

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

Návrh realizace obytné dřevostavby pro trvalé bydlení

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Vojtěch Šindelář, DiS.

Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vojtěch Šindelář, DiS.

Dřevěné konstrukce a stavby na bázi dřeva

Název práce

Návrh realizace obytné dřevostavby pro trvalé bydlení

Název anglicky

Proposal for the implementation of a residential wooden building for permanent housing

Cíle práce

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

Metodika

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

Červenec – srpen 2023:

- Literární rozbor problematiky výroby objektu.

Září – říjen 2023:

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

Říjen – prosinec 2023:

- Souhrnná technická zpráva.

Říjen 2023 – březen 2024:

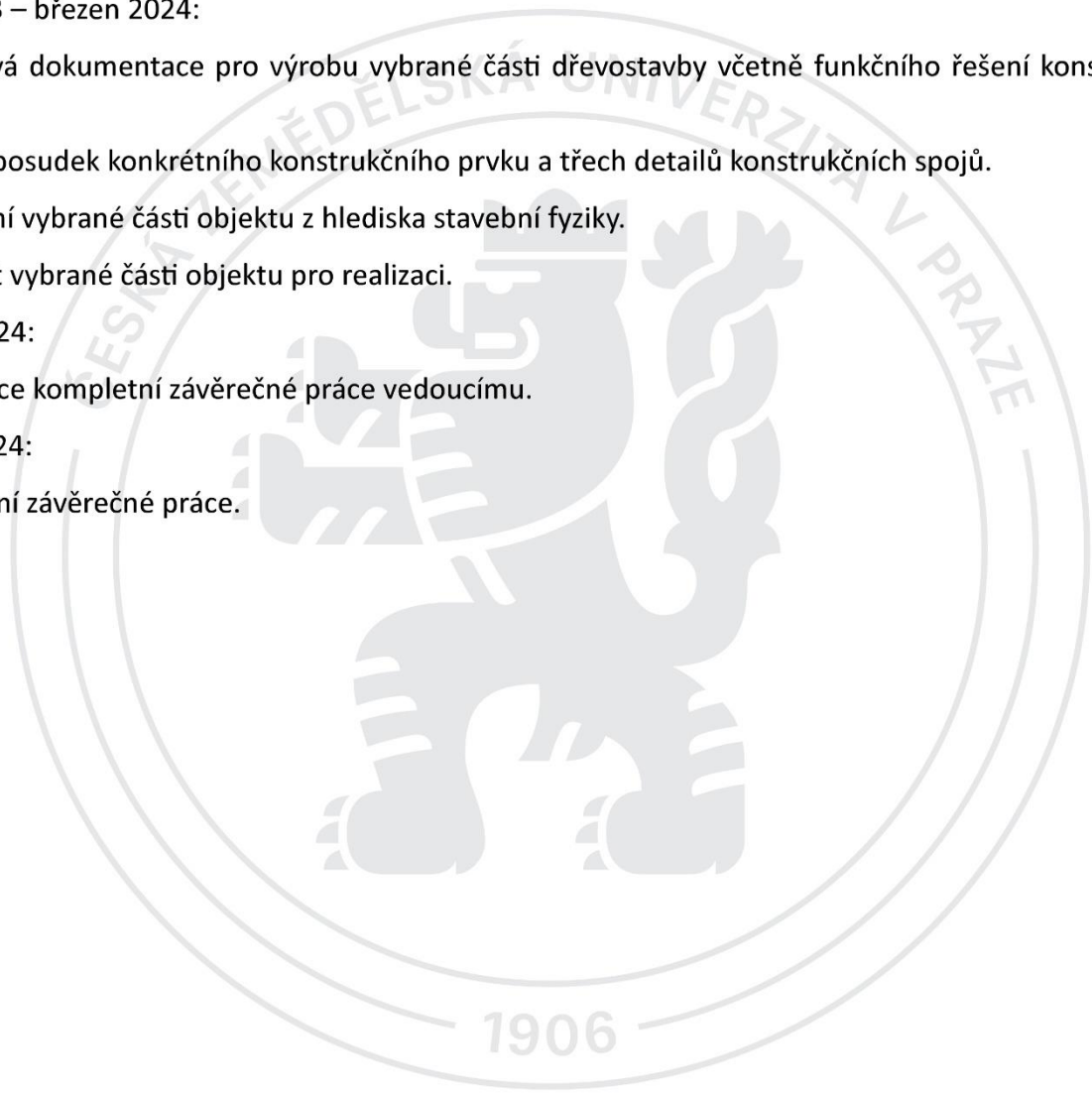
- Výkresová dokumentace pro výrobu vybrané části dřevostavby včetně funkčního řešení konstrukčních detailů.
- Statický posudek konkrétního konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů.
- Posouzení vybrané části objektu z hlediska stavební fyziky.
- Rozpočet vybrané části objektu pro realizaci.

Březen 2024:

- Prezentace kompletní závěrečné práce vedoucím.

Duben 2024:

- Odevzdání závěrečné práce.



Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

Dřevostavba; konstrukce na bázi dřeva; prefabrikace; výroba

Doporučené zdroje informací

- Borgström, E. Design of timber structures: Structural aspects of timber construction. SE 102 04
Stockholm: Swedish Forest Industries Federation, 2016. ISBN 978-91-980304-8-8
- Faherty, F.K. (1998). Wood Engineering and Construction Handbook. New York: McGraw Hill. ISBN-13:
978-0070220706
- Kolb, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2. aktualizované vydání v České republice. Přeložil Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024740713
- Kuklík, P. Dřevěné konstrukce. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2005. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 8086769720
- Neufert, E., Neufert, P. Navrhování staveb: zásady, normy, předpisy o zařízeních, stavbě, vybavení, nárocích na prostor, prostorových vztazích, rozměrech budov, prostorech, vybavení, přístrojích z hlediska člověka jako měřítko a cíle. 2. české vyd., (35. německé vyd.). Praha: Consultinvest, 2000. ISBN 8090148662
- Newman, M. Design and Construction of Wood Framed Buildings, New York: McGraw-Hill Education, 1994. ISBN 978-0070463639
- Opderbecke, A. Das Holzbau-Buch: Für den Schulgebrauch und die Baupraxis. Wallingford: Chiron Media 2013. ISBN: 9783878707196
- Sobon, J.A., Schroeder, R. (1984). Timber Frame Construction: All About Post-and-Beam. New York: Storey Book. ISBN 9780882663661
- Steiger, L. (2017). Basics Timber Construction. Birkhäuser. Basileje: ISBN-13: 978-3764381028
- Štefko, J., Reinprecht, L. Dřevěné stavby. Konstrukce, ochrana a údržba. Bratislava: Jaga Group, 2004. ISBN 8088905958
-

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Elektronicky schváleno dne 25. 6. 2023

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 7. 2023

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Návrh realizace obytné dřevostavby pro trvalé bydlení vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil, a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne 4.4.2024

Vojtěch Šindelář

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu této práce Ing. Přemyslu Šedivkovi, PhD. za jeho odborné vedení, za všechny proběhlé konzultace, čas jimi strávený a za jeho ochotu při poskytování odborných a velice užitečných rad a připomínek.

Návrh realizace obytné dřevostavby pro trvalé bydlení

Souhrn

Hlavním záměrem této diplomové práce je vytvoření výrobní dokumentace rodinného domu určeného k trvalému bydlení. Výrobní dokumentace je vytvořena na základě zvoleného projektu rodinného domu (dále též RD) zpracovaného ve stupni DSP – tedy dokumentace pro stavební povolení. Stejný postup často volí i firmy, které se v praxi zabývají výrobou a realizací prefabrikovaných dřevostaveb.

Tato práce názorně prezentuje možnou podobu výrobní dokumentace pro prefabrikovanou dřevostavbu z panelů s nosnou konstrukcí tvořenou lehkou rámovou konstrukcí. Konkrétně se jedná o RD – bungalov s dispozicí 5+kk a k němu připojený sklad zahradního nábytku a náradí. Objekt RD je v exteriéru uvažován jako obložený svíslými modřínovými palubkami, objekt přidruženého skladu je navržen v běžnější exteriérové úpravě – konkrétně fasádní omítce.

Nedílnou součástí návrhu výrobní dokumentace jsou též zpracované konstrukční detaily, které umožňují přesné vyhotovení panelů a následně i celé stavby tak, jak autor dokumentace zamýšlí. Neméně důležité je pro dlouhodobé fungování stavby a poskytnutí co možná nejkvalitnějšího vnitřního prostředí stavby jejím uživatelům posouzení jednotlivých konstrukcí stavby z hlediska stavební fyziky.

Dalšími důležitými, avšak v této práci ne až tak rozpracovanými částmi jsou bezesporu i statické posouzení budovy, zajišťující její bezpečné a dlouhotrvající fungování z hlediska mechanického, či rozpočet vybraných částí stavby, který je důležitý zejména pro investora, a to konkrétně ve stádiu plánování stavby.

Dále tato práce obsahuje souhrnnou technickou zprávu a dokumentaci pro výrobu vybraného prvku na CNC stroji.

V neposlední řadě je v této práci obsažen literární rozbor oblasti prefabrikovaných dřevostaveb.

Klíčová slova: dřevostavba, konstrukce na bázi dřeva, prefabrikace, výroba

Proposal for the implementation of a residential wooden building for permanent housing

Summary

The main focus of this diploma thesis is creation of drawings for production of a house which is intended for permanent residence. The production documentation is based on a chosen project of a house (hereafter also RD) processed at the, so-called, DSP level - i.e. documentation for a building permit. The same procedure is often chosen by companies that deal with the production and realization of prefabricated wooden buildings.

This work shows the possible form of production documentation for a prefabricated wooden building consisting of panels with a load bearing structure made of a wooden frame. Specifically, this thesis shows a documentation of a bungalow with a 5+kk layout and an attached storage room for garden furniture and tools. The exterior of the residential building is finished with vertical larch boards, the associated warehouse room (or building if you wish) is designed in a more common exterior finish - specifically, facade plaster.

An integral part of the production documentation are also structural details, which enable the exact execution of the panels and subsequently the entire building as intended by the author of the documentation. No less important for the long-term functionality of the building and the provision of the highest possible quality of the internal environment of the building to its users is the assessment of the individual constructions of the building from the point of view of building physics.

Other important, but not so elaborated parts in this thesis, are undoubtedly the static assessment of the building, ensuring its safe and long-lasting functioning from a mechanical point of view, or the budget estimate of selected parts of the building, which is especially important for the investor, specifically at the planning stage.

Furthermore, this work contains a summary technical report and documentation for the production of a selected element on a CNC machine.

Finally, this work contains a literary analysis of the field of prefabricated wooden buildings.

Keywords: wood construction, wood-based construction, prefabrication, production

Obsah

1 Úvod.....	13
2 Cíle práce	15
3 Literární rešerše	16
3.1 Prefabrikace.....	16
3.1.1 Prefabrikace obecně	16
3.1.2 Stupně prefabrikace	17
3.2 Výroba z hlediska technologického vybavení.....	20
3.2.1 Výroba se základním technologickým vybavením.....	20
3.2.2 Výroba s využitím moderních technologií.....	21
3.2.3 Automatizovaná výroba	24
3.3 Výroba z hlediska prostorového rozložení.....	27
3.3.1 Hnízdové rozvržení	27
3.3.2 Ostrůvkové rozvržení.....	27
3.3.3 Liniové rozvržení a „U“ rozvržení.....	28
3.4 Funkční vrstvy panelů a jejich materiálová báze.....	28
3.4.1 Obvodové stěnové panely	28
3.4.1.1 Nosná vrstva	28
3.4.1.2 Vzduchotěsná vrstva.....	31
3.4.1.3 Vrstvy tepelné izolace	33
3.4.1.4 Interiérové souvrství	35
3.4.1.5 Exteriérové souvrství.....	36
3.4.2 Příčkové stěnové panely	38
3.4.3 Stropní panely	39
3.4.4 Střešní panely.....	41
4 Metodika	42

5	Výsledky	46
5.1	Literární řešerše	46
5.2	Souhrnná technická zpráva.....	46
5.3	Skladby konstrukcí	47
5.3.1	Skladba základové konstrukce a podlahy v RD – označení F1	48
5.3.2	Skladba základové konstrukce a podlahy ve skladu – označení F2	49
5.3.3	Skladba stropu 1.NP v RD – označení C1	50
5.3.4	Skladba stropu 1.NP ve skladu – označení C2	51
5.3.5	Skladba střešního pláště – označení R1	52
5.3.6	Skladba obvodové stěny RD – označení W1	53
5.3.7	Skladba obvodové stěny RD – označení W2.....	54
5.3.8	Skladba obvodové stěny skladu – označení W3.....	55
5.3.9	Skladba štítové stěny RD – označení W4.....	56
5.3.10	Skladba štítové stěny skladu – označení W5.....	57
5.3.11	Skladba stěny mezi RD a skladem – označení W6.....	58
5.3.12	Skladba vnitřní příčky – označení W7.....	59
5.3.13	Skladba vnitřní příčky – označení W8.....	60
5.4	Tepelně technické posouzení skladeb	60
5.5	Statické posouzení vybraného prvku a konstrukčních spojů	61
5.6	Řešení vybraných konstrukčních detailů.....	62
5.7	Výrobní dokumentace vybrané části stavby.....	63
5.8	Dokumentace vybraného prvku pro CNC.....	65
5.9	Rozpočet vybrané části práce.....	66
6	Diskuze	67
6.1	Rozbor výrobní dokumentace	67
6.2	Možnosti využití návrhu	68
6.3	Výhody a nevýhody vytvořeného návrhu	68

7 Závěr.....	69
8 Literatura.....	71
8.1 Knihy a odborné publikace	71
8.2 Zákony a vyhlášky.....	75
8.3 Internetové zdroje	75
8.4 Zdroj projektu.....	78
9 Seznam příloh.....	81

Seznam použitých zkratk a symbolů

μ – faktor difúzního odporu

BSH – Brettschichtholz (lepené lamelové dřevo)

CLT – Cross Laminated Timber (lepené lamelové dřevo)

CNC – Computer Numerical Control (počítačem řízený obráběcí stroj)

CO₂ – oxid uhličitý

CW – kovový profil tvaru C určený pro stěnové konstrukce

ČSÚ – Český statistický úřad

d – tloušťka

DSP – dokumentace pro stavební povolení

EPDM – ethylene propylene diene monomer rubber (etylen-propylen-dienový kaučuk)

EPS – expandovaný polystyren

KVH – Konstruktionsvollholz (konstrukční dřevo)

LCA – Life Cycle Assessment (posuzování životního cyklu)

LVL – Laminated Veneer Lumber (vrstvené dřevo)

MHM – Massive Holz Mauer (sbíjené panely na principu kříženého dřeva)

NP – nadzemní podlaží

OSB – Oriented Strand Board (orientovaná třísková deska)

PVC – polyvinylchlorid

RD – rodinný dům

s_d – ekvivalentní difúzní tloušťka

SDK – sádrokarton

SIP – Structural Insulated Panel

SVD – sádrovláknitá deska

TPO – termoplastické polyolefiny

UW – kovový profil tvaru U určený pro stěnové konstrukce

XPS – extrudovaný polystyren

1 Úvod

I přes všechny čtenářům této práce známé problémy poslední doby byli stavitelé rodinných domů schopni udržet objemy zakázek (postavených rodinných domů). Čísla dle ČSÚ (©2023) ukazují, že mezi léty 2018–2022 se celkový počet stabilně pohybuje mezi 18 a 19 tisíci postavených rodinných domů. Ze stejného zdroje (ČSÚ ©2023) patrné i to, že dřevostavby se ve zmíněných letech 2018–2022 pohybují přibližně mezi 14–16 % z celkového množství postavených rodinných domů. Oproti předchozím létům se sice v roce 2022 postavilo procentuálně o trochu méně rodinných domů než v předchozích letech, ale i tak dřevostavby oproti dřívějšímu zažívají velký úspěch. Například v roce 2000 byl dřevěný nosný konstrukční systém použit pouze u 1,37 % realizovaných rodinných domů (ČSÚ ©2023).

Z výše uvedeného je patrné, že dřevostavby si již získávají mezi lidmi zaslouženou důvěru. Jsou totiž oproti klasickým systémům s nosnými konstrukcemi z tradičnějších materiálů (cihly, beton) výhodné z mnoha důvodů. Dá se mezi ně zařadit především ekologie, rychlost výstavby, menší tloušťky stavebních prvků při zachování stejných tepelně – izolačních vlastností a tím pádem větší poměr podlahové plochy k ploše zastavěné. Výhod (ale samozřejmě i nevýhod) by se ovšem dalo najít povícero.

Jak zmiňují ve své knize Zahradníček a Horák (2007), dřevo je jediným materiálem, kterým jako stavaři disponujeme, jenž je obnovitelný. Je možné tedy neomezeně dlouho čerpat výhody tohoto materiálu a není nutné se obávat, že v budoucnosti již nebude k dispozici. Poslední uvedená věta samozřejmě platí pouze za předpokladu, že bude náležitě pečováno o naše lesy a dbáno na udržování přírůstků lesů a jejich těžby ve správném poměru. Navíc při svém růstu dřevo váže do své struktury molekuly oxidu uhličitého CO₂. Při správném užití dřeva a jeho dlouhodobém zabudování tak může mít dřevostavba dokonce negativní uhlíkovou stopu. Tuto informaci v podstatě obsahuje hodnocení z pohledu životního cyklu výrobku (v našem případě stavby) – takzvaná LCA analýza (Life Cycle Assessment). Ta zahrnuje ve svém hodnocení všechnu energii spotřebovanou při výrobě, užívání a následně i na vyřazení výrobku – jeho likvidaci (Kaufmann a kol., 2018).

