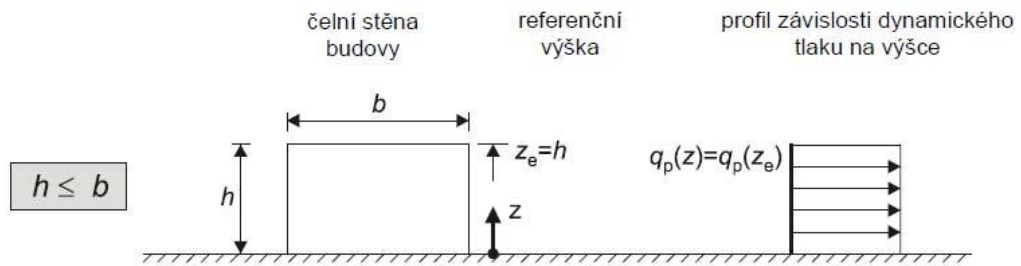
základní tlak větru:

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 22,5^2 = 316 \text{ N/m}^2 = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

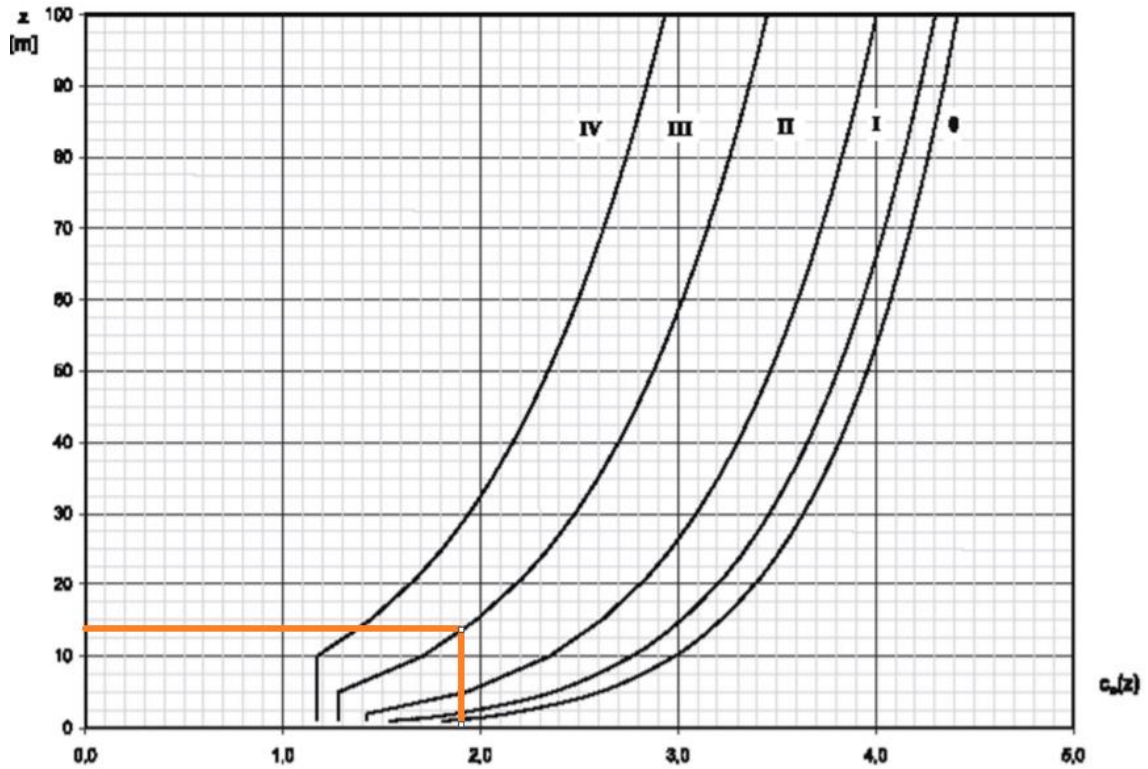
součinitel expozice:

kategorie terénu III – plocha rovnoměrně pokrytá vegetací, budovami a překážkami

výška budovy nad terénem: $h = 13,3 \text{ m} < b = 20,9 \text{ m} \Rightarrow z = h = 13,3 \text{ m}$



Obr. 19: Schéma typu budovy [32]



Obr. 20: Graf pro zjištění součinitele expozice [32]

$c_e(z) = 1,90$ (odečteno z grafu)

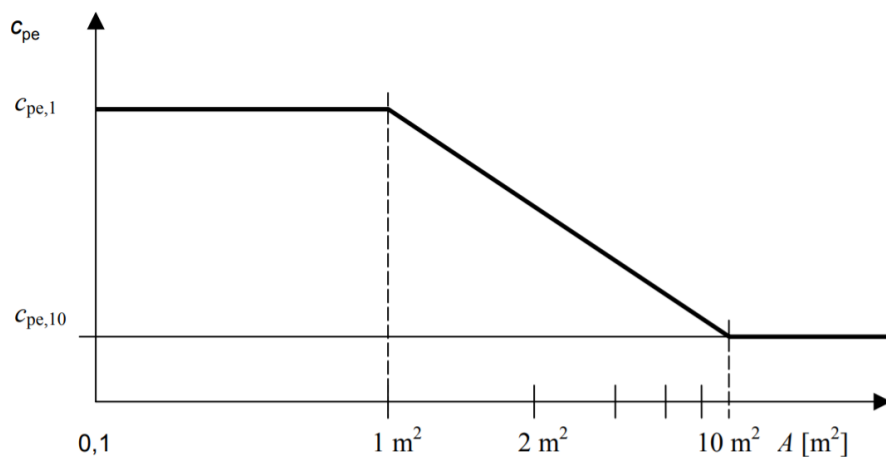
maximální dynamický tlak:

$$q_p = c_e(z) * q_b = 1,90 * 0,32 = 0,61 \text{ kN/m}^2$$

tlak větru na vnější povrch:

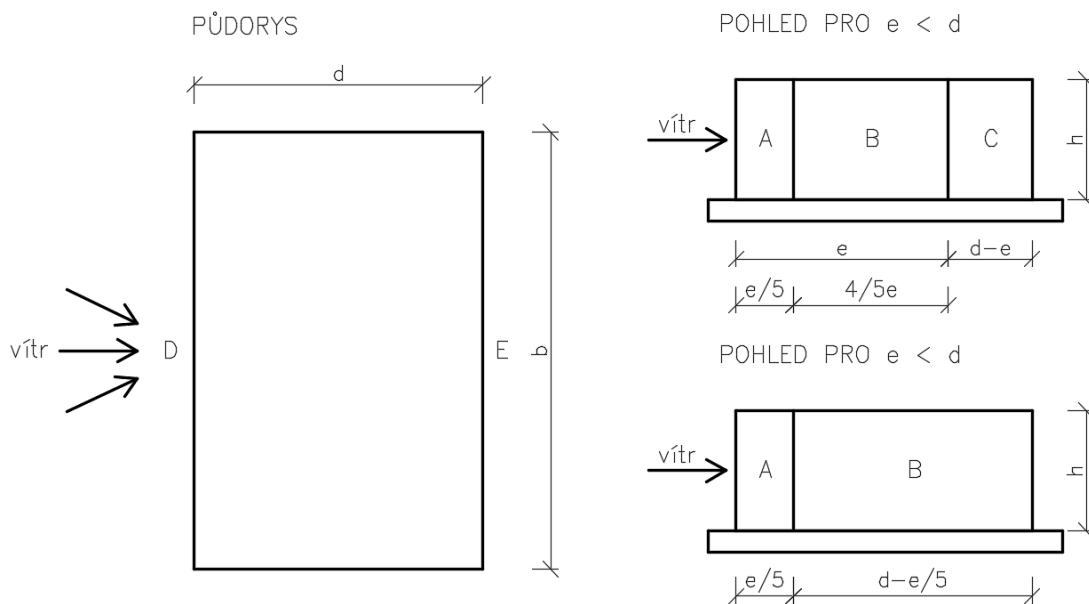
$$w_e = c_{pe} * q_p$$

Protože všechny plochy, na které působí vítr, jsou větší než 10 m^2 , uvažují hodnotu $c_{pe,10}$ dle následujícího grafu.