Další zmíněnou a zcela jistě nepopíratelnou výhodou dřevostaveb – zejména těch realizovaných z prefabrikovaných panelů, kterými se zabývá tato diplomová práce, je rychlost výstavby, jak uvádí například Vaverka a kol. (2008). Toto umožňuje nastěhování v relativně krátkém čase od počátku výstavby (oproti tradičnějším rodinným domům s konstrukčními systémy na bázi pálených, pórobetonových či vápenopískových cihel).

Jelikož pečlivé a podrobné zpracování výrobní dokumentace je základem úspěchu při samotné stavbě, pokládám tak zpracování výrobní dokumentace panelové dřevostavby za velice důležité téma. Na rozdíl od ostatních, tradičnějších, stavebních systémů (kde je běžnou praxí stavět rodinné domy i pouze dle výkresů pro stavební povolení) o to více, že jednotlivé konstrukce panelové dřevostavby jsou složeny z řádově většího množství materiálů a je tak nutný kvalitní návrh materiálů, které spolu v konstrukci kvalitně a funkčně budou dlouhá léta spolupůsobit jak z hledisek statiky, stavební fyziky, ale i dalších, neméně důležitých, oblastí.

Tato práce se tedy snaží o skloubení těchto požadavků kladených na kvalitní výrobní dokumentaci panelové dřevostavby – v tomto případě s nosnou konstrukcí na bázi lehkého skeletu.

2 Cíle práce

Jako hlavní cíl této práce bylo stanoveno zpracování výrobní (= realizační) dokumentace vybrané části obytné dřevostavby pro trvalé bydlení navržené z prefabrikovaných panelů na bázi lehkého skeletu. Konkrétní zvolená část, jejíž výrobní dokumentace je v této práci zpracována jsou všechny panely této stavby. Obsahem této práce nebylo vytvoření realizační dokumentace základové konstrukce a nosné konstrukce střechy (příhradových vazníků).

Dalším cílem této práce je zpracování vybraných konstrukčních detailů. Účelem návrhu kvalitních konstrukčních detailů je bezesporu na informace bohaté a zároveň přehledně zpracování, jenž může být využito jak pro technickou přípravu výroby, pro výrobu samotnou, pro montáž stavby, tak následně i pro investora a jeho případné dodělavky (pokud realizační firma nedodává stavbu kompletní – tzv. „na klíč“). Pokud jsou tyto detaily investorovi poskytnuty (což nebývá běžnou praxí), může je následně využít i při případných opravách či úpravách jeho stavby.

Stejně jako pečlivé zpracování detailů je pro kladný výsledek návrhu velice důležitá i další část práce, její další cíl, a to konkrétně posouzení vybraných částí z hlediska stavební fyziky. To zajišťuje, že navržené konstrukce a detaily mohou spolehlivě fungovat, že nebude docházet k poruchám z důvodu špatného tepelného a vlhkostního chování navržených skladeb a jejich napojení.

Neméně důležitými dílčími cíli jsou i části posouzení vybraného prvku a tří spojů z hlediska statiky, rozpočet stavby (vybraných částí), dokumentace vybraného prvku pro CNC stroj, vytvoření technické zprávy a v neposlední řadě literární rozbor problematiky. Ten v této práci řeší převážně oblast technologie výroby, prefabrikaci a materiály používané v konstrukcích prefabrikovaných dřevostaveb.

3 Literární rešerše

Předmětem této kapitoly je rozbor problematiky týkající se prefabrikace obecně, stupňů prefabrikace, způsobů výroby z hlediska rozvržení výrobní haly a popisu funkčních vrstev prefabrikovaných panelů, zejména těch na bázi lehkého skeletu. Tyto jsou totiž hlavním předmětem této práce.

3.1 Prefabrikace

3.1.1 Prefabrikace obecně

Prefabrikací (nebo jinak předvýrobou) se rozumí výroba prvků mimo jejich konečné místo určení. Může se jednat o různé a různě velké části výrobku nebo přímo celých výrobků, které jsou následně přepraveny do určené lokality a sestaveny nebo uloženy na staveništi, jak uvádí například Smith (2010).

S prefabrikací zajisté blízce souvisí ještě pojmy typizace a modulová koordinace. Tímto se rozumí stanovení a výroba ucelené řady výrobků (jak rozměrově, tak kvalitativně, designově atd.), se kterými lze počítat při návrhu, a které značně usnadňují právě prefabrikaci. Toto zmiňuje ve své knize například Knaack a kol. (2012).

Většina odborné literatury na téma prefabrikace se shodne na tom, že výhody prefabrikace jsou nepopíratelné. Vaverka a kol. (2008) zmiňuje jako výhody prefabrikace:

- rychlost výstavby na staveništi
- kryté prostředí výrobních hal, ve kterém jsou stavební materiály ukryty před nepřízní počasí
- možnost snížení nákladů při sériové výrobě
- využití moderních technologií ve výrobních halách, a tím pádem zvýšení produktivity
- omezení spotřeby materiálů
- přizpůsobitelnost a opakovatelnost realizovaných projektů
- možnost uskladnění materiálů potřebných pro pokračování stavby hned první den v již značně rozpracované, a tím pádem zabezpečené stavbě (jak proti povětrnosti, tak proti nechtěné pozornosti kolemjdoucích)

S těmito výše uvedenými body se více méně shodují i další zdroje, některé k nim přidávají i další výhody využití prefabrikace, případně upřesňují výše uvedené body. Herzog a kol. (2004) upřesňují druhý bod, a to tak, že kryté, vytápěné, mnohdy i klimatizované prostředí výrobních hal dává pracovníkům kvalitnější, chcete-li pohodlnější pracovní prostředí, a to vede

ke zvýšení přesnosti a kvality výrobků. Jako bod, který ještě nebyl uveden, se zde dá například sdílet názor, jenž zastává Smith (2010). A to konkrétně ten, že za pomoci prefabrikace je umožněno pracovníkům být v pracovní dny v pohodlí svého domova. Nemusejí za práci na stavenišťě jezdit dlouhé hodiny, přespávat v hotelích a jiných ubikacích, pouze ráno odcházejí na daný počet hodin do výrobního závodu v blízkosti jejich domovů. Samozřejmě tento fakt není pravdivý pro všechny pracovníky firmy. Značně se ale omezí jak nutné množství pracovníků na stavbách, ale také doba, po kterou tito vybraní pracovníci (montující stavbu) musejí na stavbu jezdit. Další výhodou, navazující na výše zmíněné, je i omezení práce unavených pracovníků v nebezpečnějších podmínkách stavenišťě (oproti výrobní hale), a také omezení jejich mnohdy dlouhých cest na stavby řešené systémy stavenišťní výstavby, které mohou být po dlouhém pracovním dni pro unavené pracovníky též velmi nebezpečné (Smith, 2010).

Ne vše je však na prefabrikaci dobré, a asi jako na všem, i na ni se dají najít některé věci, které je nutné brát jako nevýhody. Jmenovitě mezi tyto nešvary prefabrikace můžeme zařadit nutnost disponování výrobním závodem či alespoň halou s dostatečným strojním a přepravním vybavením nebo také omezenou variabilitu výrobního programu oproti stavenišťní výstavbě (Vaverka a kol., 2008). K těmto uvedeným nevýhodám přidává Smith (2010) další, řekněme upřesňující, nevýhody – finanční náročnost jak na prvotní pořízení výrobního závodu či haly, tak na jeho vybavení a též následné náklady na přepravu prefabrikovaných výrobků.

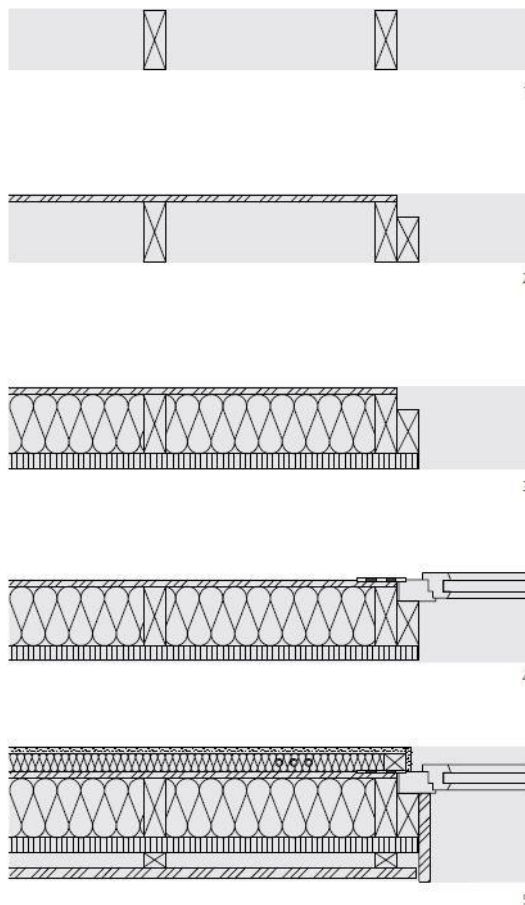
3.1.2 Stupně prefabrikace

K výrobě dřevostavby a k prefabrikaci lze využít různé přístupy. V této subkapitole jsou uvedeny některé možné varianty přístupu k této problematice z hlediska stupně (chcete-li pokročilosti) prefabrikace.

Kolb (2011) popisuje stupně prefabrikace jako stav, ve kterém výrobky opouštějí výrobní závody a dostávají se na stavenišťě k montáži. Popis stupňů prefabrikace věnuje zejména panelům tvořeným lehkou rámovou konstrukcí a jednotlivé stupně pak uvádí viz následující rozdělení a viz obrázek 1:

- **První stupeň**, kde se počítá pouze s dodávkou jednotlivých konstrukčních prvků.
- **Druhý stupeň**, ve kterém je již vytvořen nosný rám stěny, který je opatřen alespoň jednou plošnou vrstvou – nejčastěji konstrukčními deskami. Tento prvek má požadované rozměry a již jsou v něm vyhotoveny otvory pro okna a dveře.
- **Třetí stupeň**, kde už Kolb (2011) zmiňuje oboustranné opláštění panelu a vložení mezilehlé izolace mezi tato opláštění.

- **Čtvrtý stupeň.** Prvky v tomto stupni prefabrikace již mají osazeny i výplně stavebních otvorů.
- **Pátý stupeň.** Zde se již předpokládá výroba panelů včetně exteriérových vrstev fasády a interiérové pohledové vrstvy – například sádkokartonu.



Obrázek 1 - Stupně prefabrikace (Kolb, 2011)

K problematice dělení stupňů prefabrikace se trochu jiným způsobem, než Kolb staví například Smith (2010), jenž uvádí následující posloupnost stupňů prefabrikace:

- **Komponentní,** kdy se jedná o výrobu tyčových prvků. Do této kategorie prefabrikace se řadí například prvky rámu stěn, prvky staveb z těžkých skeletů či případně krovy vyřezané na tesařských CNC strojích. Na jednotlivých prvcích jsou ve výrobě vytvořeny tesařské spoje, jednotlivé dílce jsou očíslovány a montáž je tak velmi jednoduchá. Také v této souvislosti zmiňuje například MHM panely (Massive Holz Mauer; sbíjené panely na principu kříženého dřeva), jenž nejsou dále ve výrobním závodě dokončovány.
- **Panelovou,** u níž uvádí panely s nosnou konstrukcí na bázi lehkého skeletu či SIP panely (Structural Insulated Pannels), MHM panely a další.

- **Prostorovou neboli modulovou.** U té se jedná o výrobu kompletního modulu, chcete-li buňky.

Na obrázku 2 níže jsou k vidění výše zmíněné stupně prefabrikace. Navíc je zde uveden jako první stupeň typizovaný materiál (Smith, 2010).

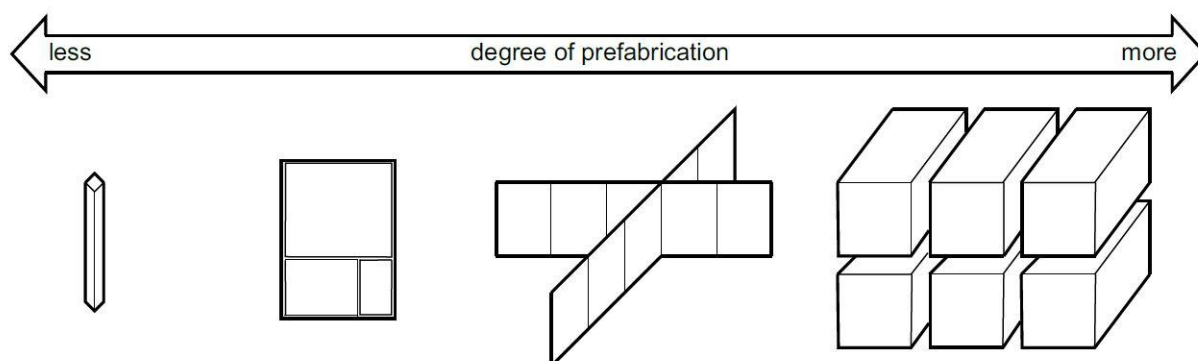


Figure 6.1 Prefabrication can be classified by the extent to which elements are completed prior to assembly onsite. *From left to right: materials, components, panels, and modules.* Generally, the benefits of prefabrication can be realized as projects move to increasingly greater degrees of prefabrication.

Obrázek 2 - Stupně prefabrikace (Smith, 2010)

Pod modulovou prefabrikací si většina čtenářů představí dočasné ubytovací buňky ze stavenišť. A to bylo dlouhou dobu také jejich hlavní využití, alespoň v našich zeměpisných šířkách. V poslední době se však, pravděpodobně z důvodů pandemie a ekonomických hledisek, začaly takovéto kompletní, snadno přemístitelné stavby využívat jako takzvané „tiny houses,“ jehož příklad je možno vidět na obrázku 3 níže.



Obrázek 3 - Modulový "tiny house" (Koones, 2016 ex. Cocoon9)

Případné další využití modulových buněk může být například pro rychlou instalaci koupelen v bytové výstavbě. Takovéto řešení dodává například italská firma Sanika. Ta vyrábí dokončené koupelnové moduly pro hotely, pečovatelské služby a rezidenční bydlení (Sanika ©2024). Osazení modulu ve stavbě z CLT panelů je možno vidět níže na obrázku 4.



Obrázek 4 - Koupelnový modul Sanika osazený v rozestavěné bytové stavbě z CLT panelů (autor práce, 2023)

3.2 Výroba z hlediska technologického vybavení

Rozsah technologického vybavení je výrazně ovlivněn celou řadou faktorů. Zejména se bude jednat o ochotu majitele investovat do podniku a jeho technologického vybavení. Dále také o představu majitele o rozsahu výroby a jejích plánovaných objemech. Čím větší bude plánovaný objem, tím spíše se logicky vyplatí investovat do technologií a automatizace výroby (Štefko a kol., 2006).

Níže zmíněné podkapitoly se týkají převážně panelů s nosnou konstrukcí tvořenou lehkým rámovým skeletem.

3.2.1 Výroba se základním technologickým vybavením

Ačkoliv některé zdroje zmiňují (Vaverka a kol., 2008; Knaack a kol., 2012) jako nevýhodu prefabrikace oproti staveništní výstavbě nutnost vlastnit velké množství technologického vybavení, toto tvrzení je pravdivé jen do určité míry. Pro výrobu

prefabrikovaných panelů je sice nutné mít k dispozici výrobní halu, a to nejlépe s mostovým jeřábem, a také dostatečně únosné stoly pro umístění panelů. Tam ale rozdíly mezi potřebným vybavením u staveništní výstavby a u prefabrikovaných panelů končí. Náradí a vybavení, které zmiňuje Růžička (2006) jako potřebné pro staveništní výstavbu se tedy kromě výše zmíněného shoduje i s vybavením potřebným pro základní výrobu prefabrikovaných panelů. Konkrétně se jedná o pokosovou (či zkracovací) pilu, ruční kotoučovou pilu, kladiva či pneumatické hřebíkovací pistole, dále pak zmiňuje drobné náradí a vybavení v podobě svinovacího metru, šňůrovače. Štefko a kol. (2006) pak k tomuto výčtu přidávají ruční pásové brusky, hoblíky a v neposlední řadě akumulátorové vrtačky. V dnešní době také není od věci do tohoto výčtu přidat akumulátorové rázové utahováky nebo pneumatické sponkovací pistole. Tyto začaly být používány v 50. letech minulého století (Hairstans, 2019). K pneumatickému náradí je pak zapotřebí ještě dostatečně výkonný kompresor.

S tímto vybavením už je schopna výroba prefabrikovaných panelů fungovat, a to například následujícím způsobem:

Jeden zaměstnanec může dle dodaných výkresů připravovat prvky nosných rámu panelů za pomoci pokosové či zkracovací pily a popisovat je. Další pracovníci mohou na vysoce únosných (nejpravděpodobněji ocelových) stolech nejprve z těchto prvků skládat rám panelu a následně ho oplášťovat či provádět další potřebné vrstvy. Poté je možno panel nad výrobním stolem pomocí mostového jeřábu otočit, vyplnit ho izolačním materiálem a provést všechny další potřebné vrstvy. Panel pak lze mostovým jeřábem přesunout do místa v hale určeného k jeho skladování či přímo na návěs nákladního automobilu.

Výhodou tohoto řešení jsou samozřejmě nízké náklady na pořízení potřebného technologického vybavení i malá prostorová náročnost tohoto řešení. Dále pak i nízké nároky na zaškolení pracovníků – není třeba učit se obsluze složitých moderních strojů, zaškolení nových pracovníků je rychlé a bezproblémové. Nevýhodou je, zcela zřejmě, nízká produktivita práce, a s tím související časová náročnost výroby a celkově nízká produkce. I tento způsob výroby má však na trhu svoje místo a v takovýchto výrobních podmínkách vytvořené produkty si na trhu úspěšně hledají své zákazníky. Ideálním řešením je postupný rozvoj technologií společně s ekonomickým rozvojem firmy a přechod k modernějšímu a produktivnějšímu vybavení zmiňovaného v následujících subkapitolách (Davies, 2005).