Obr. 21: Graf součinitele vnějšího tlaku [32]

- stěnový plášť



Obr. 22: Plochy svislých konstrukcí [32]

| Oblast | A | | B | | C | | D | | E | |
|------------------------------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | $c_{pe,10}$ | $c_{pe>1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe>1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe>1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe>1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe>1}$ |
| 5 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,7 | |
| 1 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,5 | |
| $\leq 0,25$ | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,7 | +1,0 | -0,3 | |
| mezilehlé hodnoty lze interpolovat | | | | | | | | | | |

Tabulka 7: Hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny [32]

příčný vítr:

$$b = 20,9 \text{ m}$$

$$2h = 2 \cdot 13,3 = 26,6 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = 20,9 \text{ m}$$

$$d = 19,4 \text{ m}$$

$$e > d$$

$$h/d = 13,3/19,4 = 0,686$$

| oblast | A | B | C | D | E |
|-------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| $c_{pe,10}$ | -1,20 | -0,80 | -0,50 | 0,76 | -0,40 |
| w_e | -732,00 | -488,00 | -305,00 | 463,60 | -244,00 |

Tabulka 8: Hodnoty $c_{pe,10}$ a w_e pro příčný směr

podélný vítr:

$$b = 19,4 \text{ m}$$

$$2h = 2 \cdot 13,3 = 26,6 \text{ m}$$

$$e = \min(b; 2h) = 19,4 \text{ m}$$

$$d = 20,9 \text{ m}$$

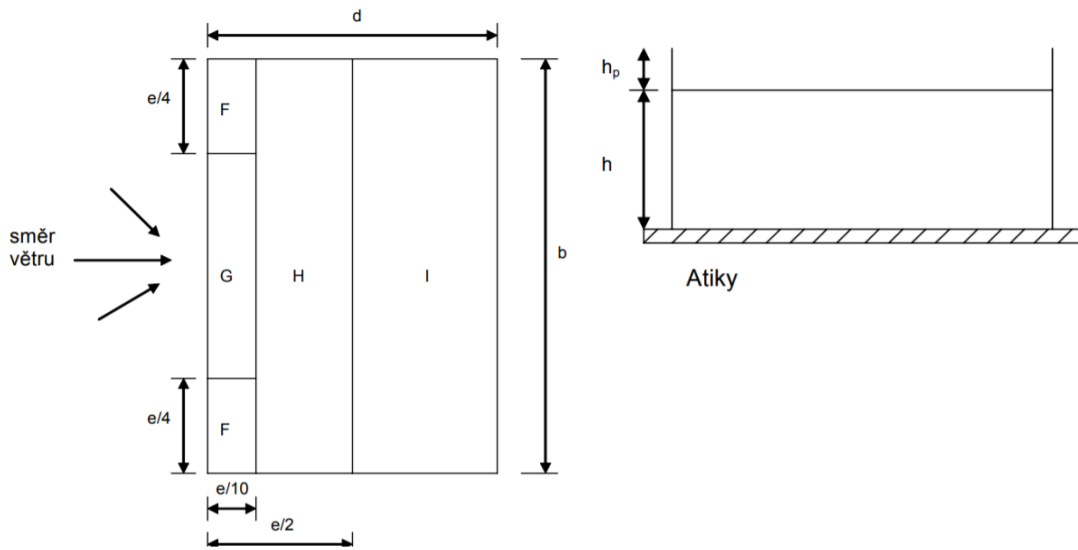
$$e < d$$

$$h/d = 13,3/20,9 = 0,636$$

| oblast | A | B | D | E |
|-------------|---------|---------|--------|---------|
| $c_{pe,10}$ | -1,20 | -0,80 | 0,75 | -0,41 |
| w_e | -732,00 | -488,00 | 457,50 | -250,10 |

Tabulka 9: Hodnoty $c_{pe,10}$ a w_e pro podélný směr

- střešní plášť



Obr. 23: Schéma ploch střechy [32]

| Typ střechy | | Oblasti | | | | | | | |
|-------------|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | F | | G | | H | | I | |
| | | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ | $c_{pe,10}$ | $c_{pe,1}$ |
| Ostré hrany | | -1,8 | -2,5 | -1,2 | -2,0 | -0,7 | -1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| S atikou | $h_p/h = 0,025$ | -1,6 | -2,2 | -1,1 | -1,8 | -0,7 | -1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | | -1,4 | -2,0 | -0,9 | -1,6 | -0,7 | -1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | $h_p/h = 0,05$ | -1,2 | -1,8 | -0,8 | -1,4 | -0,7 | -1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | | -1,4 | -2,0 | -0,9 | -1,6 | -0,7 | -1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | $h_p/h = 0,10$ | -1,2 | -1,8 | -0,8 | -1,4 | -0,7 | -1,2 | + 0,2 | - 0,2 |
| | | -1,4 | -2,0 | -0,9 | -1,6 | -0,7 | -1,2 | + 0,2 | - 0,2 |

Tabulka 10: Hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro plochou střechu [32]

$$h_p/h = 0,6/13,3 = 0,045$$

| oblast | F | G | H | I (+) | I (-) |
|-------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| $c_{pe,10}$ | -1,44 | -0,94 | -0,70 | 0,20 | -0,20 |
| w_e | -878,40 | -573,40 | -427,00 | 122,00 | -122,00 |

Tabulka 11: Hodnoty $c_{pe,10}$ a w_e pro střechu

- největší zatížení

pro stěnový plášť:

maximální tlak = 0,46 kN/m²

maximální sání = 0,73 kN/m²

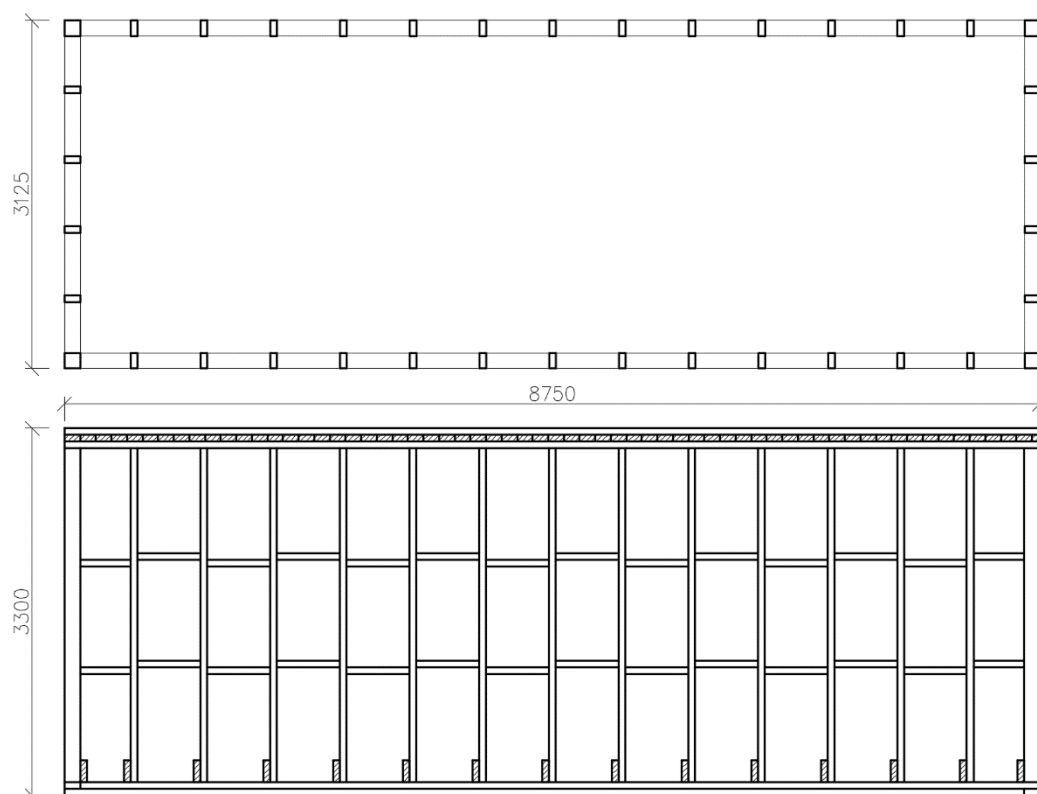
pro střešní plášť:

maximální tlak = 0,12 kN/m²

maximální sání = 0,88 kN/m²

4.7. Provedení modulární buňky

Modulární buňku navrhují ve formě lehkého skeletu. Většina prvků jsou fošny 60x140 mm, rohové sloupky jsou hranoly 140x140 mm. Spodní část tvoří práh ve formě dvou vrstev fošen. Nosnou konstrukcí podlahy jsou stropnice 60x200 mm uložené na prahy hned vedle sloupků. Horní část tvoří 3 vrstvy fošen, kde spodní je pouze po obvodě, prostřední vrstva sestává z fošen naskládaných vedle sebe a horní vrstva je opět jen po obvodě. Tato konstrukce přenáší pouze zatížení vlastní tíhou a podhledem.