3.2.2 Výroba s využitím moderních technologií

Jedná se v podstatě o zdokonalení výše popsaného, a to na více místech a ve více technologických operacích. Tato vylepšení spoří značné množství času, což umožňuje

efektivnější a produktivnější výrobu a zvětšují tak objem výroby. To znamená, že se zvyšují obraty firmy a při jejím správném fungování i její zisky. Ty je potom možné dále investovat do vývoje a dalších moderních technologií.

V dnešní době, kdy už je na trhu poměrně velké množství firem zabývajících se dřevostavbami, začíná být běžnou praxí využití CNC technologií. Dá se tedy říci, že je dnes již běžné využití CNC nářezových center pro vytvoření jednotlivých prvků rámu panelů. Tato centra jako jsou například Hundegger SPEED-Cut (které je možno vidět na obrázku 5 níže) či TURBO-Cut tak v dnešní době nahrazují pokosové a zkracovací pily závodů z minulého bodu. To má své opodstatnění. Nejenže svojí rychlostí a přesností násobně tato řešení překonávají, ale mají též výhodu v tom, že umožňují provádět další opracování. Těmi mohou být frézování, vrtání, popisování atd. (Hundegger ©2020 a).



Obrázek 5 - Hundegger SpeedCut 480 (Hundegger ©2020 b)

Další, dnes již běžně užívanou, inovací ve výrobě prefabrikovaných panelů dřevostaveb jsou překlápěcí stoly určené a vyvinuté výlučně pro výrobu panelů. Tyto stoly umožňují snadnou manipulaci s vytvořenými panely a také zlepšují přesnost výroby. Bývají totiž osazeny přítlačnými prvky, které zajišťují pravoúhlost a přesné rozměry vyrobených dřevěných rámu panelů (Soukup ©2017 a). Dalšími možnými prvky těchto stolů jsou systémy pro posun panelů v jejich horizontální poloze, možnost dovybavení pomocí dalších nabízených prvků, jako jsou například držáky rolí s fóliemi, či integrovaný rozvod stlačeného vzduchu od kompresoru (Randek ©2024 a). To umožňuje další zvýšení produktivity práce a bezpečnosti při práci. Příklad takového stolu se nachází na obrázku 6 na další straně.



Obrázek 6 - Překlápečí stůl Soukup Wing (Soukup ©2017 b)

Kromě výše zmíněného jsou v praxi využívány též vakuové přísavky, jenž umožňují zaměstnancům výrobních závodů v podstatě bez námahy, se zvýšenou efektivitou a ergonomií přesouvat a umisťovat deskové materiály při opláštění panelů (Schmalz ©2024).

Ačkoliv se k urychlení, zefektivnění a celkovému vylepšení výroby zajisté v různých firmách používají i další technologická zlepšení, jako poslední v této kapitole budou zmíněny pneumatické sponkovací pistole s pojezdovými vozíky. Za pomoci těchto pojezdových vozíků je snadné konzistentně dodržovat rozestupy, sklony spon a jejich vzdálenosti od okrajů velkoplošných materiálů (Prebena ©2024). Toto je důležité u deskových materiálů použitých jako staticky ztužující. U desek, které jsou použity jako pohledové v interiéru (většinou sádrokartonové nebo sádrovláknité desky) je zase důležité dodržení konzistentní hloubky zarážení spon, a to kvůli následnému zapravení povrchu (tmelení, broušení). Pokud nejsou sponky správně aplikované, může toto výrazně ztížit následné práce na staveništi a prodloužit a prodražit tak výstavbu.

3.2.3 Automatizovaná výroba

V dnešní době, kdy jsou odbornou i neodbornou veřejností často skloňována témata automatizace, robotizace či digitalizace, by bylo zvláštní, pokud by se tato témata nedotkla i výroby prefabrikovaných dřevostaveb. Renomovaní výrobci strojního zařízení tak věnují nemalé úsilí a též investice do vývoje částečně či plně automatizovaných linek pro výrobu panelů na bázi dřeva a snaží se o propojení světa virtuálního, chcete-li počítačového s tím skutečným, fyzickým (Karabegović, 2020).

Tito výrobci nabízejí firmám zabývajícím se výrobou prefabrikovaných panelů řešení na míru schopné vysoké přesnosti a flexibility výroby a v nejlepších konfiguracích též plně automatické výrobní linky schopné vyrábět až 6000 domů ročně (Homag ©2024 a).

Automatizované linky se skládají ve většině případů z následujících součástí (Homag ©2024 a):

- **Plnicí zařízení nářezového centra**, které zajišťuje přísun materiálu pro nářezové centrum. Stroje této kategorie v současnosti nabízené výrobcem Homag nesou názvy STORETEQ H-300 a H-700 (Homag ©2024 b).
- **Nářezové centrum**, jenž zajišťuje přesné vytvoření přířezů jednotlivých prvků panelů. Příkladem takového centra je například BEAMTEQ B-520 od firmy Homag (Homag ©2024 c).
- **Třídící a uskladňovací centrum**. Toto zajišťuje přísun jednotlivých přířezů k jednotce pro skládání ráků. Dokáže přesouvat více prvků najednou (až 4) relativně vysokou rychlostí, a hlavně ve správném pořadí, ve kterém jsou potřebné. Výrobek této kategorie od firmy Homag je opatřen názvem STORETEQ H-100 (Homag ©2024 d).
- **Skládání ráků panelů**. V tomto kroku jsou připravené přířezy složeny (buď manuálně nebo automaticky) do konečné podoby ráku panelu. Pozice jednotlivých prvků jsou udány strojem a ten také prvky následně spojí. Není tedy potřeba jakkoliv manuálně rozměřovat pozice sloupků v ráku. K dispozici jsou též robotická ramena, která mohou vkládat všechny prvky ráku na jejich pozice plně automaticky. Mezi stroje schopné skládání ráků panelů patří například Homag FRAMETEQ F-300 a F-500. K nim je možné nakonfigurovat i zmíněné robotické rameno FEEDBOT F-500, které je možno vidět na obrázku číslo 7 na následující straně (Homag ©2024 e).

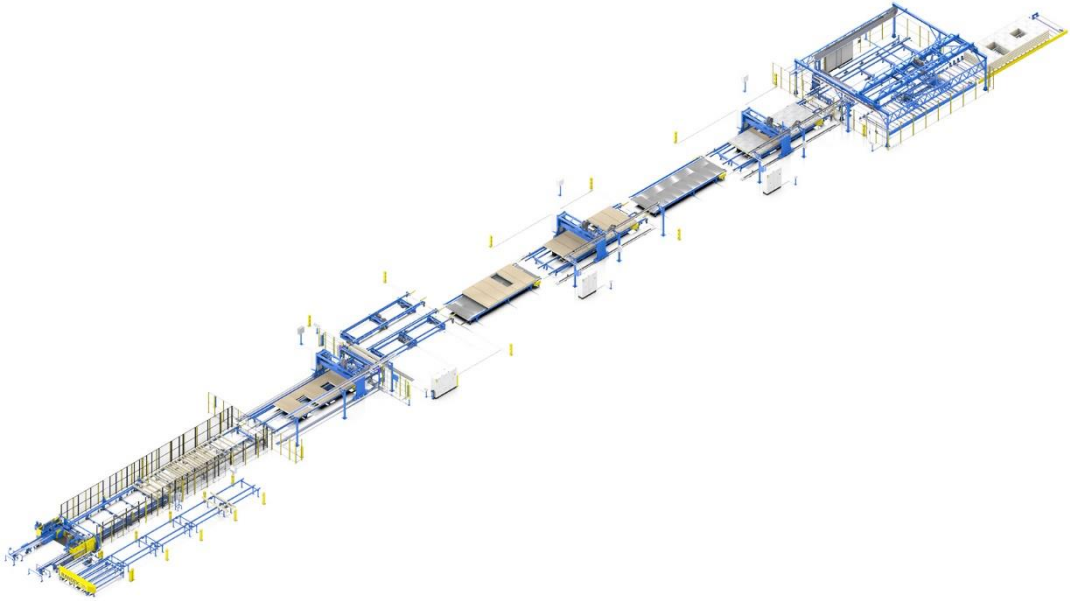


Obrázek 7 - Robotické rameno FEEDBOT F-500 sestavující rám panelu v lince Weinmann (HOMAG ©2021)

- **Multifunkční most**, který je stěžejní součástí výrobní linky pro výrobu panelů. Toto strojní zařízení je možno osadit velkým množstvím nástrojů a provádět tak velmi široké spektrum výrobních operací. Mezi těmito lze uvést například řezání, frézování, hřebíkování či sponkování, vrtání, popisování a u některých modelů též aplikování tepelné izolace. Multifunkční most, který je schopen provádět veškeré tyto operace je nyní na trhu pod označením Homag WALLTEQ M-500 insuFill. Tyto multifunkční mosty tedy aplikují na rám panelu jak konstrukční desky, tak i tepelnou izolaci, a to jak do dutin rámu, tak na povrch rámu – jako kontaktní zateplovací systém (Homag ©2024 f).
- **Sklad hotových/ rozpracovaných panelů**. V něm jsou panely uskladněny, případně dokončovány. Dokončováním se v tomto stádiu myslí instalace výplní otvorů (oken, dveří) či aplikace vrstev fasádního systému. Panely jsou seřazeny tak, aby bylo usnadněno následné nakládání na automobily při expedici. Homag vyrábí v současnosti vícero produktů řady STOCKTEQ, které jsou určeny k výše popsaným účelům (Homag ©2024 b).

Rozdělení výše bylo vytvořeno dle aktuální nabídky z internetových stránek společnosti Homag, která zmíněné výrobky uvádí na trh pod označením Weinmann. Na trhu se ovšem nachází více společností, které se zabývají vývojem automatizovaných linek pro výrobu prefabrikovaných panelů dřevostaveb. Za zmínku zajisté stojí například švédská společnost Randek. Ta, stejně jako Homag dodává zákazníkům plně konfigurovatelné výrobní linky pro

výrobu panelů dřevostaveb (Randek ©2024 a). Možnou podobu linky Randek a detailní podobu robotické ruky osazené v rámci linky můžete vidět na obrázcích 8 a 9 níže.



Obrázek 8 - Možná podoba výrobní linky Randek (Randek ©2024 b)



Obrázek 9 - Robotická ruka Kuka osazená ve výrobní lince Randek (Randek ©2024 b)

3.3 Výroba z hlediska prostorového rozložení

V této kapitole bude popsáno možné rozvržení výrobního závodu pro výrobu prefabrikovaných panelů. Zvolení rozvržení z podkapitol níže velmi výrazně ovlivňuje stupeň technologického vybavení (jak bylo zmíněno v minulé kapitole). U výrobních podniků s nižším podílem moderního vybavení bude pravděpodobně zvoleno rozvržení ostrůvkové (viz kapitola 3.2.2. Naopak u moderně vybaveného závodu s velkým podílem zavedení CNC technologií bude pravděpodobnější zvolení některého z variant z podkapitol 3.2.3 a 3.2.4.

Volba rozvržení provozu, stejně jako volba technologického vybavení, také samozřejmě závisí na rozměrových možnostech, na plánovaných výrobních kapacitách, dle plánované výše investice do výrobního závodu a také na preferencích a zkušenostech investora či majitele podniku (Tompkins a kol., 2010).

Monden (2012) ve své knize zmiňuje následující možnosti rozvržení výrobního závodu:

3.3.1 Hnízdové rozvržení

U této varianty je pracovník obklopen více stroji, které střídavě obsluhuje tak, aby maximálně využil svůj čas strávený na pracovišti a vyhnul se tak možným prostojům zapříčiněným časem opracování vyráběné části strojem (Monden, 2012).

Tato varianta je ve výrobě prefabrikovaných dřevostaveb méně častá, avšak vyskytovat se může, a to například v situaci, kdy má pracovník na starosti obsluhu CNC stroje, kde zadá výrobu prvků a nastaví vše potřebné. Následně mu vzniká čas, který může využít na další potřebné úpravy vyrobených prvků – hoblování, broušení pohledových částí atd. Toto lze využít pouze za předpokladu, že pracovník je dostatečně zkušený a zvládá průběžně kontrolovat správnost práce CNC stroje během provádění další činnosti.

3.3.2 Ostrůvkové rozvržení

V tomto případě jsou pracovníci rozmístěni kolem pevných stanovišť („ostrůvků“) a provádějí všechny potřebné operace pro výrobu daného výrobku či polotovaru (Monden, 2012).

Základním předpokladem tohoto uspořádání je to, že máme dostatek pracovníků, kteří dokáží provádět relativně široké spektrum prací – v případě výroby prefabrikovaných panelů z lehkého skeletového konstrukčního systému například sestavení rámu, jeho opláštění, aplikace izolace, vzduchotěsnících materiálů, kontaktního zateplovacího systému atd.

3.3.3 Liniové rozvržení a „U“ rozvržení

Liniové rozvržení popisuje Monden (2012) tak, že se pracovníci pohybují společně s výrobkem. Toto však nemusí být podmínkou. Pracovník může provést danou operaci a následně se polotovár přesune k dalšímu stanovišti – k dalšímu zpracování. „U“ rozvržení je ve své podstatě shodné jako liniové s tím rozdílem, že vstup a výstup probíhá na stejném místě.

Tento způsob lze do kontextu této práce (= výroby prefabrikovaného panelu – v tomto příkladu stěnového) zasadit kupříkladu následujícím způsobem. U jednoho výrobního stolu je vytvořen nosný rám panelu. Po jeho dokončení je tento meziprodukt přesunut k dalšímu stolu, kde je provedena vzduchotěsná rovina a instalační předstěna. Po těchto operacích je panel překllopen na další stůl, vyplněn izolačním materiálem, zaklopen a opatřen kontaktním zateplením.

3.4 Funkční vrstvy panelů a jejich materiálová báze

V této kapitole jsou uvedeny a popsány nejčastěji používané vrstvy panelů dle jejich určení a umístění v konstrukci. Jsou zde tak popsány stěnové panely – jak obvodové, tak příčkové, stropní panely a panely střešní.

U každé jednotlivé vrstvy jsou dále vypsány a stručně rozvedeny materiály, které se k danému účelu v praxi nejčastěji využívají.

Ačkoliv skladby konstrukcí se mohou mezi jednotlivými výrobci někdy i výrazně lišit, základní funkce zmíněných vrstev musejí být pro správnou funkčnost jednotlivých panelů i stavby jako celku zachovány ve valné většině aplikací. Důležité též není pouze použití správných materiálů, ale i jejich správného pořadí v rámci konstrukce (Steiger, 2015).

3.4.1 Obvodové stěnové panely

3.4.1.1 Nosná vrstva

Tato je základním rozdílem mezi různými použitými konstrukčními systémy popsanými v kapitole 3.5. U panelů tvořených lehkým rámovým skeletem (kterému se tato práce přednostně věnuje) jsou základními nosnými prvky vodorovné pásnice a svisle orientované sloupky. Sloupky bývají v ideálním případě rozmístěny v modulové vzdálenosti 625 mm tak, aby byla zajištěna ideální kompatibilita s běžně dostupnými rozměry deskových materiálů. Nosné sloupky stěn jsou tradičně tvořeny masivními dřevěnými profily s tloušťkou povětšinou 60 mm a šířkou především dle množství izolace, které potřebujeme v rámci rámu obsáhnout.

Ze statických hledisek vyhovují v četných případech i prvky průřezů 60x120 mm, ale kvůli důvodům stavební fyziky jsou dnes častěji používány průřezy blížíící se (někdy i překonávající) svým šířkovým rozměrem 200 mm (Kolb, 2011).

Nosné rámy panelů bývají nejčastěji tvořeny z průmyslově vyráběných hranolů nazývaných KVH (Konstruktionsvollholz). Prvky větších průřezových profilů bývají potom tvořeny lepeným lamelovým dřevem – BSH = Brettschichtholz (Kolb, 2011).

KVH je technologicky zpracované tak, že polotovary pro jeho výrobu jsou vysušeny, tříděny a jsou v nich omezeny růstové vady dřeva jejich vymanipulováním – vyřezáním. Takto vytvořené přířezy různých délek jsou lepeny pomocí mikroozubového spoje do nekonečně dlouhých prvků. Z těch jsou následně hoblovány a vykráceny hranoly požadovaných rozměrů (Jelínek, Červený, 2021).

BSH neboli lepené lamelové dřevo je tvořeno slepením dřevěných lamel na sebe s tím, že směr vláken všech prvků je rovnoběžný s podélnou osou vyráběného prvku. Pro podélné napojení jednotlivých lamel se používá převážně mikroozubový spoj – stejně jako u KVH. Lze se ještě setkat s podélným spojením pomocí úkosu s přibližným poměrem úřezu cca 1:6. Z důvodu ekonomických, pevnostních a technologických výhod mikroozubového spoje se úkosové napojení již téměř nepoužívá (Chudley, Greeno, 2014).

Podrobnější informace ohledně lepeného lamelového dřeva uvádí Jelínek a Červený (2021), když zmiňují maximální přípustnou tloušťku lamel 50 mm a též hlavní důvod, proč jsou pevnostní vlastnosti lepeného lamelového dřeva lepší než u rostlého dřeva. Je to konkrétně proto, že případné vady dřeva (které se v použitých přířezech vyskytují po třídění a vymanipulování těch nepřípustných) jsou rovnoměrněji rozprostřeny ve výsledném prvku. Ten je tak homogennější.

Při potřebě velké únosnosti jednotlivých prvků – zejména překladů je možné též využít LVL (Laminated Veneer Lumber). Jeho konstrukci popisuje Mehta a kol. (2013), když uvádí, že LVL je tvořeno z jednotlivých dých tloušťky přibližně 3 mm sušených na 12% vlhkost a lepených k sobě. Mehta a kol. (2013) dále uvádí, že všechny dýhy jsou v LVL prvku orientovány směrem dřevních vláken ve směru podélné osy nosného prvku. Toto tvrzení však rozporuje informace v publikaci Design of Timber structures: Structural aspects of Timber construction (Swedish Wood, 2022), v níž je uvedeno, že některé LVL prvky jsou produkovány s některými dýhami orientovanými svým směrem vláken kolmo k podélné ose prvku LVL. Na toto poukazují i Jelínek a Červený (2021) a navíc i uvádějí konkrétní produkt, který využívá tuto orientaci dých. Zmiňují produkt nazývaný KERTO-Q, který má každou pátou dýhu orientovanou kolmo k podélné ose výsledného prvku.

Z hlediska osazení maximálního množství izolace do rámu obvodových stěn a též kvůli omezení systematických tepelných mostů se též v posledních letech s oblibou využívají nosné prvky stěn v podobě I nosníků, které jsou vyobrazeny na obrázku číslo 10. Za nevýhodu těchto prvků může být považována relativně vysoká pořizovací cena vůči masivním profilům (Růžička, 2014).

I nosníky jsou tvořeny dvěma pásnicemi a stojinou. Pásnice bývají nejčastěji z KVH či LVL (Thelandersson, Larsen 2003). Na stojiny se pak nejčastěji využívají OSB desky či tvrdé dřevovláknité desky (Böhm a kol., 2012). American Wood Council (©2018) pak ještě uvádí pro vytvoření stojin I nosníků možnost použití překližovaných desek.



Obrázek 10 - Prefabrikace nosného rámu stěny z I nosníků Steico (Steico ©2024)

U panelů tvořených rámovou konstrukcí je pro spolehlivé zabezpečení jejich nosné funkce důležitá ještě vrstva opláštění konstrukčními deskami. Tyto zajišťují stabilitu v rovině stěny – její zavětrování. Dodávají tak stěnám stabilitu (Kuklík, 2005).

Tato vrstva ve většině případů slouží i dalším účelům. Při správném umístění v konstrukci se jedná především o možnost využít tuto ztužující konstrukční desku jako vzduchotěsnou funkční vrstvu (Lancashire, Taylor, 2011).

Nejčastěji bývá tato vrstva tvořena OSB (Oriented Strand Board) deskami, sádrovláknitými deskami nebo překližovanými deskami. Desky mohou být umístěny buď na venkovní straně nosného rámu konstrukce stěny, či na straně vnitřní. Pokud jsou umístěny na vnitřní straně rámu, mají vhodné vlastnosti a jsou náležitě provedeny spoje jednotlivých desek, je možno (jak již bylo zmíněno výše) je využít jako vzduchotěsnící rovinu stavby (Tywoniak, 2005).

OSB desky jsou tvořeny dřevěnými třískami daných rozměrů. Většinou se jedná o třísky 15–25 mm široké, 0,3–0,7 mm tlusté a 75–150 mm dlouhé. Tyto třísky jsou u vnějších povrchů desek orientovány s podélnou osou desky (z tohoto faktu plyne i samotný název desky). Třísky uprostřed desky jsou standardně rozmístěny bez jakéhokoliv systému či případně pravoúhle k třískám povrchových vrstev. Desky se po přidání lepidla lisují za působení tlaku a teploty (Thoemen a kol., 2010).

Sádrovláknité desky jsou tvořeny sádrou a celulóзовými vlákny, která jsou získávána z recyklovaného papíru. Takto vlákna rozmístěná v hlavním objemu desky, který je tvořen zmíněnou sádrou, dodávají desce její pevnost. Desky jsou vyráběny smícháním suché sádry, celulóзовých vláken a vody. Tato hmota je poté za vysokého tlaku lisována do desek a tyto jsou následně formátovány na požadované rozměry (Hugues a kol., 2004).

Překližované desky jsou vyráběny povětšinou z loupaných dýh, které jsou vysušeny, je na ně nanášeno lepidlo vhodné pro následné použití desky a je složen a následně slisován soubor těchto dýh. Vlákna jednotlivých dýh mezi sebou ve valné většině případů svírají úhel 90° a je jich ve výsledné desce použit lichý počet (Koželouh, 1998).

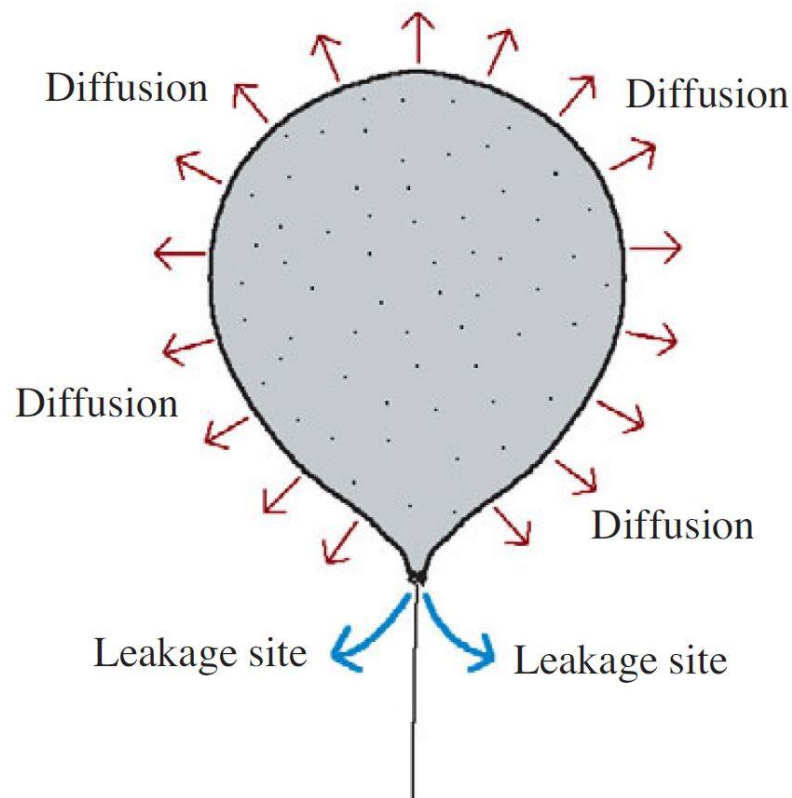
Vrstva opláštění odpadá u druhého možného konstrukčního systému běžně používaného pro prefabrikaci. Jedná se konkrétně o CLT panely (případně jim podobné systémy). Tyto jsou již ze své podstaty deskovým materiálem a nepotřebují tak prostorové vyztužení dalšími konstrukčními deskami. Tyto desky nebo chcete-li panely jsou tvořeny na sebe navzájem kolmými vrstvami dřevěných lamel (Karacabeyli, Douglas, 2013).

3.4.1.2 Vzduchotěsná vrstva

U každého stavebního objektu využívaného pro trvalé bydlení by měla být splněna podmínka vzduchotěsnosti jeho obvodového pláště. Tato bývá u dřevostaveb zajištěna pomocí konstrukčních desek, jak již bylo zmíněno v předešlé podkapitole, nebo pomocí vhodných fóliových materiálů. Nutné je též dokonalé napojení všech konstrukcí a též jednotlivých částí tvořených vzduchotěsnou rovinu (desek, pruhů fólií) mezi sebou. Toto bývá nejčastěji zajištěno

pomocí speciálních lepících pásek nebo tmelů. Pokud by nebylo toto zajištěno, netěsnostmi by spolu s teplým vnitřním vzduchem proudila i vlhkost z interiéru, která by v konstrukcích nekontrolovaně kondenzovala. Nejen že bychom tedy přicházeli o teplo a zvyšovali tak tepelné ztráty objektu, ale též bychom vystavovali konstrukci nebezpečí vzniku plísní a hniloby (Hazucha, 2016).

Je důležité mít prostup vodních par pod kontrolou, a ne je nechat volně unikat netěsnostmi konstrukce. Kontrolou vodních par se rozumí usměrňování jejich difuze skrz konstrukce. Názorně toto popisuje Mehta a kol. (2013), když uvádí příklad balonku. Difuze probíhá přes jeho gumovou obálku (představující obálku budovy), úniky poté netěsnostmi u ventilku, kterým balonek nafukujeme. Tyto netěsnosti představují nedokonalosti vzduchotěsné obálky budovy. Názorně je toto přirovnání možno vidět na obrázku číslo 11.



Obrázek 11 - Rozdíl mezi difúzí a únikem vzduchu netěsností (Mehta a kol., 2013)

S tímto souvisí též pojmy difúzně otevřená a difúzně uzavřená konstrukce. U difúzně otevřené konstrukce umožňujeme vodní páře prostupovat (difundovat) konstrukcí – v omezeném a korigovaném množství. U difúzně uzavřené skladby zamezujeme pronikání vodní páry do konstrukcí skoro úplně (Steiger, 2015). Pro difúzně otevřené konstrukce používáme jako vzduchotěsnou vrstvu nejčastěji OSB desky (Hudec, 2008), případně speciálně upravené sádrovláknité desky (James Hardie ©2024) či fólie (Isocell ©2024). Pro difúzně

uzavřené konstrukce pak převládají fólie na bázi plastů – převážně polyetylénu (Dörken ©2024).

Hlavní rozlišení mezi difúzně otevřenou a uzavřenou konstrukcí je pomocí faktoru difúzního odporu (označovaný μ) a případně ekvivalentní difúzní tloušťky (označovaná s_d). Faktor difúzního odporu udává kolikrát méně je daný materiál prostupný pro vodní páry než vzduch stejné tloušťky, ekvivalentní difúzní tloušťka pak zahrnuje též tloušťku použitého materiálu (d) dle vztahu: $s_d = \mu \cdot d$ [m] (Kaufmann a kol., 2018). Hodnoty ekvivalentní difúzní tloušťky se pak pohybují u parobrzd v jednotkách metrů, u parozábran pak ve vyšších desítkách až stovkách metrů (Aananaz a kol., 2014).

Vzduchotěsnost objektu je po jeho realizaci či v jeho rozestavěném stádiu (po dokončení diskutované vzduchotěsné roviny) nejen možné, ale i velmi doporučené, změřit. U pasivních budov je dokonce požadováno, aby tento test, jenž probíhá za podtlaku a následně přetlaku vnitřního vzduchu 50 Pa, vykazoval maximální hodnotu 0,6. Tato hodnota udává, kolikrát se vymění objem vnitřního vzduchu za jednu hodinu při zmíněném konstantním rozdílu tlaků vnitřního a vnějšího prostředí (Růžička, 2014).

3.4.1.3 Vrstvy tepelné izolace

Pokud se budeme bavit o lehké rámové konstrukci, její velkou výhodou je, že v jedné tloušťkové vrstvě dokáže kombinovat nosnou konstrukci a tepelnou izolaci. Z toho plyne velká výhoda dřevostaveb s tímto konstrukčním systémem, a to malá prostorová náročnost. Dokážeme totiž touto kombinací vrstev oproti stavbám z jiných materiálů ušetřit značný prostor a získat tak cenné zlepšení poměru podlahové plochy k ploše zastavěné (Kaufmann a kol., 2018).

U konstrukčního systému na bázi CLT a jim podobných panelů pak používáme izolaci jak vně této hlavní nosné vrstvy, tak i na vnitřní, interiérové straně. Tento princip využíváme i u dřevostaveb s lehkým rámovým skeletem, a to převážně pro zamezení tepelných mostů v konstrukci a též proto, abychom dále nemuseli zvyšovat tloušťku nosné vrstvy, která již ze statického hlediska vyhovuje (Steiger, 2015).

Mezi nejběžněji využívané tepelné izolace patří vláknité izolace minerální, skelné, dřevovláknité, celulózové a dále pak například polystyren, konopné izolace, sláma a ovčí vlna a další (Zahradníček, Horák, 2007).

Minerální izolace je vyráběna z vyvřelého kamene (čediče), který je v rámci technologického výrobního procesu smíchán s koksem a vápencem a při teplotě 1500 °C roztaven. Následně se tavenina z výše uvedených ingrediencí nechává odkapávat na točící se

válce. Tímto jsou vytvořena jednotlivá vlákna minerální izolace. Ta jsou poté opatřena vrstvou pryskyřice a jsou slisována na požadovanou tvrdost. Jako poslední krok je spečení vytvořené izolace, čímž je vytvrzena pryskyřice a jednotlivá vlákna izolace jsou tak pevně spojena do celku. Mezi hlavní výhody minerální izolace patří to, že je nehořlavá. Této výhody se s oblibou v praxi využívá, a i díky ní jsou minerální izolace mezi nejpoužívanějšími. Výše zmíněné je velmi podobné i u izolací ze skelných vláken (Lyons, 2010).

Dřevovláknitá izolace je vyráběna mokřím způsobem výroby dřevovláknitých desek. To znamená, že jsou ze dřeva určeného pro výrobu této izolace vytvořeny třísky, které jsou následně napařeny a rozvlákněny. Poté jsou do suspenze vláken ve vodě přidány přísady jako například parafín, je odvodněna a slisována na požadovanou tloušťku a tvrdost (Hugues a kol., 2004).

Celulózová izolace, jenž je produkována z recyklovaného papíru je povětšinou aplikována do dutin nebo je možno ji rozprostřít volně – například do půdního prostoru. Při její aplikaci je potřeba dbát na možnost sesedání této izolace a počítat s ní předem. (Zahradníček, Horák, 2007). K rozemleté papírové hmotě bývají při výrobě celulózové izolace přidávány chemické sloučeniny na bázi bóru, které zlepšují konečnou odolnost izolace proti ohni a též proti škůdcům (Hugues a kol., 2004).

Polystyren patří mezi nejvyužívanější izolace vůbec. S výhodami se často využívá zejména pro izolace podlah a plochých střech. Je ho též možno využít jako ekonomicky výhodnější alternativu pro kontaktní izolační systémy fasád difúzně uzavřených obvodových stěn (Zahradníček, Horák, 2007). Výše uvedené platí pro polystyren expandovaný (EPS), který je vyráběn „nafouknutím“ granulátu pomocí horké páry. Objem se takto zvýší 20–50krát. Následně jsou volné kuličky polystyrenu slisovány do výsledných desek nebo jiných požadovaných tvarů. Druhý možný způsob výroby polystyrenu je pomocí extruze. Při tomto způsobu je granulát protlačován extrudérem za přidávání pěnidla (obvykle se jedná o CO₂). Tímto způsobem vzniká extrudovaný polystyren (XPS), jenž ve stavebnictví využíváme například jako izolaci soklové části staveb. Při této aplikaci tak využíváme vlastnost XPS danou jeho uzavřenou strukturou – nenasákavost (Sedlbauer a kol., 2010).

Jako další izolace zmiňuje Sedlbauer a kol. (2010) například ty na bázi fenolu či polyuretanu. Chybík (2009) pak přidává, oproti již zmíněným, přírodní izolace na bázi lnu a korku.

3.4.1.4 Interiérové souvrství

Souvrstvím byla tato kapitola nazvána, jelikož ve většině případů se interiérová skladba od vzduchotěsné vrstvy směrem do interiéru skládá ze 2 součástí. Jsou jimi instalační předstěna, která umožňuje pohodlné a bezpečné provedení rozvodů profesí a poté pohledová interiérová vrstva. Slovo bezpečné bylo v minulé větě uvedeno zejména kvůli omezení prostupů vzduchotěsnou rovinou stavby. V případě použití instalační předstěny totiž nepotřebujeme kvůli každému kabelu, krabičce zásuvky či vypínače, každému rozvodu vody atd. prostupovat právě touto vzduchotěsnou vrstvou a omezujeme tak možnost vytvoření chyby a tím pádem netěsnosti ve vzduchotěsné obálce. Dále nám instalační předstěna umožňuje umístění dodatečné vrstvy izolace do jím vytvořeného prostoru (Růžička, 2014).



Obrázek 12 - Difúzně uzavřená skladba obvodové stěny bez použití předstěny (Haas Fertigbau ©2017)



Obrázek 13 - Difúzně uzavřená skladba obvodové stěny s použitou předstěnou (HK-Dřestav ©2024)

Na obrázcích 12 a 13 na předešlé straně je možno vidět rozdíl mezi skladbou bez použití instalační předstěny a s ní. Na opláštění, ať už je nebo není použita předstěna, jsou nejčastěji využívány sádrokartonové (SDK) a sádrovláknité (SVD) desky, případně dřevěné obklady (Štefko a kol., 2006).

Sádrokartonové desky jsou vyráběny ze sádry, která je rozemleta, smíchána s vodou a dalšími přísadami a následně je tato směs nastříkána na papír, který v podstatě tvoří ve výsledné desce ohybovou výztuž (Hugues a kol., 2004).

U CLT panelů máme možnost využití pohledových panelů a jejich ponechání v interiéru nebo stejné možnosti, které byly zmíněny výše (Mahamid, 2020).