Obr. 24: Půdorys a bokorys modulární buňky

4.8. Návrh prvků

K návrhu a posouzení prvků byla použita Příručka 2 k Eurokódu 5. [34]

| PEVNOSTI | | | | | | |
|------------------|-------|-----|----------------|-------|-----|-------------|
| CHARAKTERISTICKÉ | | | NÁVRHOVÉ | | | |
| $f_{m,k} =$ | 24,00 | MPa | $f_{m,d} =$ | 14,77 | MPa | střednědobá |
| $f_{v,k} =$ | 4,00 | MPa | $f_{v,d} =$ | 2,46 | MPa | střednědobá |
| $f_{c,0,k} =$ | 21,00 | MPa | $f_{c,0,d} =$ | 12,92 | MPa | střednědobá |
| $f_{c,90,k} =$ | 2,50 | MPa | $f_{c,90,d} =$ | 1,54 | MPa | střednědobá |
| $f_{t,0,k} =$ | 14,50 | MPa | $f_{t,0,d} =$ | 10,04 | MPa | krátkodobá |

Tabulka 12: Návrhové pevnosti

4.8.1 Nosná konstrukce podhledu – fošny

Rozměry fošen

| | |
|--------------------------|-------------------------|
| $b =$ | 140 mm |
| $h =$ | 60 mm |
| $I_y = 1/12 * b * h^3 =$ | 2520000 mm ⁴ |
| $W_y = 1/6 * b * h^2 =$ | 84000 mm ³ |

Zatížení fošny

| | |
|----------------------------------|---------|
| zatěžovací šířka | 140 mm |
| rozpon L | 3125 mm |
| součinitel zatížení $\gamma_g =$ | 1,35 |

| | charakteristické | návrhové |
|------------------------|------------------|-----------|
| zatížení vlastní tíhou | 0,04 kN/m | 0,06 kN/m |
| podhled | 0,03 kN/m | 0,04 kN/m |
| CELKEM | 0,07 kN/m | 0,09 kN/m |

Ohyb

| | | |
|--|------------|------------------|
| $M_{Ed} = 1/8 * f * L^2 =$ | 0,12 kNm | |
| $\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y =$ | 1,37 MPa | |
| $l_{ef} = 0,9 * L + 2 * h =$ | 2932,50 mm | |
| $\sigma_{m,crit} = 0,75 * b^2 * E_{0,05} / h / l_{ef} =$ | 618,24 MPa | |
| $\lambda_{rel} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{1/2} =$ | 0,20 | ; $k_{crit} = 1$ |
| $k_{crit} * f_{m,d} =$ | 14,77 MPa | |

Posouzení

| | | |
|----------------|---|----------------------|
| $\sigma_{m,d}$ | < | $k_{crit} * f_{m,d}$ |
| 1,37 MPa | < | 14,77 MPa |

VYHOVUJE NA OHYB.

Smyk

| | |
|--|----------------------|
| $V_{Ed} = 1/2 * \dot{f} * L =$ | 0,15 kN |
| $b_{ef} = k_{cr} * b =$ | 93,80 mm |
| $A_{ef} = b_{ef} * h =$ | 5628 mm ² |
| $\tau_{V,d} = 3/2 * V_{Ed} / A_{ef} =$ | 0,04 MPa |

Posouzení

| | | |
|--------------|---|-----------|
| $\tau_{V,d}$ | < | $f_{v,d}$ |
| 0,04 MPa | < | 2,46 MPa |

VYHOVUJE NA SMYK.

Průhyb

$$w_{ref} = 5/384 * (q_{ref} * L^4) / (E_{0,mean} * I_y) = 44,8 \text{ mm}$$

okamžitý od stálého zatížení

od M: $u_{m,inst1} = g_k * w_{ref} = 3,14 \text{ mm}$

od V: $u_{v,inst1} =$
 $0,96 * E_{0,mean} / G_{mean} * (h/L)^2 * u_{m,inst1} = 0,02 \text{ mm}$
 $u_{inst,1} = 3,15 \text{ mm}$

okamžitý průhyb od proměnného zatížení

Na stropní fošny nepůsobí proměnné zatížení.

konečná deformace

$$k_{def} = 0,6$$

$$\psi_{21} = 0,3$$

$$u_{net,fin} = u_{inst,1} * (1 + k_{def}) + u_{inst,2} * (1 + \psi_{21} * k_{def}) = 5,05 \text{ mm}$$

Posouzení

| | | |
|------------|---|----------|
| u_{inst} | < | $L/300$ |
| 3,15 mm | < | 10,42 mm |

| | | |
|---------------|---|---------|
| $u_{net,fin}$ | < | $L/250$ |
| 5,05 mm | < | 12,5 mm |

| | | |
|--------------------------|---|----------|
| $u_{net,fin} + u_{inst}$ | < | $L/150$ |
| 8,2 mm | < | 20,83 mm |

VYHOVUJE NA PRŮHYB.

4.8.2 Nosná stropní konstrukce

Rozměry fošen

| | |
|--------------------------|--------------------------|
| $b =$ | 60 mm |
| $h =$ | 200 mm |
| $I_y = 1/12 * b * h^3 =$ | 40000000 mm ⁴ |
| $W_y = 1/6 * b * h^2 =$ | 400000 mm ³ |

Zatížení fošny

| | | |
|----------------------------------|------------------|------------------|
| zatěžovací šířka | 625 mm | |
| rozpon L | 3125 mm | |
| součinitel zatížení $\gamma_g =$ | 1,35 | |
| součinitel zatížení $\gamma_q =$ | 1,50 | |
| | charakteristické | návrhové |
| zatížení vlastní tíhou | 0,06 kN/m | 0,08 kN/m |
| souvrství podlahy | 0,24 kN/m | 0,32 kN/m |
| celkem stálé: | 0,30 kN/m | 0,41 kN/m |
| užitné | 1,25 kN/m | 1,88 kN/m |
| celkem proměnné: | 1,25 kN/m | 1,88 kN/m |
| CELKEM | 1,55 kN/m | 2,28 kN/m |

Ohyb

| | |
|--|--------------------------|
| $M_{Ed} = 1/8 * f * L^2 =$ | 2,78 kNm |
| $\sigma_{m,d} = M_{Ed} / W_y =$ | 6,96 MPa |
| $l_{ef} = 0,9 * L + 2 * h =$ | 3212,5 mm |
| $\sigma_{m,crit} = 0,75 * b^2 * E_{0,05} / h / l_{ef} =$ | 31,10 MPa |
| $\lambda_{rel} = (f_{m,k} / \sigma_{m,crit})^{1/2} =$ | 0,88 ; $k_{crit} = 0,90$ |
| $k_{crit} * f_{m,d} =$ | 13,31 MPa |

Posouzení

| | | |
|----------------|---|----------------------|
| $\sigma_{m,d}$ | < | $k_{crit} * f_{m,d}$ |
| 6,96 MPa | < | 13,31 MPa |

VYHOVUJE NA OHYB.

Smyk

| | |
|--|----------------------|
| $V_{Ed} = 1/2 * f * L =$ | 3,56 kN |
| $b_{ef} = k_{cr} * b =$ | 40,2 mm |
| $A_{ef} = b_{ef} * h =$ | 8040 mm ² |
| $\tau_{V,d} = 3/2 * V_{Ed} / A_{ef} =$ | 0,66 MPa |

Posouzení

| | | |
|-----------|---|-----------|
| $T_{v,d}$ | < | $f_{v,d}$ |
| 0,66 MPa | < | 2,46 MPa |

VYHOVUJE NA SMYK.

Průhyb

$$w_{ref} = 5/384 * (q_{ref} * L^4) / (E_{0,mean} * I_y) = 2,82 \text{ mm}$$

okamžitý průhyb od stálého zatížení

$$\text{od } M: u_{m,inst1} = g_k * w_{ref} = 0,85 \text{ mm}$$

$$\text{od } V: u_{v,inst1} = 0,96 * E_{0,mean} / G_{mean} * (h/L)^2 * u_{m,inst1} = 0,05 \text{ mm}$$

$$u_{inst,1} = 0,90 \text{ mm}$$

okamžitý průhyb od proměnného zatížení

$$\text{od } M: u_{m,inst2} = q_k * w_{ref} = 3,53 \text{ mm}$$

$$\text{od } V: u_{v,inst2} = u_{v,inst1} = 0,05 \text{ mm}$$

$$u_{inst,2} = 3,58 \text{ mm}$$

okamžitý průhyb celkem

$$u_{inst} = u_{inst,1} + u_{inst,2} = 4,48 \text{ mm}$$

konečná deformace

$$k_{def} = 0,6$$

$$\psi_{21} = 0,3$$

$$u_{net,fin} = u_{inst,1} * (1 + k_{def}) + u_{inst,2} * (1 + \psi_{21} * k_{def}) = 5,67 \text{ mm}$$

Posouzení

$$u_{inst} < L/300$$
$$4,48 \text{ mm} < 10,42 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} < L/250$$
$$5,67 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm}$$

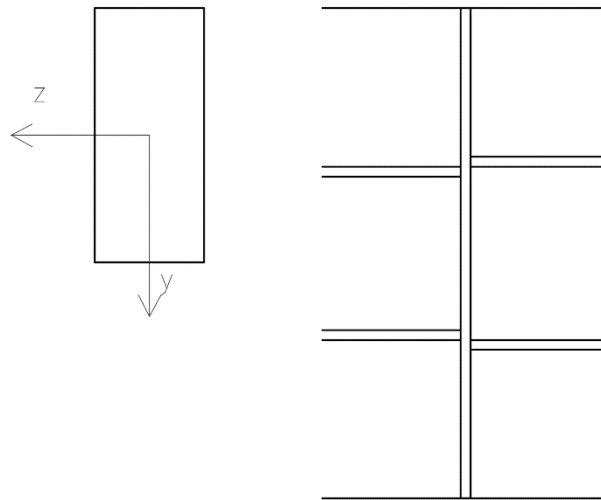
$$u_{net,fin} + u_{inst} < L/150$$
$$10,15 \text{ mm} < 20,83 \text{ mm}$$

VYHOVUJE NA PRŮHYB.