3.4.1.5 Exteriérové souvrství

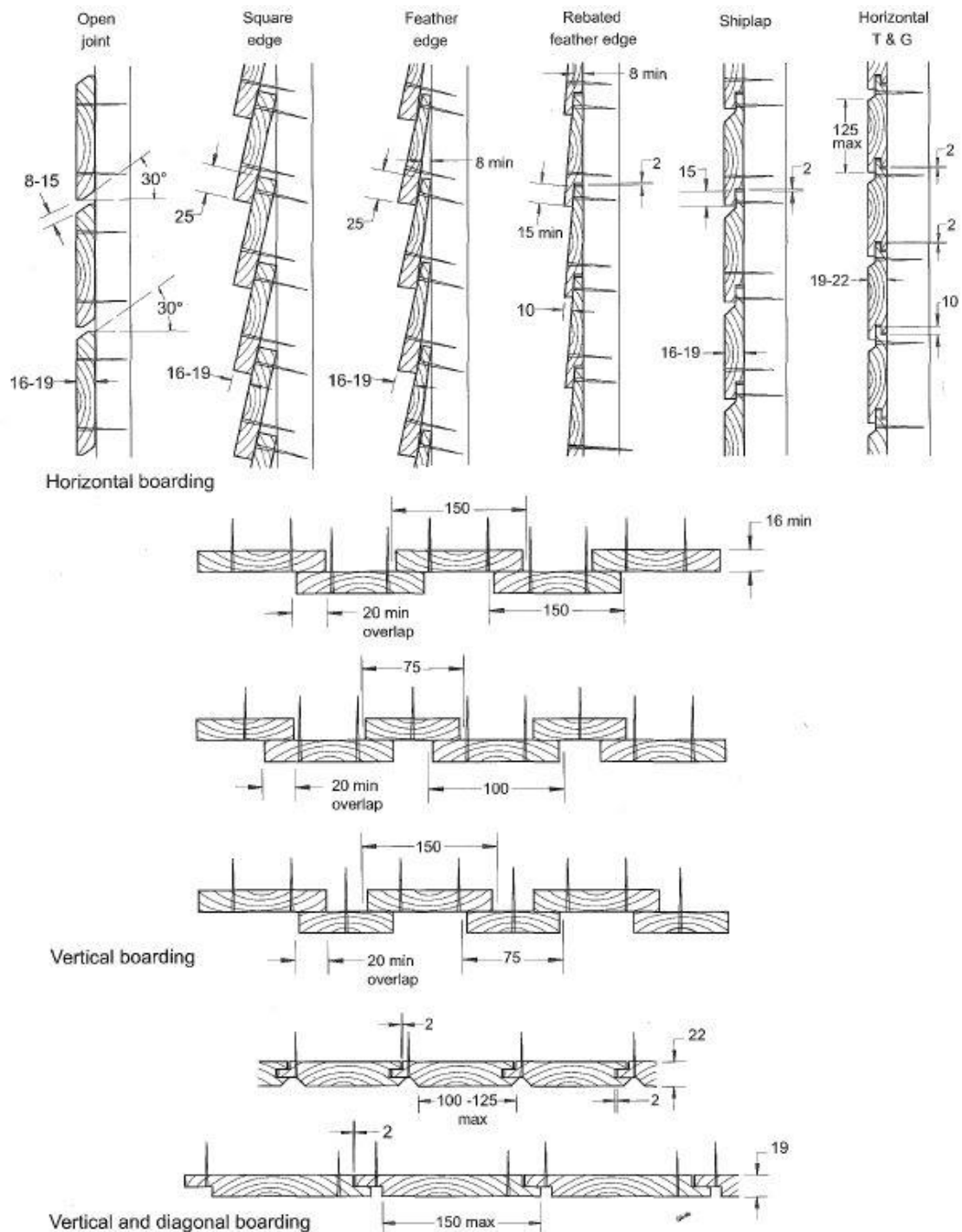
Obdobně jako u interiéru, ani v exteriéru není obvykle pouze jedna vrstva, jedná se tedy též o souvrství. Hlavní vliv na provedení exteriérového pláště obvodové stěny má volba základního provedení – zda zvolíme jednoplášťovou nebo dvouplášťovou konstrukci. Jednoplášťové konstrukce mají celou svoji skladbu jako jednu kompaktní skladbu, u dvouplášťových konstrukcí jsou exteriérové vrstvy odděleny od zbytku konstrukce vzduchovou mezerou (Steiger, 2015).

U jednoplášťových konstrukcí je používán omítkový systém, který je aplikovaný přímo na vhodnou tepelnou izolaci. Společně pak toto souvrství tvoří kontaktní zateplovací systém (Růžička, 2006). Toto je možno vidět na obrázcích 12 a 13 na předchozí straně.

U dvouplášťových konstrukcí Lancashire a Taylor (2011) zmiňují rozdělení podle toho, zda má druhý plášť vlastní podpůrnou konstrukci (základ) či zda je pouze kotven do nosné konstrukce pláště vnitřního. U první zmíněné varianty uvádějí především přízdívky různých konstrukcí. U druhé varianty pak obklady na odvětraných roštích kotvených do nosné konstrukce vnitřního pláště – ať už v podobě dřevěných obkladů různých typů (které je možno zhlédnout na obrázku 14 na následující straně), obložení dlaždicemi, kovovými obklady nebo konstrukčními deskami. Ty mohou být upraveny tak, že jsou již vyrobeny s vhodnou povrchovou úpravou nebo na ně může být aplikován omítkový systém obdobně jako u jednoplášťových konstrukcí stěn.

Ať už je použit u dvouplášťové konstrukce jakýkoliv obkladový materiál, důležité je dodržet následující zásady. Vnitřní plášť stěny musí být opatřen vhodnou vrstvou, která je schopna ochránit proti podmínkám ve větrané mezeře. Toto nás přivádí k další podmínce – mezera mezi jednotlivými plášti má být odvětrávaná. Umožňuje tak odvod vodních par

z konstrukce. Je však nutné umožnit vodní páře, která se do mezery dostává skrz vnitřní plášť stěny (za předpokladu, že stěna má difúzně otevřenou konstrukci) a též jakékoliv další vodě, která by se do mezery mohla dostat, unikat. Dále je potřeba zamezit hmyzu a hlodavcům ve vnikání do této větrané mezery. Toto je zajištěno pomocí aplikace větracích mřížek na oba konce větrané dutiny. Pro odvod vody je pak zapotřebí umožnit vodě vhodně odkapávat směrem od konstrukce. Toto bývá zajištěno vhodným umístěním oplechování (Lancashire, Taylor, 2011).

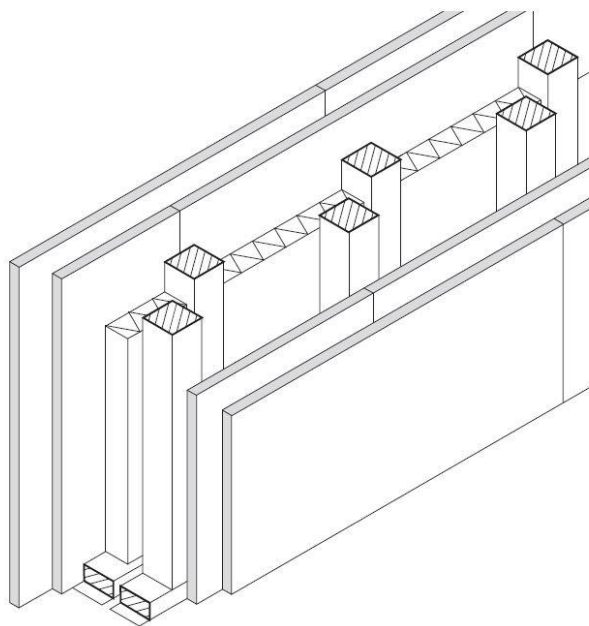


Obrázek 14 - Příklady možného provedení dřevěných exteriérových obkladů obvodových stěn (Lancashire, Taylor, 2011)

3.4.2 Příčkové stěnové panely

Konstrukce těchto panelů je oproti obvodovým značně zjednodušená. Zastávají totiž výrazně menší množství funkcí. Mezi hlavní požadavky, které jsou na příčkové panely kladeny patří zvuková izolace, fyzické rozdělení prostoru a požární odolnost. U některých příčkových panelů může být požadována i nosná funkce, případně i tepelně izolační – v závislosti na jejich umístění. Skládají se tedy ve většině případů pouze z nosného rámu stěny, oboustranného opláštění a mezilehlé izolace. Nosná konstrukce je buď dřevěná nebo z kovových, průmyslově vyráběných profilů označovaných UW a CW. Opláštění bývá nejčastěji tvořeno deskami na bázi sádry (tedy sádrokartonovými či sádrovláknitými) a to buď v jedné nebo více vrstvách – podle konkrétních požadavků na danou příčku. Možné je též zdvojit i nosnou konstrukci příčky a tím tak akusticky ještě více oddělit prostředí na jednotlivých stranách příčky. Jako izolace se ve většině případů využívají minerální izolace, které nabízejí výborné vlastnosti, co se týče požární odolnosti. Možno je však využít i izolace jiné, zmíněné v popisu obvodových stěn. Důležité je si však uvědomit, jaké vlastnosti konkrétně od dané příčky vyžadujeme a volit dle tohoto zadání (Tichelmann, Pfau, 2007).

Na obrázku 15 níže je možno vidět příklad příčky s dvojitou nosnou konstrukcí pro kompletní oddělení prostorů na protějších stranách příčky. Tato příčka má též dvojitě opláštění na obou stranách konstrukce. Příčka s takovou konstrukcí by byla pravděpodobně prefabrikována jako dva jednostranně opláštěné panely, které by k sobě byly osazeny až na stavbě.



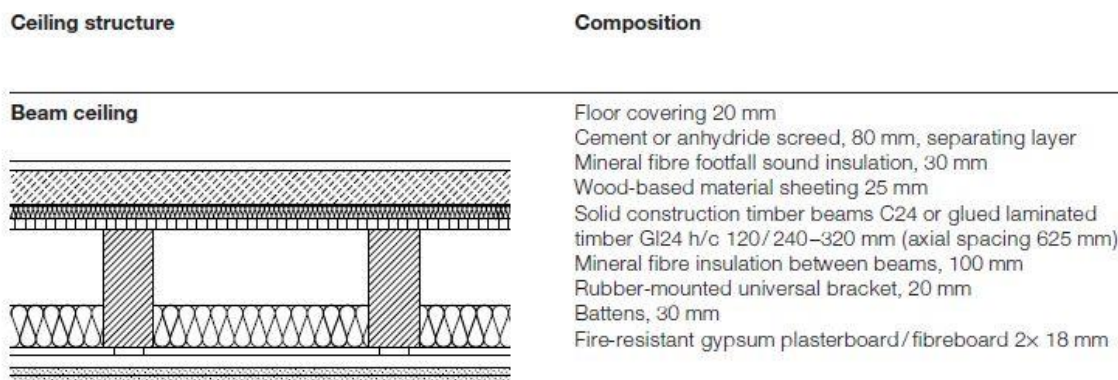
Obrázek 15 - Příčka s dvojitou nosnou konstrukcí a oboustranným dvojitým opláštěním (Tichelmann, Pfau, 2007)

3.4.3 Stropní panely

Konstrukce těchto panelů je velice podobná ostatním panelům s rámovou konstrukcí. Jedná se tedy o většinou jednostranně opláštěný nosný rám (stropní nosníky), často z určité části vyplněný izolací, která zde však mívá spíše akustické účinky než tepelně-technické. Řešení z pohledu akustiky celkově patří mezi nejdůležitější hlediska, která jsou při návrhu stropních panelů řešena. Proto bývají následně na stavbě k panelům tvořeným výše zmíněnými vrstvami přidávány na spodní stranu panelů zavěšené podhledy na kovových závěsech, které dále umožňují odizolování některých frekvencí akustického hluku. Na horní straně panelu pak bývá nejčastěji izolace tlumící kročejový hluk – hluk vzniklý například chůzí či jinými rázy, kterými dochází ke kontaktu s konstrukcí (v tomto případě podlahou horního patra). Další vrstvou bývá vysoce hmotná vrstva zajišťující pro změnu dobrou vzduchovou neprůzvučnost. Toto znamená dobrou izolaci od hluku šířeného vzduchem (Viljakainen, 2003; Lancashire, Taylor, 2011; Steiger, 2015; Kaufmann a kol., 2018).

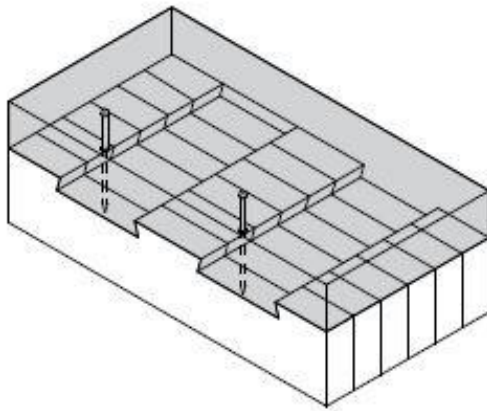
Materiály nosného rámu jsou využívány v podstatě shodné s těmi, jež byly zmíněny v kapitole 3.4.1.1. Materiály využívané k opláštění stropních panelů – vytvoření roznášecí vrstvy podlahy horního podlaží bývají nejčastěji OSB nebo překližované desky. Pro izolaci mezi stropními nosníky bývá využívána nejčastěji minerální izolace. Pro zavěšené podhledy jsou pak nejčastěji aplikovány desky na bázi sádry. Kročejová izolace bývá tvořena například též minerální izolací, polystyrenem či dřevovláknitými deskami. Jako vrstva, která přitěžuje konstrukci podlahy, a vylepšuje tak její vzduchovou neprůzvučnost bývají používány například desky na bázi sádry, beton či anhydritové směsi (Canada Mortgage And Housing Corporation, ©2013; Mehta a kol., 2013).

Příklad kompletně dokončené stropní konstrukce i s podlahou a podhledem je možno vidět na obrázku 16 níže.

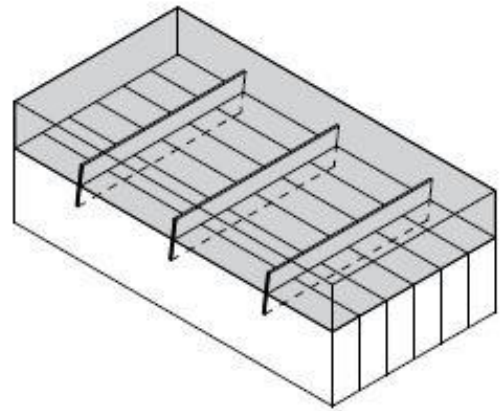


Obrázek 16 - Příklad skladby dokončené ho stropního panelu (Kaufmann a kol., 2018)

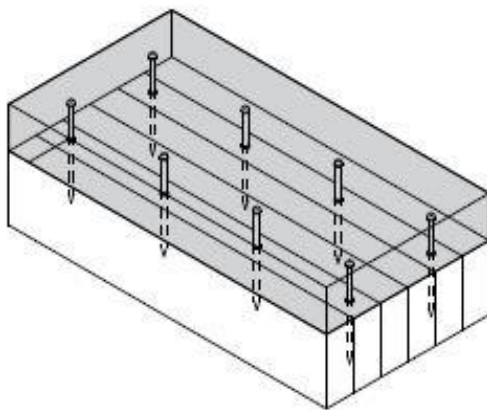
Dalšími možnými konstrukcemi stropů jsou například stropy z CLT panelů, LVL stropy nebo stropy spřažené – dřevo-betonové, které je možno zhlédnout na obrázku 17 (Kaufmann a kol., 2018).



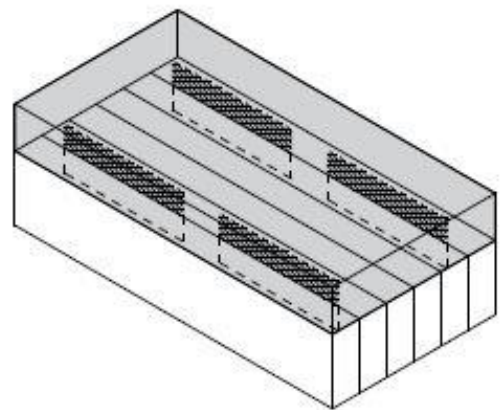
Bird's mouth joints and screws



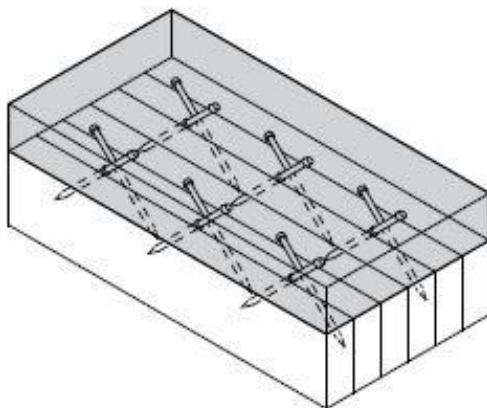
Flat steel elements set in sawn grooves



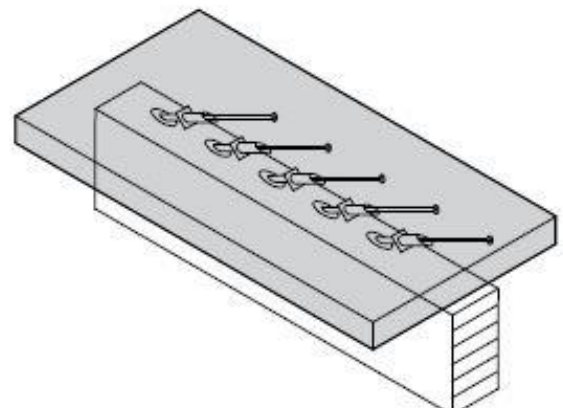
Upright special screws



Expanded metal plates glued in



Diagonally crossing pairs of screws



Prefabricated concrete component with pipe couplings inserted for screwing onto the beam layer on site

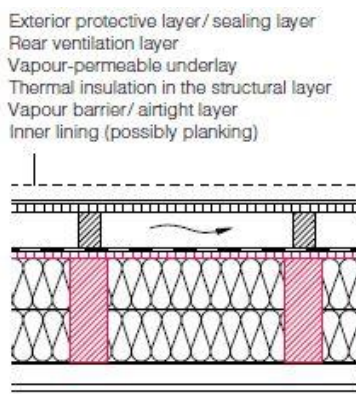
Obrázek 17 - Způsoby spřažení dřeva a betonu pro vytvoření panelu (Kaufmann a kol., 2018)

3.4.4 Střešní panely

Konstrukce těchto panelů je opět podobná již zmíněným panelům. Zejména panelům stropním – obzvláště jedná-li se o panely plochých střech. Hlavními rozdíly však je aplikace vzduchotěsné vrstvy (jedná se o panely obvodové vzduchotěsné obálky budovy), tepelně izolačních vrstev (obdobně jako tomu bylo u obvodových stěnových panelů) a v neposlední řadě též hydroizolačních vrstev (Lancashire, Taylor, 2011).