Kmitání

Okamžité průhyby jsou malé, menší než 5 mm, proto není konstrukce náchylná na kmitání. Posouzení kmitání není nutné.

4.8.3 Sloupek



Obr. 25: Schéma pro výpočet sloupku

Rozměry fošen

| | |
|----------------------------------|--------------------------|
| $b =$ | 60 mm |
| $h =$ | 140 mm |
| $A =$ | 8400 mm ² |
| $I_y = 1/12 \cdot h \cdot b^3 =$ | 2520000 mm ⁴ |
| $I_z = 1/12 \cdot b \cdot h^3 =$ | 13720000 mm ⁴ |
| $W_y = 1/6 \cdot h \cdot b^2 =$ | 84000 mm ³ |
| $W_z = 1/6 \cdot b \cdot h^2 =$ | 196000 mm ³ |
| $i_y =$ | 17 mm |
| $i_z =$ | 40 mm |

Zatížení sloupku

| | |
|----------------------------------|---------|
| zatěžovací šířka | 625 mm |
| výška L | 3000 mm |
| součinitel zatížení $\gamma_g =$ | 1,35 |
| součinitel zatížení $\gamma_q =$ | 1,50 |

| | charakteristické | návrhové |
|---------------------------|------------------|-----------------|
| vlastní tíha sloupků (4x) | 0,50 kN | 0,68 kN |
| podhled (4x) | 0,78 kN | 1,05 kN |
| horní práh (4x) | 0,11 kN | 0,14 kN |
| obvodovým plášť | 3,37 kN | 4,55 kN |
| podlaha (3x) | 1,13 kN | 1,52 kN |
| dolní práh (3x) | 0,11 kN | 0,15 kN |
| paždíky (8x) | 0,19 kN | 0,26 kN |
| stropnice (3x) | 0,28 kN | 0,38 kN |
| střecha | 0,84 kN | 1,13 kN |
| stropní fošny (4x) | 2,34 kN | 3,16 kN |
| | celkem stálé: | 9,66 kN |
| užitné (3x) | 7,81 kN | 11,72 kN |
| střecha (užitné) | 1,46 kN | 2,20 kN |
| | celkem proměnné: | 9,28 kN |
| | CELKEM | 18,93 kN |
| | | 26,95 kN |

Vzpěr

Vybočení ve směru osy z

| | |
|---|-----------------------|
| $\sigma_{c,0,d} = N_d/A =$ | 3,21 MPa |
| $l_{ef} =$ | 1000,00 mm |
| $\lambda_y = l_{ef}/i_y =$ | 57,74 |
| $\sigma_{c,crit} = \pi^2 * E_{0,05}/\lambda_y^2 =$ | 21,91 MPa |
| $\lambda_{rel,y} = (f_{c,0,k}/\sigma_{c,crit})^{1/2} =$ | 0,98 |
| $\beta_c =$ | 0,20 pro rostlé dřevo |
| $k_y = 0,5[1+\beta_c(\lambda_{rel,y}-0,3)+\lambda_{rel,y}^2] =$ | 1,05 |
| $k_{c,y} = 1/(k+(k^2-\lambda_{rel,y}^2))^{1/2} =$ | 0,40 |

Posouzení

| | | |
|------------------|---|-------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | < | $k_c * f_{c,0,d}$ |
| 3,21 MPa | < | 5,21 MPa |

Vybočení ve směru osy y

| | |
|---|-----------------------|
| $\sigma_{c,0,d} = N_d/A =$ | 3,21 MPa |
| $l_{ef} =$ | 3000,00 mm |
| $\lambda_z = l_{ef}/i_z =$ | 74,23 |
| $\sigma_{c,crit} = \pi^2 * E_{0,05}/\lambda_z^2 =$ | 13,25 MPa |
| $\lambda_{rel,y} = (f_{c,0,k}/\sigma_{c,crit})^{1/2} =$ | 1,26 |
| $\beta_c =$ | 0,20 pro rostlé dřevo |
| $k_z = 0,5[1+\beta_c(\lambda_{rel,y}-0,3)+\lambda_{rel,y}^2] =$ | 1,39 |
| $k_{c,z} = 1/(k+(k^2-\lambda_{rel,y}^2))^{1/2} =$ | 0,31 |

Posouzení

| | | |
|------------------|---|-------------------|
| $\sigma_{c,0,d}$ | < | $k_c^* f_{c,0,d}$ |
| 3,21 MPa | < | 3,96 MPa |

VYHOVUJE NA VZPĚR.

4.8.4 Práh v nejnižším podlaží

Rozměry fošen

| | |
|---|-----------------------|
| $b =$ | 140 mm |
| $2h =$ | 120 mm |
| $A_{ef} = 140 \times (60 + 2 \times 30)$ mm | 16800 mm ² |

Zatížení fošny

návrhová síla od sloupku 26,95 kN

Tlak kolmo k vláknům

| | |
|---|---|
| $\sigma_{c,90,d} = F_{c,90,d} / A_{ef}$ | 1,60 MPa |
| $k_{c,90}$ | 1,25 průběžné podpory, jehličnaté dřeviny |

Posouzení

| | | |
|-------------------|---|-------------------------|
| $\sigma_{c,90,d}$ | < | $k_{c,90}^* f_{c,90,d}$ |
| 1,60 MPa | < | 1,92 MPa |

VYHOVUJE NA TLAK KOLMO K VLÁKNŮM.

4.8.5 Výztužná stěna

vodorovná návrhová síla F_d (zatížení větrem na zatěžovací ploše 3125x3300 mm, vynásobené součinitelem proměnného zatížení) 7,12 kN

Rozměry překližky

| | |
|---------------------------|---------|
| $h =$ | 3000 mm |
| $b =$ | 1250 mm |
| $t_1 =$ | 18 mm |
| $t_2 =$ | 38 mm |
| \emptyset hřebíku $d =$ | 2,2 mm |
| délka hřebíku | 56 mm |
| rozteč hřebíků | 150 mm |

$$\rho_{k,C24} = 350 \text{ kg/m}^3$$

Vlastnosti překližky

$$\begin{aligned} E_{0,\text{mean}} &= 9,2 \text{ GPa} \\ f_{m,k} &= 23 \text{ MPa} \\ f_{t,0,k} &= 15 \text{ MPa} \\ f_{c,0,k} &= 15 \text{ MPa} \\ \rho_k &= 410 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{\text{mean}} &= 410 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku

$$M_{y,Rk} = 150 \cdot d^3 = 1597,20 \text{ Nmm}$$

Charakteristická pevnost v otláčení překližky a dřeva překližka:

$$f_{h,1,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} = 35,60 \text{ MPa}$$

dřevo:

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{0,3} = 22,65 \text{ MPa}$$

$$\beta = f_{h,2,k}/f_{h,1,k} = 0,64$$

$$F_{ax,Rk} \text{ neznámé, } = 0$$

Charakteristická únosnost ve stříhu pro jednu sponku

$$F_{V,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d = 1409,76 \text{ N}$$

$$F_{V,Rk} = f_{h,2,k} t_2 d = 1893,92 \text{ N}$$

$$F_{V,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d / (1 + \beta) \cdot [(\beta + 2\beta^2(1 + t_2/t_1 + (t_2/t_1)^2) + \beta^3(t_2/t_1)^2)^{1/2} - \beta(1 + t_2/t_1)] + F_{ax,Rk}/4 = 718,02 \text{ N}$$

$$F_{V,Rk} = 1,05 \cdot f_{h,1,k} t_1 d / (2 + \beta) \cdot [(2\beta(1 + \beta) + (4\beta^2(2 + \beta)M_{y,Rk})/f_{h,1,k} t_1^2 d)^{1/2} - \beta] + F_{ax,Rk}/4 = 531,36 \text{ N}$$

$$F_{V,Rk} = 1,05 \cdot f_{h,1,k} t_2 d / (1 + 2\beta) \cdot [(2\beta^2(1 + \beta) + (4\beta^2(1 + 2\beta)M_{y,Rk})/f_{h,1,k} t_2^2 d)^{1/2} - \beta] + F_{ax,Rk}/4 = 755,99 \text{ N}$$

$$F_{V,Rk} = 1,15 \cdot (2\beta/(1 + \beta))^{1/2} \cdot (2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d)^{1/2} + F_{ax,Rk}/4 = 507,29 \text{ N}$$

$$F_{V,Rk} = 507,29 \text{ N}$$

Charakteristická výztužná únosnost jednoho stěnového panelu (Metoda A)

$$b_0 = h/2 \text{ (konzervativně)} = 1500 \text{ mm}$$

$$c_i = b_i/b_0 = 0,83$$

$$F_{i,v,Rk} = 2F_{V,Rk} b_i c_i / s = 7,05 \text{ kN}$$

Charakteristická výztužná únosnost stěnové sestavy

$$F_{v,Rk} = \sum F_{i,v,Rk} = 14,09 \text{ kN}$$

Pozn.: Navržená skladba obsahuje z jedné strany překližku (18 mm) a z druhé strany sádkokarton (2x 12,5 mm). Pro takovouto skladbu není v Eurokódu specifický předpis, proto jsem výztužnou stěnu posuzovala, jako by měla překližku z obou stran.