Materiálová báze nosné konstrukce, vzduchotěsné vrstvy, tepelně izolačních vrstev, interiérového souvrství je v podstatě totožná jako materiálová báze těchto vrstev u panelů obvodových stěn a stropních panelů. V případě běžně používané dvouplášťové šikmé střechy jsou používány kontralatě a latování pro osazení střešní krytiny. Tyto vrstvy jsou v podstatě shodné jako u odvětrávaného obkladu obvodové stěny. V této kapitole bude zmíněna zejména materiálová báze poslední vrstvy střechy, a to její krytiny. Ta nebývá běžně součástí prefabrikovaných panelů, ale aplikuje se až na staveništi a liší se zejména tím, zda se jedná o plochou střechu či o střechu šikmou (Mehta a kol., 2013).

U plochých střech bývají jako krytina využívány modifikované asfaltované pásy, které mohou být na podklad aplikovány zahřátím pásu pomocí plynového hořáku nebo jsou opatřeny samolepicí vrstvou a jsou aplikovány za studena. Další možností hydroizolace ploché střechy jsou fólie na bázi polymerů (plastů). Mezi nejpoužívanější fólie na bázi plastů patří PVC (polyvinylchlorid), TPO (termoplastické olefiny) nebo EPDM (Ethylen-propylen-dienový kaučuk). PVC a TPO fólie lze svařovat, ale nejsou tak elastické jako EPDM. TPO fólie pak mají oproti PVC fóliím velkou výhodu, a to konkrétně, že neobsahují změkčovadla a v konstrukci tak nevedí jejich přímý kontakt například s polystyrenovou tepelnou izolací, která častokrát tvoří spád jednoplášťových plochých střech. Možná podoba skladby dvouplášťové střechy s povlakovou krytinou je vyobrazena na obrázku 18 níže. U šikmých střech bývají nejčastěji používány krytiny keramické, betonové nebo plechové (Mehta a kol., 2013).



Obrázek 18 - Možné provedení dvouplášťové střechy (Kaufmann a kol., 2018)

4 Metodika

Jako první byl vytvořen základní návrh literární rešerše. K tomuto kroku byl využit program Word z balíku Microsoft Office.

V druhé fázi byl definován vzorový projekt, na jehož základě byla diplomová práce zpracována. Konkrétně se jedná o jednopodlažní objekt (bungalov) se sedlovou střechou, jenž je navržen jako jednogeneační – pro trvalé obývání čtyřčlennou rodinou. Půdorys, legenda místností v něm a pohledy z projektu pro stavební povolení, na základě kterého byla zpracována výrobní dokumentace, jsou vyobrazeny na obrázcích 19, 20 a 21 na následujících stranách.

Po hrubém rozvržení literární rešerše a zvolení vzorového projektu byly sepsány ty části souhrnné technické zprávy, ke kterým byly v danou dobu dostupné potřebné informace. Technická zpráva, stejně jako literární rešerše byla zpracována v programu Microsoft Word.

Prvním logickým krokem zpracování výrobní dokumentace bylo zajistit skladby jednotlivých konstrukcí. Většina skladeb konstrukcí odpovídá skladbám použitým v projektu, jenž byl vybrán a použit jako vzor pro vypracování výrobní dokumentace.

Tyto skladby byly následně posouzeny z hlediska tepelné fyziky v programu Teplo 2017 od firmy K-CAD spol. s.r.o. Poté byly provedeny předeslané úpravy některých skladeb tak, aby splňovaly všechny požadavky jak z hlediska právě stavební fyziky, tak i z hlediska konstrukčního.

Následně byl zpracován statický posudek vybraného konstrukčního prvku (vazníku) v programu Fin EC 2024. Následovalo zpracování posudku tří spojů. Toto předcházelo tvorbě konstrukčních detailů a realizační výkresové dokumentace, jelikož bylo potřeba v těchto částech již používat výsledky těchto posudků – obdobně jako u tvorby a posouzení skladeb z hlediska stavební fyziky.

V další fázi byly zpracovány vybrané konstrukční detaily tak, aby následné zpracování výrobní dokumentace probíhalo co možná nejjednodušeji a nejefektivněji. Zkrátka, aby k tvorbě výrobní dokumentace byly dostatečné a kvalitní podklady. Konstrukční detaily byly zpracovány v programech AutoCAD LT 2024 a CADKON + 2021.

Následně byla za pomoci podkladů v podobě vybraného projektu a vypracovaných detailů a posudků vytvořena realizační dokumentace všech panelů stavby. V tomto případě se jedná pouze o stěnové panely, jelikož vybraná stavba je bungalov – nenachází se v ní tedy stropní panely. Zastřešení objektu je vyřešeno příhradovými vazníky, a ne střešními panely. Výrobní dokumentace byla zpracována ve verzích programu SEMA 23.2 a 23.3.

Po dokončení výrobní dokumentace byla vytvořena dokumentace vybraného prvku pro výrobu na tesařském CNC stroji.

Na základě výrobní dokumentace byl též vypracován rozpočet stavby, a to v programu KROS 4.

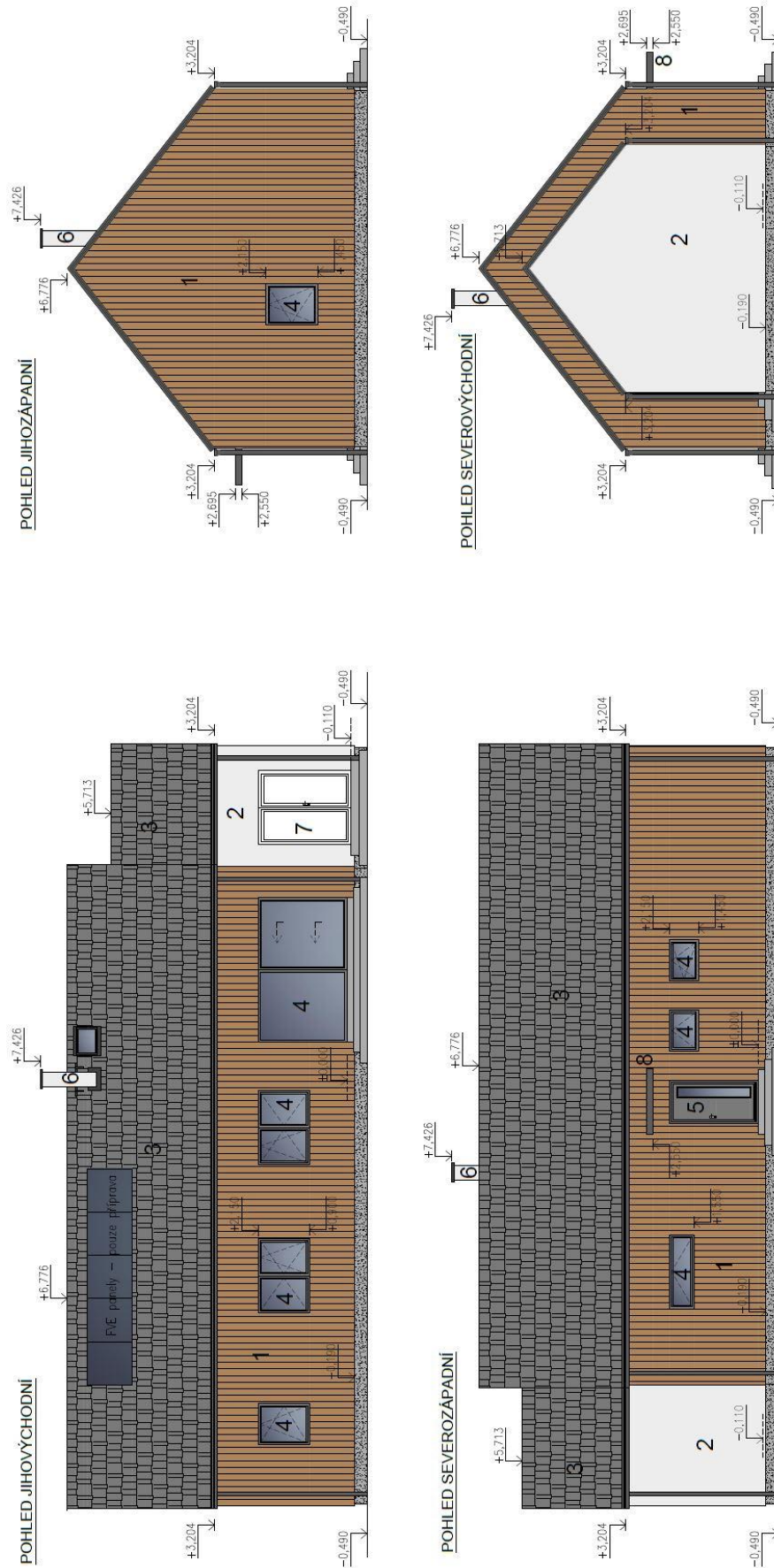
V tuto chvíli byla dokončena souhrnná technická zpráva na základě podkladů z ostatních zpracovaných částí diplomové práce.

Posledním krokem zpracování této závěrečné práce je dokončení literární rešerše a zpracování textového obsahu práce, jehož část má čtenář na očích i v tuto chvíli.

LEGENDA MÍSTNOSTÍ:

OZN.	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA [m ²]	PODLAHA	ÚPRAVA STĚN	ÚPRAVA STROPŮ
1.01	ZÁDVEŘÍ	6,03	Dlažba	Bílá malba	Bílá malba
1.02	TECHNICKÁ MÍSTNOST	4,23	Dlažba	Bílá malba	Bílá malba
1.03	KOUPELNA	7,48	Dlažba	Obklad v.=2,10m + bílá malba	Bílá malba
1.04	ŠATNA + SAUNA	13,03	Dřevěná	Bílá malba	Bílá malba
1.05	LOŽNICE	10,4	Dřevěná	Bílá malba	Bílá malba
1.06	POKOJ	11,84	Dřevěná	Bílá malba	Bílá malba
1.07	POKOJ	12,1	Dřevěná	Bílá malba	Bílá malba
1.08	CHODBA	10,52	Dřevěná	Bílá malba	Bílá malba
1.09	OBÝVACÍ POKOJ + KK	36,42	Dřevěná	Bílá malba	Bílá malba
1.10	SKLAD (NEVYTÁPĚNÝ)	14,22	Samonivel. stěrka	Bílá malba	Bílá malba
CELKEM		126,27	m ²		

Obrázek 19 - Legenda místností zvoleného projektu – použito se souhlasem autora projektu pro stavební povolení (Viktor Beníšek, 2022)



Obrázek 21 - Pohledy na vybraný objekt ze zvoleného projektu – použito se souhlasem autora projektu pro stavební povolení (Viktor Beníšek, 2022)

5 Výsledky

V této kapitole jsou prezentovány dosažené výsledky zpracované na základě zadání diplomové práce a výše zmíněných podkladů.

5.1 Literární rešerše

Jako první výsledek této práce spatřila světlo světa literární rešerše. Ta byla vytvořena na základě veřejně dostupných zdrojů a informací. Seznam těchto zdrojů je uveden na konci textové části této práce.

5.2 Souhrnná technická zpráva

Tato byla vypracována na základě přílohy č. 13 vyhlášky 499/2006 Sb., která pojednává o rozsahu a obsahu projektové dokumentace pro provádění stavby. Ačkoliv předmětem této práce není dokumentace pro provádění stavby, nýbrž dokumentace výrobní (= realizační), byla tato příloha vyhlášky zvolena jako vhodný zdroj pro sepsání souhrnné technické zprávy. Na jejím základě tedy byla vytvořena zmíněná souhrnná technická zpráva, jenž je k této práci přiložena jako příloha č. 2.

V této zprávě jsou tedy uvedeny výše zmíněnou vyhláškou udávané body, které jsou náležitě rozepsány pro konkrétní stavbu – předmět této diplomové práce.

5.3 Skladby konstrukcí

Jak již bylo uvedeno v kapitole č. 4 – Metodika, skladby konstrukcí jsou převážně převzaty z vybraného projektu pro stavební povolení, na jehož základě byla zpracována výrobní dokumentace, která je předmětem této diplomové práce. Jelikož se autor projektu pro stavební povolení sám věnuje projektům dřevostaveb, zná specifické potřeby návrhu dřevostaveb a projekt vytvářel již v podstatě na míru – se zadanými skladbami konstrukcí, nebylo potřeba jejich velkých úprav.

Úpravy skladeb konstrukcí vznikly ve skladu zahradního nábytku a náradí (viz obr. 19 a 20 výše). Ten byl původně plánovaný jako kompletně nevytápěný, nebyla tak potřeba zateplení podlahy. Na základě požadavků investora již ve fázi tvorby výrobní dokumentace byla učiněna změna – do skladu byl přidán radiátor ústředního vytápění a vznikl tak požadavek na zaizolování skladby podlahy. Původně bylo totiž uvažováno, že bude použita pouze betonová mazanina o tloušťce 80 mm a na ní provedena sěrka. Skladba se nakonec změnila a byla použita alespoň malá vrstva podlahového polystyrenu. Konkrétně se jednalo o 50 mm polystyrenu, na nějž byla vylita 50 mm tlustá vrstva betonové mazaniny vyztužené polymerovými vlákny. Na tu pak byla provedena plánovaná sěrka.

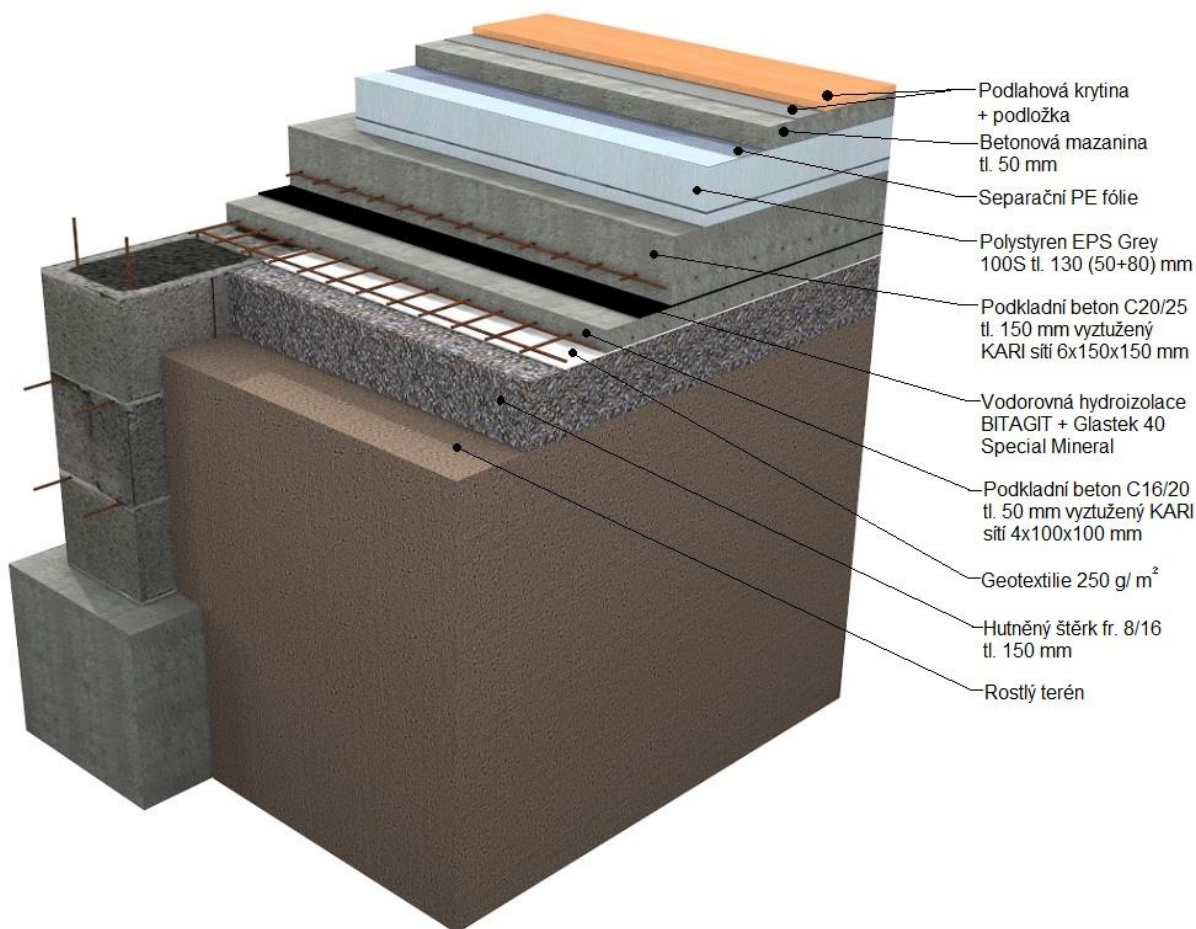
Druhá změněná skladba je ta oddělující rodinný dům od skladu. Tato byla původně v projektu uvažována tak, že na vnitřním povrchu skladu by na této stěně byl běžný exteriérový omítkový systém. Tato varianta byla zavržena a byla nahrazena použitím interiérového souvrství tak, jako na ostatních stěnách skladu. Byla tedy použita instalační předstěna zaklopená sádrovláknitými deskami, které byly po jejich vytmelení vymalovány běžnou interiérovou barvou. Vzhled vnitřního prostoru skladu se tak dostal na úroveň běžné interiérové místnosti.