Návrhová výztužná únosnost stěnové sestavy

$$k_{\text{mod}} \text{ (krátkodobý)} = 0,90$$

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} F_{v,Rk} / \gamma_M = 9,76 \text{ kN}$$

Posouzení MSÚ stěny

$$\begin{array}{lcl} F_{v,Rd} & > & F_d \\ 9,76 \text{ kN} & > & 7,12 \text{ kN} \end{array}$$

VÝZTUŽNÁ STĚNA VYHOVUJE NA VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ

Návrhové vnější síly v kotvení

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = F_d h / b = 8,54 \text{ kN}$$

Kotvení stěny je třeba navrhnout na síly 8,54 kN.

4.8.6 Přípoj pláště ke sloupku

Spojovací prostředek

| | |
|-----------------|--------|
| Ø hřebíku d = | 2,2 mm |
| délka hřebíku | 56 mm |
| rozteč hřebíků | 150 mm |

| | |
|--|-------|
| t_{pen} = dél. hřebíku - tl. překl. = | 38 mm |
| t = tl. překližky | 18 mm |

Charakteristiky materiálů

| | |
|-------------------------------|-----------------------|
| $\rho_{k,C24}$ = | 350 kg/m ³ |
| $\rho_{k,\text{překližka}}$ = | 410 kg/m ³ |

Zatížení

| | |
|-------------------------|------------------------|
| sání větru (krátkodobé) | 0,73 kN/m ² |
| na šířce 625 mm Q_d | 456 N/m |

Charakteristická pevnost hřebíku na vytažení

$$f_{ax,k} = (20 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 = 2,45 \text{ MPa}$$

Charakteristická pevnost hřebíku na protažení hlavičky

$$f_{head,k} = (70 \cdot 10^{-6}) \rho_k^2 = 11,77 \text{ MPa}$$

Charakteristická únosnost hřebíku na vytažení

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} dt_{pen} = 204,82 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = f_{ax,k} dt + f_{head,k} dh^2 = 324,83 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rd} = k_{mod} \cdot F_{ax,Rk} / \gamma_M = 141,80 \text{ N}$$

Rozteč hřebíků

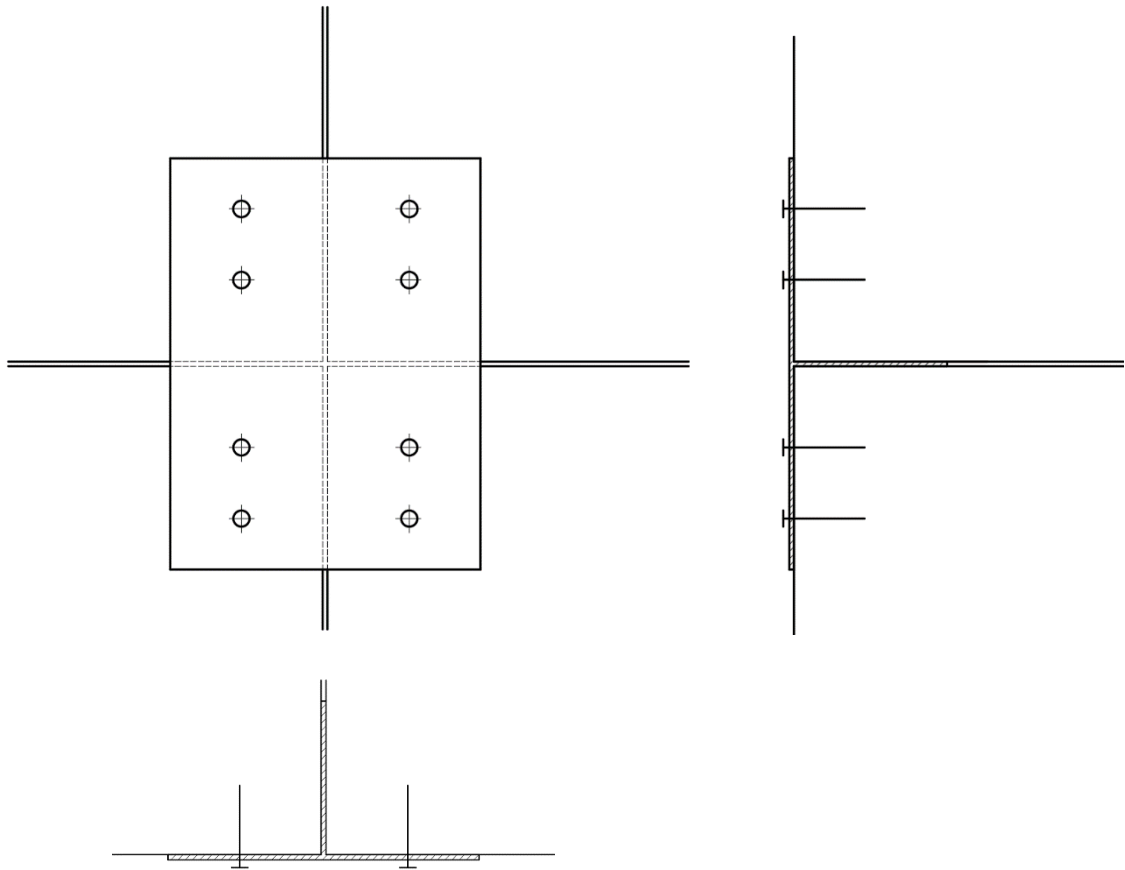
$$s = 1000 \cdot F_{ax,Rd} / Q_d = 310,79 \text{ mm}$$

HŘEBÍKY NAVRŽENÉ PRO VÝZTUŽNOU STĚNU 2,2/150 mm VYHOVUJÍ NA VYTAŽENÍ.

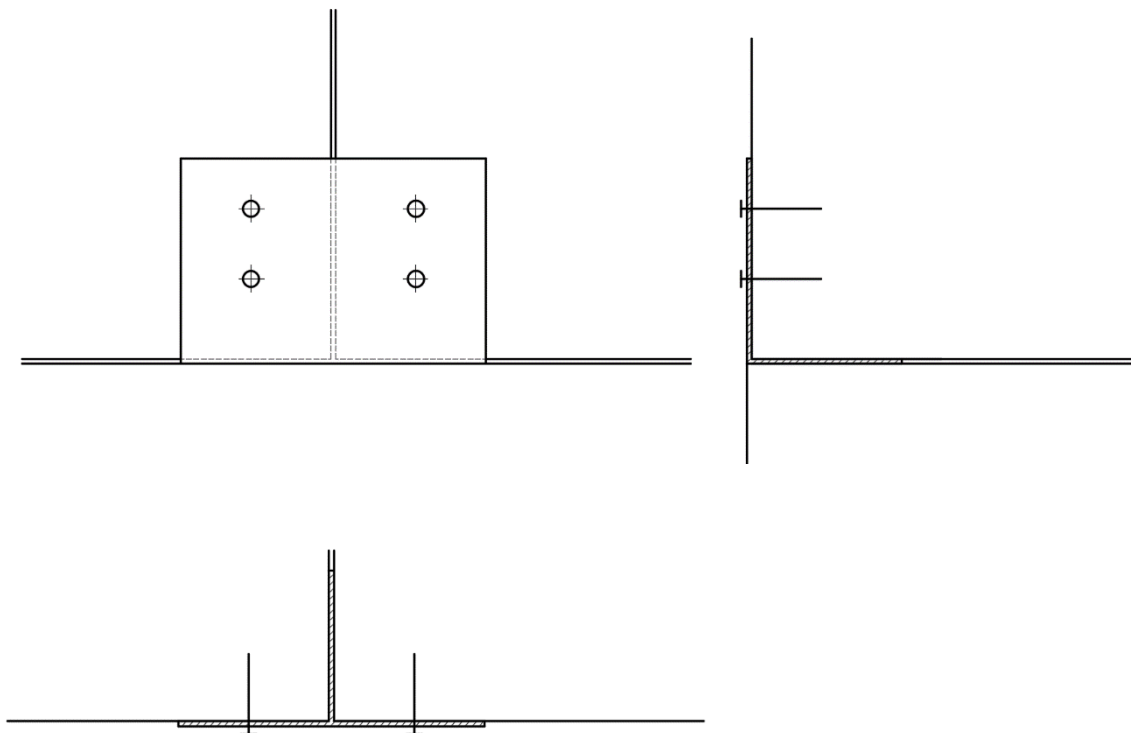
4.9. Návrhy řešení

4.9.1 Propojení modulárních buněk

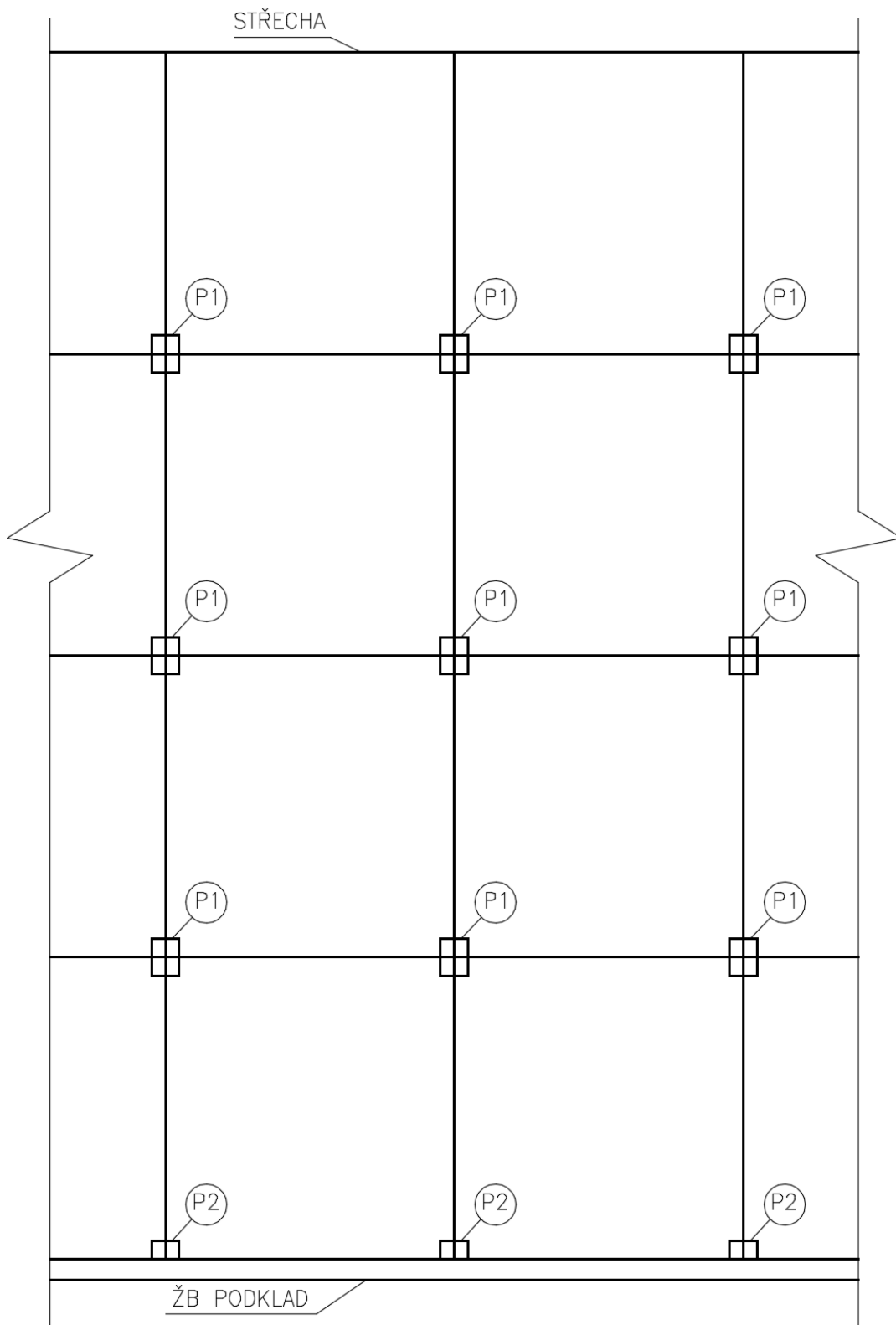
Jako poměrně nenáročný spojovací prostředek modulů navrhuji ocelovou desku, která má kolmo na svou rovinu přivařené 2 na sebe kolmé desky, které se umístí mezi moduly. V návaznosti na zateplení a fasádu se nabízí dvě možnosti, jak s ocelovou deskou naložit. Buď v místě desky zmenšíme tloušťku izolantu a necháme prvek skrytý, nebo ponecháme tloušťku izolantu stejnou a necháme na názoru architekta, který může výstupky na fasádě zakomponovat do svého návrhu. Také se nesmí zapomenout na tepelnou techniku, která musí jít ruku v ruce s návrhem. S přibývajícými podlažními je možné zakomponovat spoje do požárních pásů



Obr. 26: Detail spojovacího prostředku - 4 moduly (prvek P1)



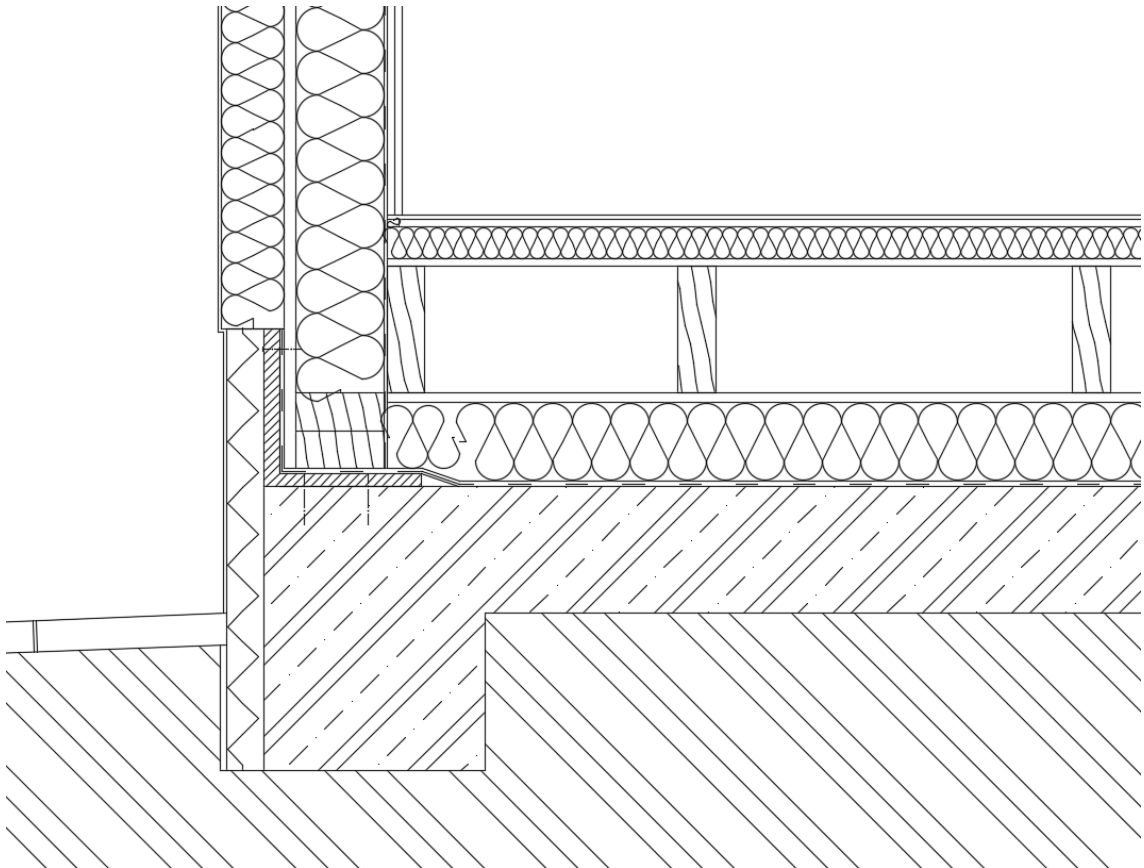
Obr. 27: Detail spojovacího prostředku - 2 moduly (prvek P2)



Obr. 28: Schéma umístění spojovacích prostředků, pohled bez vnějšího zateplovacího systému

4.9.2 Napojení buňky na základ

Propojení modulárních buněk a základové konstrukce navrhuji realizovat pomocí ocelového úhelníku „L“. V místě hranice modulů se jedná zároveň o spojovací prostředek P2. Předsazení, napojení hydroizolace, návrh základů apod. nechávám k řešení specialistům.