V této nově navržené skladbě byla též lépe vyřešena otázka vzduchotěsnosti objektu. Možná by stálo za to napsat objektů, jelikož ve výsledku byly vzduchotěsné roviny rodinného domu a skladu kompletně rozděleny. Do skladby této dělicí stěny byly totiž použity sádrovláknité desky Fermacell Vapor, u kterých výrobce garantuje vzduchotěsnost (James Hardie ©2024). K těmto deskám pak byly prolepeny vzduchotěsné vrstvy všech ostatních konstrukcí tvořících vzduchotěsnou obálku skladu.

Oproti projektu pro stavební povolení byla též změněna skladba v části rodinného domu - za kuchyňskou linkou. V tomto místě byla v projektu navržena rozšířená instalační předstěna z 60 na 100 mm. Jelikož toto rozšíření nebylo z žádného důvodu potřeba, skladba zůstala stejná jako v ostatních místech – tedy s instalační předstěnou tloušťky 60 mm.

Skladby štítových stěn nebyly v projektu specifikovány, a tak byly vytvořeny viz podkapitoly 5.3.9 a 5.3.10.

5.3.1 Skladba základové konstrukce a podlahy v RD – označení F1



Obrázek 22 - Skladba F1 – základová a podlahová konstrukce RD (autor práce, 2024)

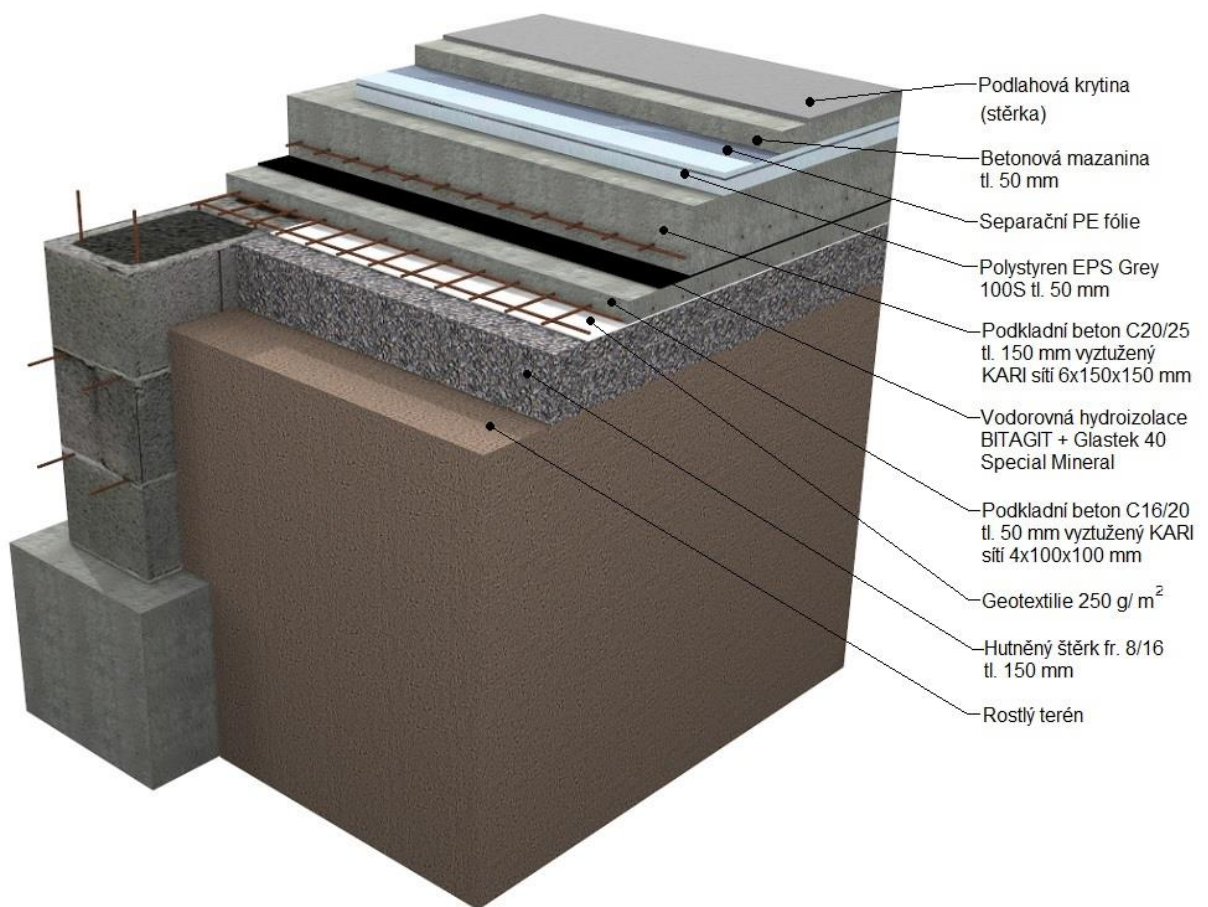
První částí této skladby je dvojitá podkladní betonová deska, která je umístěna na hutněném štěrkovém loži frakce 8/16 tloušťky 150 mm a na základových pasech. Vrstvy štěrkového lože a první podkladní desky jsou od sebe odděleny pomocí geotextilie. Po provedení první podkladní betonové desky tloušťky 50 mm, která je vyztužena KARI sítí o průměru výztuže 4 mm a s oky 100x100 mm je této dopřán dostatečný čas na její vytvrzení. Následně je provedena vodorovná hydroizolace stavby, která je tvořena dvěma vrstvami hydroizolačních pásů na bázi asfaltu. Na tu je poté, do příčného bednění po obvodu desky, vylita druhá betonová deska. Ta je vyztužena pomocí KARI sítě s průměrem výztuže 6 mm a oky 150x150 mm. Do této desky jsou pak následně kotveny panely stavby.

Toto řešení má výhodu při osazování prefabrikovaných panelů – pokud je potřeba jakkoliv upravit pozici panelu (posunout ho po podkladní desce), nedojde k poškození hydroizolace tak,

jak by tomu bylo u konvenčního řešení, kdy je hydroizolace při osazování panelů poslední, horní vrstvou. Nevýhodou tohoto řešení je pak jak časová, tak ekonomická náročnost. Je potřeba vytvořit dvě desky, dvakrát dodržovat technologickou přestávku pro vytvrzení betonu. U konvenčního, běžně používaného řešení, kdy je tato deska pouze jedna získáváme jak finanční, tak časový náskok již u založení stavby.

Jak je vidno z obrázku číslo 22 z předchozí strany, na již popsané skladbě základové konstrukce je umístěna skladba podlahy. Ta je vytvořena až po provedení hrubé stavby rodinného domu a skládá se z tepelné izolace – expandovaného polystyrenu tl. 130 mm. Vrstva polystyrenu je rozdělena na 50 a 80 mm tak, aby umožňovala snadné provedení rozvodů profesí v podlaze. Dalším důvodem pro toto řešení je překrytí spár první vrstvy vrstvou druhou. Na zmíněné tepelné izolaci je umístěna separační fólie. Na té je pak provedena betonová mazanina vyztužená polymerovými vlákny tloušťky 50 mm. Na ni je pak osazena podlahová krytina – nášlapná vrstva – dle typu místnosti.

5.3.2 Skladba základové konstrukce a podlahy ve skladu – označení F2

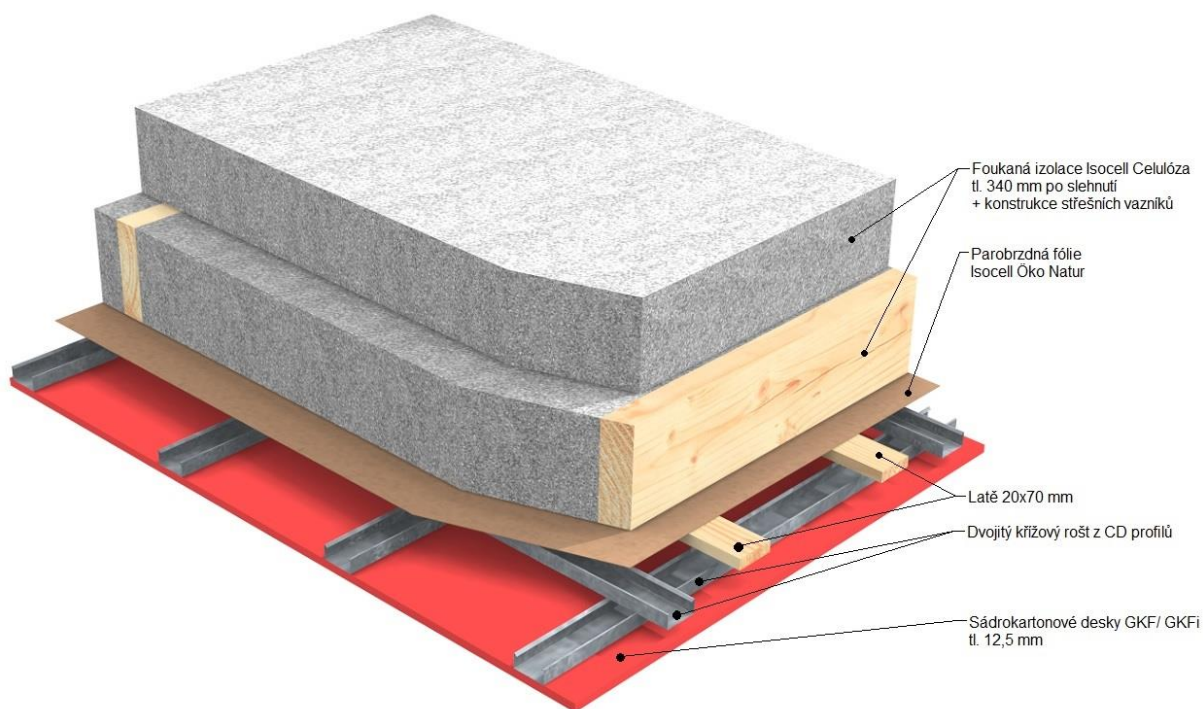


Obrázek 23 - Skladba F2 – základová a podlahová konstrukce skladu (autor práce, 2024)

Skladba základové konstrukce skladu se shoduje se skladbou základové konstrukce rodinného domu popsanou výše. Základy těchto dílčích částí jsou provedeny v jedné ploše a v jedné výškové úrovni, což se vrchní roznášecí desky týče.

Skladba podlahy byla již popsána v kapitole 5.3, jelikož se jedná o jednu ze skladeb, u kterých byly vyžadovány změny v jejich provedení. Skladba tedy, jak je vidno z obrázku 23, obsahuje ve své podstatě stejné vrstvy jako skladba podlahy v rodinném domě. Je v ní umístěna tepelná izolace v podobě expandovaného polystyrenu. Zde ovšem pouze v tloušťce 50 mm. Na této izolaci je umístěna separační fólie a na ní vylita betonová mazanina vyztužená polymerovými vlákny tloušťky 50 mm. Na této betonové mazanině je provedena epoxidová stěrka – podlahová krytina skladu.

5.3.3 Skladba stropu 1.NP v RD – označení C1



Obrázek 24 - Skladba C1 – stropní konstrukce 1.NP RD (autor práce, 2024)

Nosná konstrukce stropu je tvořena spodními pásnicemi příhradových vazníků. Tyto umožňují svojí konstrukcí jak vytvoření nosné konstrukce střechy, tak právě i nosné konstrukce stropu podlaží umístěného pod nimi. Tohoto se s výhodou využívá právě u jednopodlažních objektů, u nichž není požadavek na otevřený obytný prostor až ke hřebeni střechy.

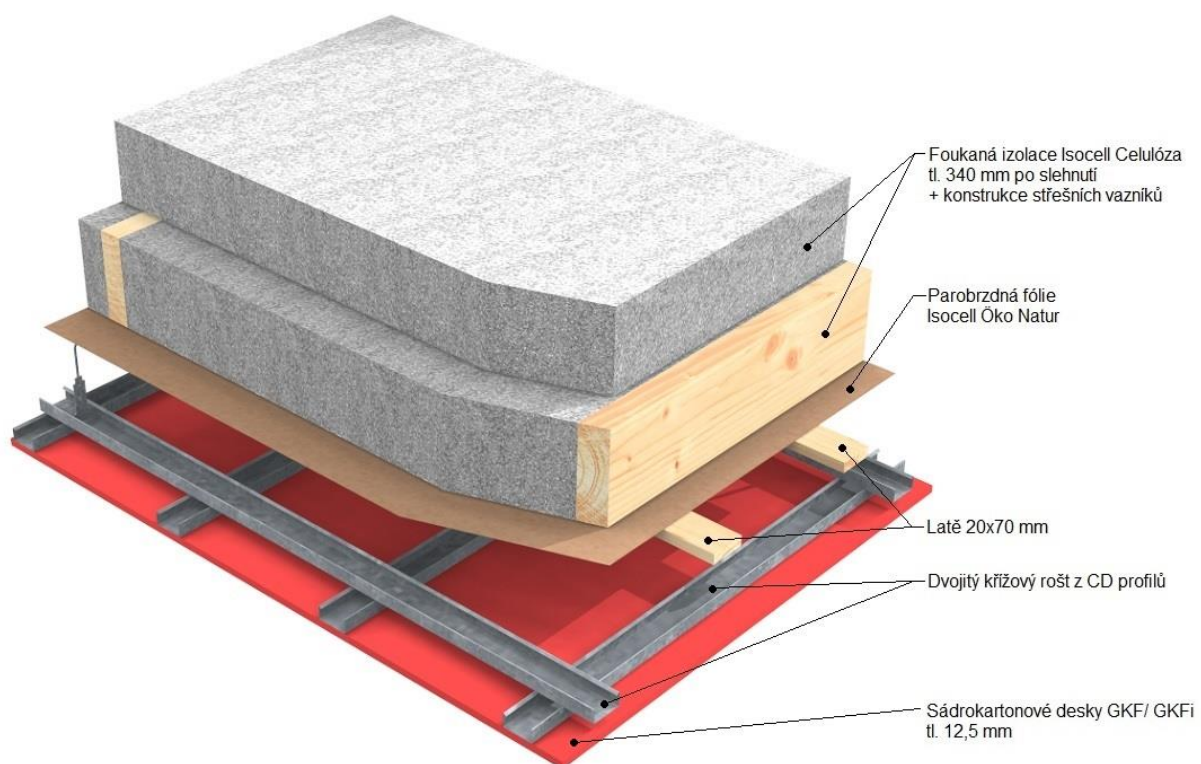
Na spodní pásnice vazníků, jak je možno vidět na obrázku 24, je aplikována vzduchotěsná vrstva v podobě parobrzdňé fólie. Ta je odspodu podpořena dřevěnými latěmi

20x70 mm tak, aby po aplikaci foukané celulózové tepelné izolace nedocházelo k jejímu poškození vahou této tepelné izolace.

Pod zmíněnými vrstvami vzduchotěsné fólie a dřevěných podpurných latí je umístěn sádrokartonový podhled. Ten je ke konstrukci kotven pomocí dvojitého, křížem orientovaného roštu z kovových sádrokartonářských profilů zavěšeného na přímých závěsech. Použitý sádrokarton je typu F – tedy protipožární. Ten zajišťuje protipožární odolnost vazníkové konstrukce tvořené jednotlivými příhradovými vazníky typu Gangnail. Tyto z důvodu použití tenkých plechů umístěných vně dřevěných prvků, které spojují, nemají samy o sobě valnou protipožární odolnost. Je jim potřeba pomoci právě například konstrukcí podhledu. Ta je v případě požáru ochrání alespoň po požárníky požadovanou dobu – dobu pro evakuaci osob z objektu.

Jelikož u této stavby nevznikl požadavek na prostor pro vedení vzduchotechniky, je vzduchová mezera v podhledu relativně malá.

5.3.4 Skladba stropu 1.NP ve skladu – označení C2



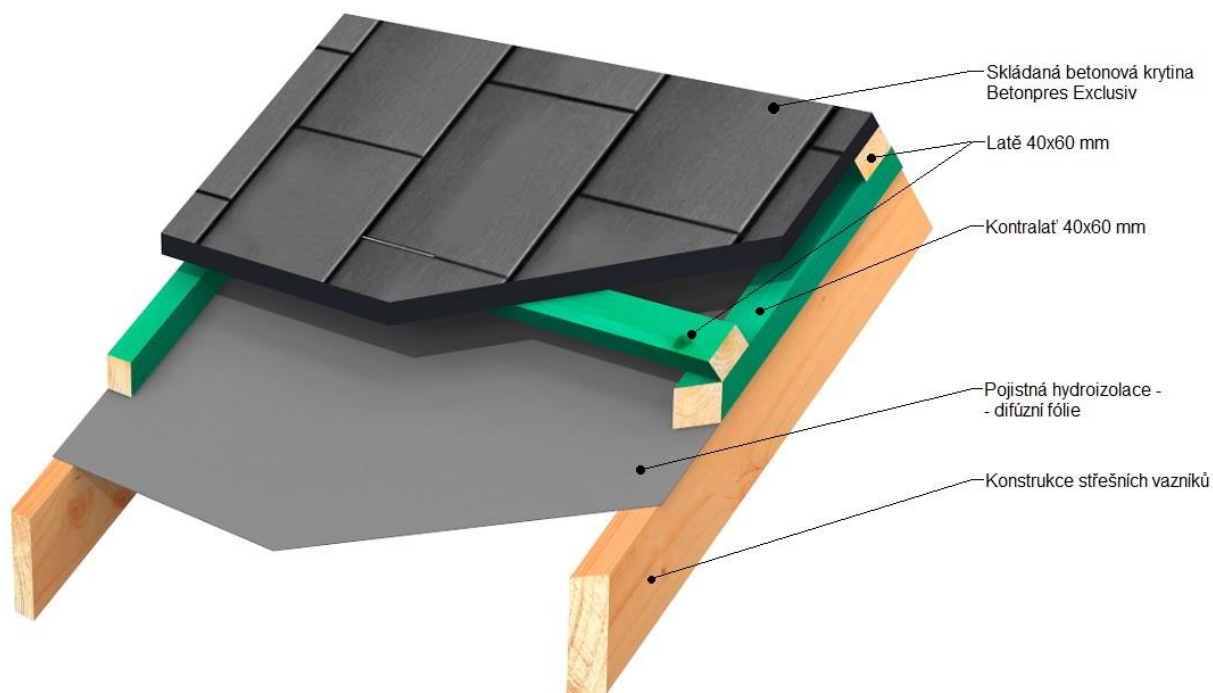
Obrázek 25 - Skladba C2 – stropní konstrukce 1.NP skladu (autor práce, 2024)

Tato skladba je ve své podstatě shodná se skladbou stropní konstrukce v rodinném domě. Jediný rozdíl je větší svěšení podhledu, a tudíž větší vzduchová mezera mezi parobrzdou fólií a sádrokartonovou deskou.