Obr. 29: Detail napojení modulu na základovou konstrukci

4.9.3 Sloupky – vzpěr

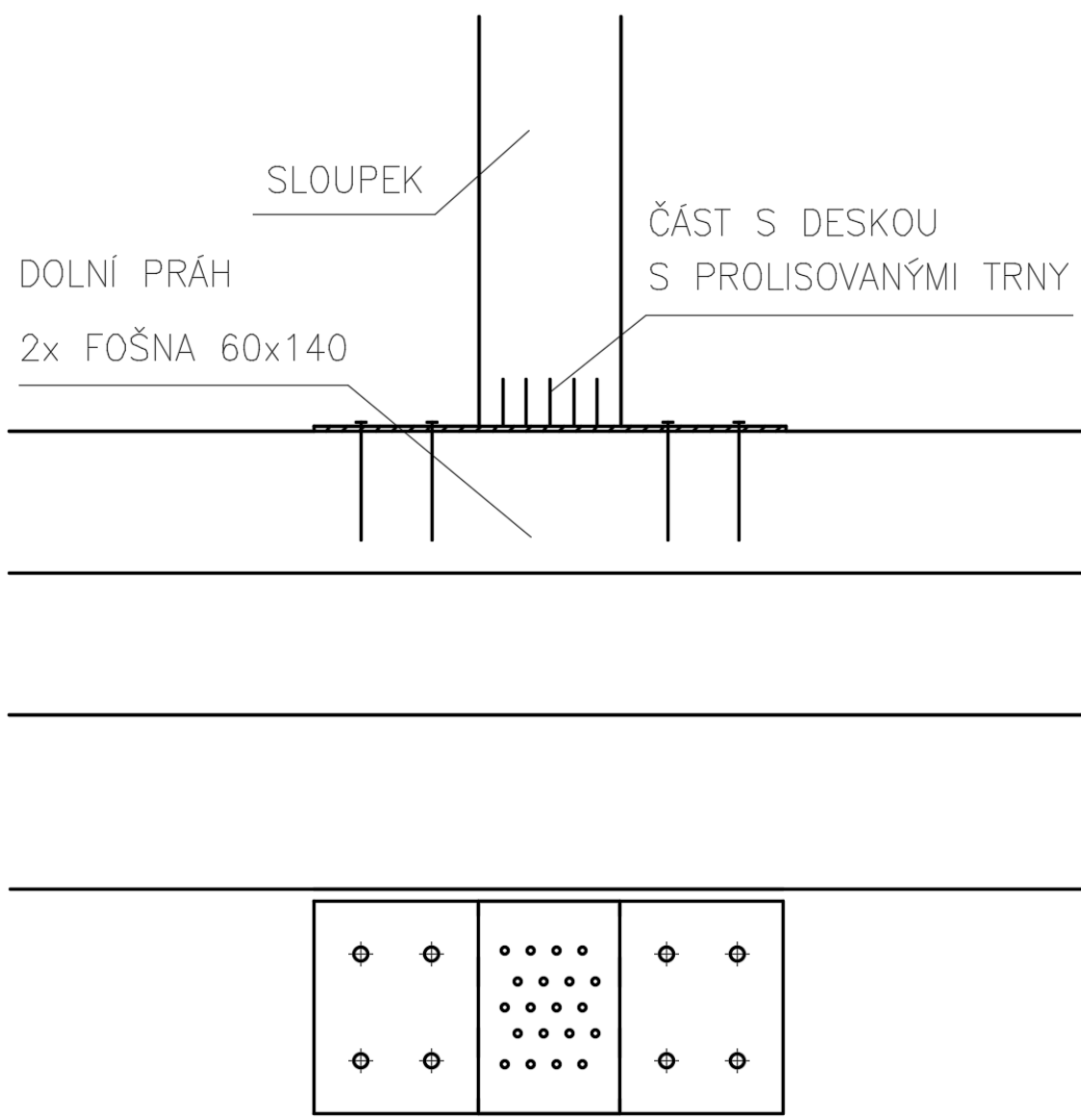
Během návrhu sloupků jsem byla nucena zvětšovat dimenzi sloupku z důvodu náchylnosti na vzpěr ve směru kolmém na stěnu. Z toho usuzuji, že se při vyšší podlažnosti bude muset dimenze sloupků spodních buněk výrazně navyšovat. Od určité podlažnosti nebude možné dřevěné sloupky s rozestupy 625 mm použít, protože jejich dimenze bude velmi neúsporná a bude lepší použít jiný materiál, kupříkladu ocel.

4.9.4 Řešení tlaku kolmo k vláknům

Dá se předpokládat, že dolní prahy spodních buněk jsou náchylné na tlak kolmo k vláknům. Je pravděpodobné, že se způsob posuzování tlaku kolmo k vláknům v budoucnu změní, ale dle současných postupů nám vytváří nemalý problém. Kdybych v posouzení dolního prahu v návrhové části neuvažovala $k_{c,90}$, nevyhověl by už čtyřpodlažní objekt (ve výpočtu jsem použila $k_{c,90} = 1,25$ – tuto hodnotu povoluje Eurokód 5 a jeho změna A1). [35] [36] S uvážením možnosti umístění do jiné klimatické oblasti a použití jiných skladeb konstrukcí, které budou vykazovat mnohem vyšší zatížení, můžu konstatovat, že dolní prah v takových případech nemusí vyhovovat ani pro třípodlažní stavbu.

Jako řešení tohoto problému se nabízí určitý typ kování, navrhuji obdélníkový tvar. Uprostřed bude část s prolisovanými trny, která bude přibita na sloupek. Na okrajích budou připravené otvory na hřebíky, kterými se následně sloupek připojí k prahu z fošen. Kování nebude na celou šířku prahu, postačí odsazení řekněme 2 cm od obou okrajů, v závislosti na šířce dolního prahu. Toto odsazení zlepší tepelně technické vlastnosti spoje.

Kování nebude třeba u modulů v horních podlažích. V tabulce následující po detailu kování shrnuji závislost podlažnosti na přítomnosti kování, vztaženo na mnou volené skladby konstrukcí a jejich objemovou tíhu.



Obr. 30: Detail kování – shora: řez, půdorys

| podlaží směrem odshora | tlak kolmo k vláknům [MPa] | pevnost kolmo k vláknům [MPa] | vyhovuje na tlak kolmo k vláknům? | speciální prostředek |
|------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| 1. | 0,35 | 1,92 | ANO | NE |
| 2. | 0,71 | 1,92 | ANO | NE |
| 3. | 1,07 | 1,92 | ANO | NE |
| 4. | 1,60 | 1,92 | ANO | NE |
| 5. | 1,79 | 1,92 | ANO | NE |
| 6. | 2,15 | 1,92 | NE | ANO |

Tabulka 13: Závislost podlažnosti na použití kování

Závěr

Domnívám se, že jsem ve své práci naplnila cíl, který jsem si v úvodu stanovila. Poznatky jsem se pokusila podat čtivou formou, aby si každý čtenář mohl snadno najít, co chce zrovna vědět. V praktické části jsem naznačila čtyři místa, kde spatřuji slabiny modulů, co se týká statiky. U návrhu skladeb jsem připsala i výsledný součinitel prostupu tepla. Také jsem poměrně přehledně sepsala u statických posouzení postup a vzorce, takže mohou částečně sloužit i jako studijní pomůcka. V tomto případě mluvím z vlastní zkušenosti studenta, který si hledal studijní materiály ve všech možných zdrojích.

V kapitole, která se zabývá firmami, jež se zabývají modulárními vícepodlažními dřevostavbami mě překvapilo, že u nás v České republice prakticky neexistuje firma, která by stavěla z celých sestavených a plně vybavených modulů. Sice k tomu jedna ze společností spěje, ale zatím se máme od zahraničí co učit. Dobrymi učiteli by mohly být německy mluvící země, tj. Rakousko, Německo a Švýcarsko.

Během psaní práce jsem dospěla k závěru, že je ještě mnoho věcí, které je potřeba pro modulární vícepodlažní dřevostavby do detailu vyřešit. Jednou z nich jsou technická zařízení budovy – kudy a jakým způsobem budou vedeny instalace, jak bude zajištěna vzduchotechnika atd. Další samostatnou kapitolou jsou kompletační konstrukce – napojování obalových konstrukcí mezi moduly, řešení technických detailů, správné provedení spodní stavby a střechy. Nejožehavějším tématem je požární bezpečnost, která nám modulární vícepodlažní dřevostavby významně limituje ve výšce. Jistě by se našlo mnoho dalších témat, já uvádím jen ta, která považuji za nejpodstatnější. Každé ze zmíněných témat by bylo možné zpracovat v samostatné práci, ať už bakalářské nebo diplomové. Ostatně i má bakalářská práce, Modulární vícepodlažní dřevostavby, by mohla být dále, více do detailu, rozpracována v práci diplomovou.

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Příklad pnutí stropní konstrukce při odstranění podélných stěn [1] | 9 |
| Obr. 2: Příklad lehkého skeletu – Platform frame [7]..... | 12 |
| Obr. 3: RD Rýmařov – bytový dům v Lodži (Polsko) [15]..... | 27 |
| Obr. 4: Kaufmann Bausysteme – zdravotní středisko Josefhof v Grazu (Rakousko) [17]..... | 28 |
| Obr. 5: LiWood – studentské ubytování v Heidelbergu (Německo) [18]..... | 29 |
| Obr. 6: Stora Enso – komplex bytových domů Puukuokka v Jyväskylä (Finsko) [20]..... | 29 |
| Obr. 7: Pyrénées Charpentes – studentské koleje Montalambert v Toulouse (Francie) [21]..... | 30 |
| Obr. 8: Blumer Lehmann – azylové centrum Grosshof v Kriens (Švýcarsko) [22] | 31 |
| Obr. 9: ERNE EG Holzbau – dočasná škola Lettenwiese v Curychu (Švýcarsko) [23]..... | 31 |
| Obr. 10: TG Escapes – škola v Claremontu (Velká Británie) [25]..... | 32 |
| Obr. 11: Carbon Dynamic – fotografie z realizace Kingsmills [26]..... | 33 |
| Obr. 12: Schéma půdorysu řešeného objektu | 35 |
| Obr. 13: Schéma skladby obvodového pláště | 37 |
| Obr. 14: Schéma skladby podlahy | 38 |
| Obr. 15: Schéma skladby stropu | 39 |
| Obr. 16: Hranice mezi moduly..... | 39 |
| Obr. 17: Mapa sněhových oblastí [33]..... | 43 |
| Obr. 18: Mapa větrných oblastí [33] | 44 |
| Obr. 19: Schéma typu budovy [32]..... | 45 |
| Obr. 20: Graf pro zjištění součinitele expozice [32] | 45 |
| Obr. 21: Graf součinitele vnějšího tlaku [32] | 46 |
| Obr. 22: Plochy svislých konstrukcí [32]..... | 46 |
| Obr. 23: Schéma ploch střechy [32] | 48 |
| Obr. 24: Půdorys a bokorys modulární buňky | 49 |
| Obr. 25: Schéma pro výpočet sloupku | 54 |
| Obr. 26: Detail spojovacího prostředku - 4 moduly (prvek P1)..... | 60 |
| Obr. 27: Detail spojovacího prostředku - 2 moduly (prvek P2)..... | 60 |

| | |
|---|----|
| Obr. 28: Schéma umístění spojovacích prostředků, pohled bez vnějšího zateplovacího systému..... | 61 |
| Obr. 29: Detail napojení modulu na základovou konstrukci | 62 |
| Obr. 30: Detail kování – shora: řez, půdorys | 64 |

Seznam příloh

Příloha 1 – Půdorys bytu 2.1

Příloha 2 – Řez A-A‘

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1: Kombinace konstrukčních systémů modulu [1] | 15 |
| Tabulka 2: Kategorizace podle tříd následků a doporučené strategie [10]..... | 21 |
| Tabulka 3: Zatížení – podlaha..... | 41 |
| Tabulka 4: Zatížení – střešní plášť | 41 |
| Tabulka 5: Zatížení – podhled..... | 42 |
| Tabulka 6: Zatížení – obvodový plášť | 42 |
| Tabulka 7: Hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny [32]..... | 46 |
| Tabulka 8: Hodnoty $c_{pe,10}$ a w_e pro příčný směr..... | 47 |
| Tabulka 9: Hodnoty $c_{pe,10}$ a w_e pro podélný směr | 47 |
| Tabulka 10: Hodnoty součinitele vnějšího tlaku pro plochou střechu [32] | 48 |
| Tabulka 11: Hodnoty $c_{pe,10}$ a w_e pro střechu..... | 48 |
| Tabulka 12: Návrhové pevnosti..... | 50 |
| Tabulka 13: Závislost podlažnosti na použití kování | 64 |

Reference

- [1] HUSS, Wolfgang, Matthias KAUFMANN a Konrad MERZ. *Building in Timber: Room Modules*. 2019. Mnichov: DETAIL, 2019. ISBN 978-3-95553-494-3.
- [2] KOMA MODULAR [online]. Vizovice: KOMA MODULAR, c2021 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.koma-modular.cz/>
- [3] Mjøstårnet in Norway becomes world's tallest timber tower. *Dezeen* [online]. London: Dezeen, 19 March 2019 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.dezeen.com/2019/03/19/mjostarne-worlds-tallest-timber-tower-voll-arkitekter-norway/>
- [4] Co je dřevostavba a jaké jsou její druhy. *DřevoStavby* [online]. Praha: PRO VOBIS, c2021, 12. 6. 2019 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.drevostavby.cz/vse-o-drevostavbach/jak-na-drevostavbu/co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/3006-co-je-drevostavba-a-jake-jsou-jeji-druhy/>
- [5] GIJZEN, Richard. *Modular cross-laminated timber buildings*. Delft, Nizozemsko, 2017. MSc Thesis. Technická univerzita Delft.
- [6] CLT panely: Vrstvené masivní panely, které voní dřevem. *Dřevostavitel* [online]. Brno: NETION, 18.10.2017 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/clt-panely>
- [7] KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4.
- [8] ČSN 73 0802. *Požární bezpečnost staveb – Nevýrobní objekty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [9] ČSN EN 1995-1-2. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [10] ČSN EN 1991-1-7. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [11] Vyhláška č. 209/2018 Sb., *Vyhláška o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel* ve znění k 13.3.2021
- [12] Zákon č. 13/1997 Sb., *Zákon o pozemních komunikacích* ve znění k 13.3.2021
- [13] LAWSON, Mark, Ray OGDEN a Chris GOODIER. *Design in Modular Construction*. Boca Raton: CRC Press, 2019. ISBN 9780367865351.
- [14] MAZANCOVÁ, Markéta. Modulové rodinné domy, jejich pro a proti. *Dřevostavitel* [online]. České Budějovice: Český internet, 12. 6. 2019 [cit. 2021-03-18]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/modulove-rodinne-domy-jejich-pro-a-proti-26954.html>

- [15] POHLOUDEK, Jiří. Vícepodlažní výstavba. *RD Rýmařov* [online]. RD Rýmařov, c2021 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.rdrymarov.cz/vicepodlazni-vystavba>
- [16] DUŠKOVÁ, Hana. Moderní výstavba na bázi technologie lehké prefabrikace dřeva v ČR. *Stavebnictví* [online]. 2012, 12(02), 76 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/files/dokumenty/stavebnictvi-2012-02-5.pdf?fbclid=IwAR0F4Rs_4s1KBkul3PtOQrdESb1szlZYZnnPh0E6e4Nyz-tjwwgUNlc713Y
- [17] *KAUFMANN BAUSYSTEME* [online]. Reuthe: Kaufmann Bausysteme [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://kaufmannbausysteme.at/de/>
- [18] *LiWood* [online]. Mnichov: LiWood [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.liwood.com/>
- [19] *Moelven* [online]. Moelv: Moelven, c2021 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.moelven.com/>
- [20] *Stora Enso* [online]. Helsinky: Stora Enso [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/>
- [21] *Pyrénées Charpentes* [online]. Agos-Vidalos: Pyrénées Charpentes [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.pyrenees-charpentes.fr/>
- [22] *Blumer-Lehmann* [online]. Gossau: Blumer-Lehmann [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.lehmann-gruppe.ch/>
- [23] *ERNE Holding AG* [online]. Laufenburg: ERNE Holding, c2021 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.erne.ch/>
- [24] *Frame Homes* [online]. Redruth: Frame Homes, c2021 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.framehomes.co.uk/>
- [25] *TG Escapes* [online]. Coventry: TG Escapes [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.tgescapes.co.uk/>
- [26] *CARBON DYNAMIC* [online]. Alness: CARBON DYNAMIC, c2020 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://carbondynamic.com/>
- [27] ČSN 73 4301. *Obytné budovy*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [28] *V-systém elektro* [online]. Benešov: V-systém elektro, c2020 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <https://www.v-system.cz/>
- [29] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [30] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [31] ČSN EN 1991-1-3 ED. 2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [32] ČSN EN 1991-1-4 ED. 2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.

- [33] Větrná a sněhová mapa. *David Štíčka – fotovoltaické systémy* [online]. Radslavice: David Štíčka – fotovoltaické systémy, c2015–2021 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.sticka.cz/mapy/>
- [34] AUGUSTIN, Manfred, Kolbein BELL, Petr KUKLÍK, Anna KUKLÍKOVÁ, Antonín LOKAJ a Miroslav PREMROV. *Příručka 2 – Navrhování dřevěných konstrukcí podle Eurokódu 5* [online]. 2008, 131 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf
- [35] ČSN EN 1995-1-1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [36] ČSN EN 1995-1-1 ZMĚNA A1. *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2009.