Toto větší svěšení vzniklo z důvodu nižší skladby podlahy ve skladu oproti rodinnému domu a z důvodu zachování stejné světlé výšky místnosti skladu jako všech místností v rodinném domě.

Skladba C2 je vyobrazena na obrázku číslo 25.

5.3.5 Skladba střešního pláště – označení R1



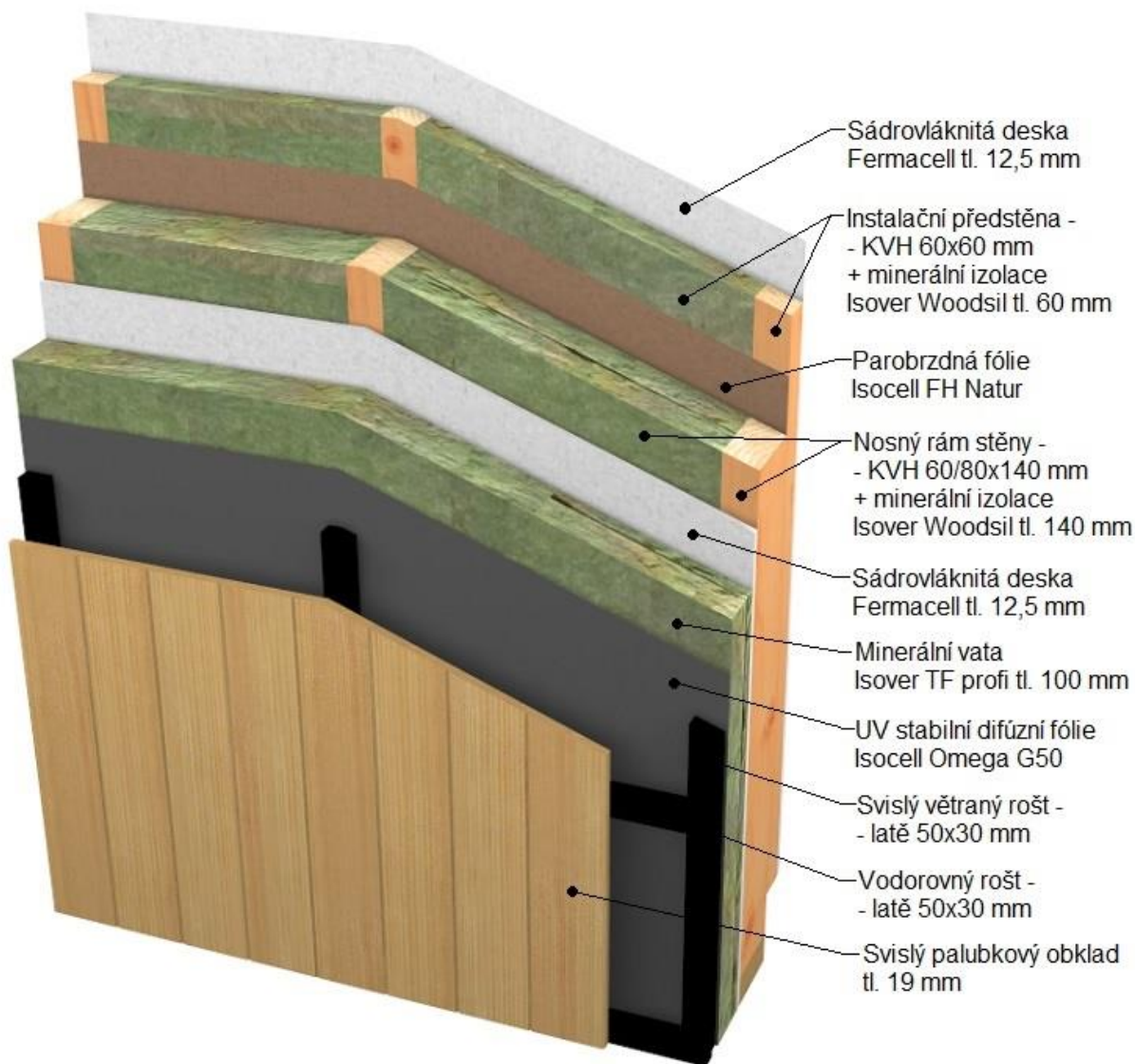
Obrázek 26 - Skladba R1 – střešní plášť RD a skladu (autor práce, 2024)

Skladba střešní konstrukce je podepírána, jak již bylo zmíněno v kapitole 5.3.3, nosnou konstrukcí v podobě příhradových vazníků typu Gangnail – spojovaných pomocí tenkých ocelových desek s prolisovanými trny. Na horních pásnicích těchto příhradových vazníků je následně položena pojistná hydroizolační vrstva v podobě difúzní fólie. Na ní jsou potom kladeny kontralate s předem aplikovanou těsnicí páskou. Ta vyrovnává nerovnosti na kontralatech a případně i vaznicích a dotěsňuje otvory v pojistné hydroizolaci vzniklé jejím kotvením a kotvením kontralate.

Na kontralatech jsou pak, ve výrobcem krytiny předepsaných vzdálenostech, instalovány střešní latě. Na ně je následně aplikována krytina – v tomto případě betonová skládaná krytina od výrobce Betonpres.

Tato skladba je využita jednotně pro střechu rodinného domu i skladu a je naznačena na obrázku 26 výše.

5.3.6 Skladba obvodové stěny RD – označení W1



Obrázek 27 - Skladba W1 – obvodová stěna RD (autor práce, 2024)

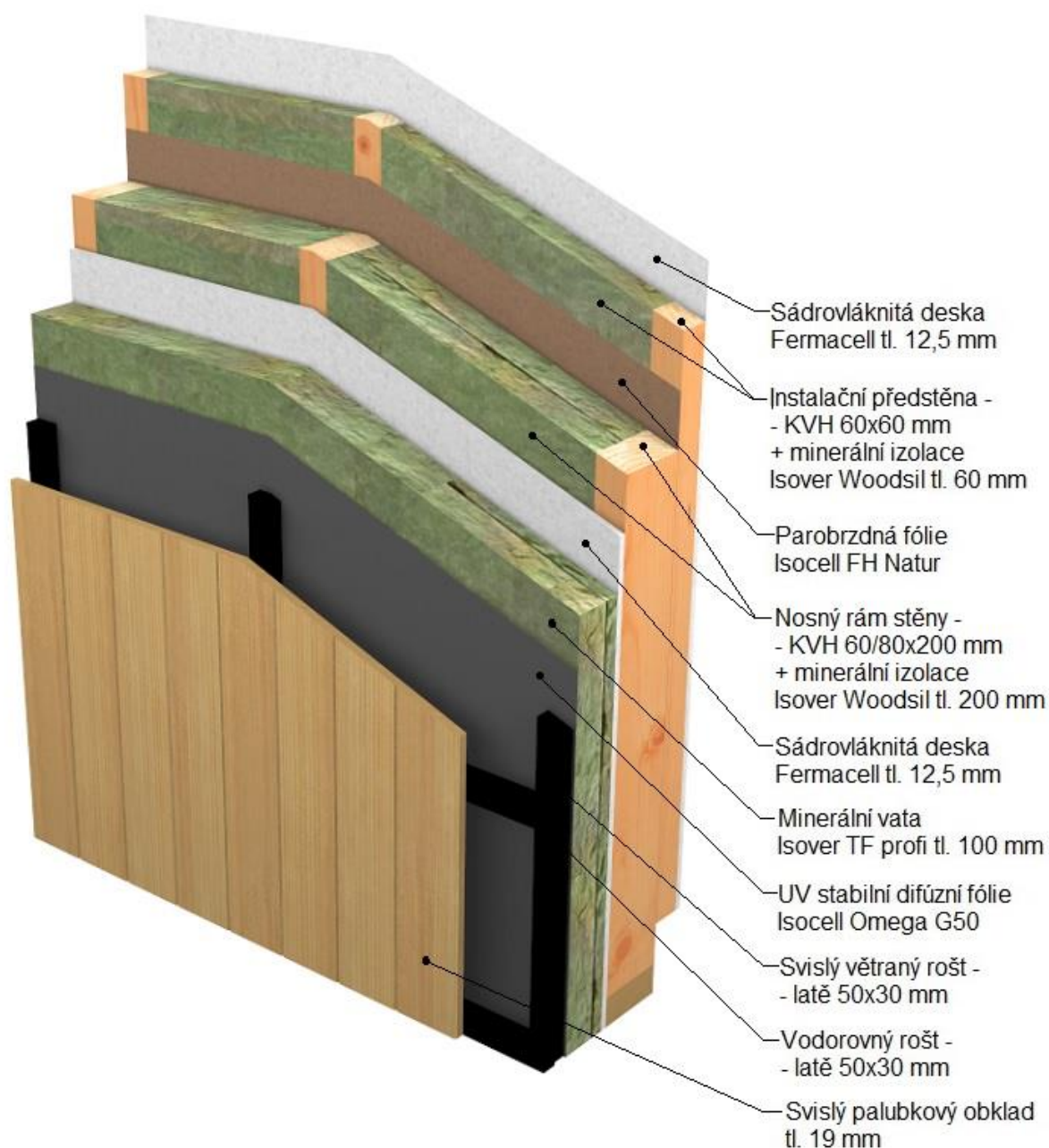
Tato skladba tvoří většinu obvodových stěn rodinného domu. Jedná se o skladbu dvouplášťovou, kdy vnitřní plášť obsahuje interiérové souvrství (sádrovláknitá deska a instalační izolovaná předstěna sestávající se z KVH latí 60x60 mm a mezilehlé tepelné minerální izolace), vzduchotěsnou vrstvu v podobě parobrzdné fólie, nosný rám stěny tloušťky 140 mm vyplněný minerální izolací, sádrovláknitou desku zajišťující statickou stabilitu stěny, tepelnou minerální izolaci a difúzní fólii. Vnější plášť stěny je pak tvořen svisle orientovanými palubkami na dvojitém roštu. První rošt tvoří svislé latě 50x30 mm, které zajišťují odvětrání vzduchové mezery mezi dvěma pláští. Druhý, vodorovný, rošt je opět tvořen latěmi 50x30 mm. Tento vodorovný rošt má za úkol pouze umožnit kotvení svisle orientovaných palubek ke konstrukci stěny. Oba tyto rošty jsou opatřeny černou barvou tak, aby byly, pokud možno, co

nejméně viditelné. První, svislý, rošt je aplikován ještě ve výrobní hale. Vodorovný rošt s obkladem samotným pak na staveništi. Toto šetří místo na nákladních autech při přepravě a také zamezuje možnému poškození pohledových obkladů při přepravě.

Odvětraná mezera je na obou svých koncích (jak při spodku, kde je do ní nasáván vzduch, tak nahoře, kde je vzduch opět „vydechován“ z mezery) opatřena hliníkovými mřížkami. Tyto mřížky zamezují vniknutí hmyzu či hlodavců do prostoru vzduchové mezery.

Skladba stěny W1 je vyobrazena na obrázku 27.

5.3.7 Skladba obvodové stěny RD – označení W2

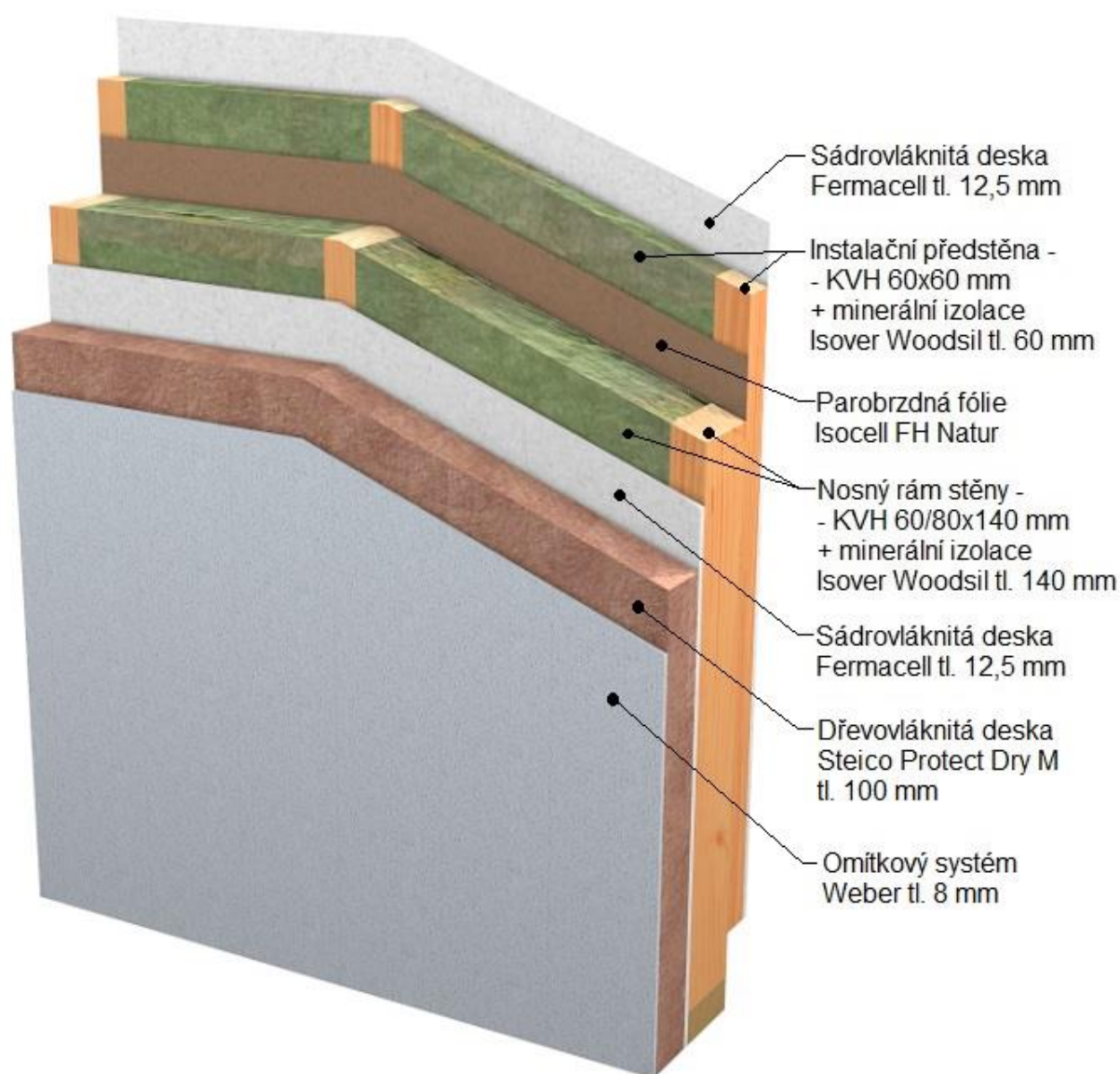


Obrázek 28 - Skladba W2 – obvodová stěna RD (autor práce, 2024)

Tato skladba byla v konstrukci využita pouze na jednom místě, a to konkrétně v místě osazení HS portálu. Ten má oproti ostatním výplním stavebních otvorů výrazně větší stavební hloubku a nelze tak osadit do stěny se skladbou W1 (nosným rámem 140 mm). Bylo tak přistoupeno k rozšíření nosného rámu ze zmíněných 140 mm na 200 mm, což znamenalo o 60 mm více místa v konstrukci pro osazení HS portálu.

Kromě zvětšení tloušťky nosného rámu stěny nejsou oproti skladbě označené jako W1 provedeny žádné změny. Obrázek skladby W2, uvedený na předchozí straně s číslem 28, je tak velice podobný obrázku skladby W1. Popis skladby tak vyjma tohoto jednoho rozdílu odpovídá popisu v kapitole 5.3.6.

5.3.8 Skladba obvodové stěny skladu – označení W3



Obrázek 29 - Skladba W3 – obvodová stěna skladu (autor práce, 2024)

Aby zůstal zachován architektonický návrh ze vzorového projektu pro stavební povolení, byla na stěny skladu použita skladba, kterou je možno vidět na obrázku 29. Ta je s vrstvami od interiéru v podobě sádrovláknité desky, instalační předstěny vyplněné minerální izolací, parobrzdné fólie, nosného rámu tloušťky 140 mm vyplněného minerální izolací a ztužující sádrovláknité desky totožná se skladbou W1. Liší se od ní tím, že je jednoplášťová, to znamená, že v ní není využito odvětrávané mezery. Přímou na staticky ztužující sádrovláknitou desku je tak umístěna izolační deska. Zde jí však není minerální vata jako u skladby W1, ale dřevovláknitá izolační deska. Minerální vata byla u skladeb s dřevěným obkladem použita z důvodu lepší požární odolnosti potřebné z důvodu přidaného požárního zatížení v podobě dřevěného obkladu. Na dřevovláknité desce je aplikován omítkový systém. Jeho první část – lepící stěrkovací hmota s výztužnou tkaninou je aplikována ve výrobní hale, finální pohledová omítkota potom po stavbě hrubé stavby na staveništi.

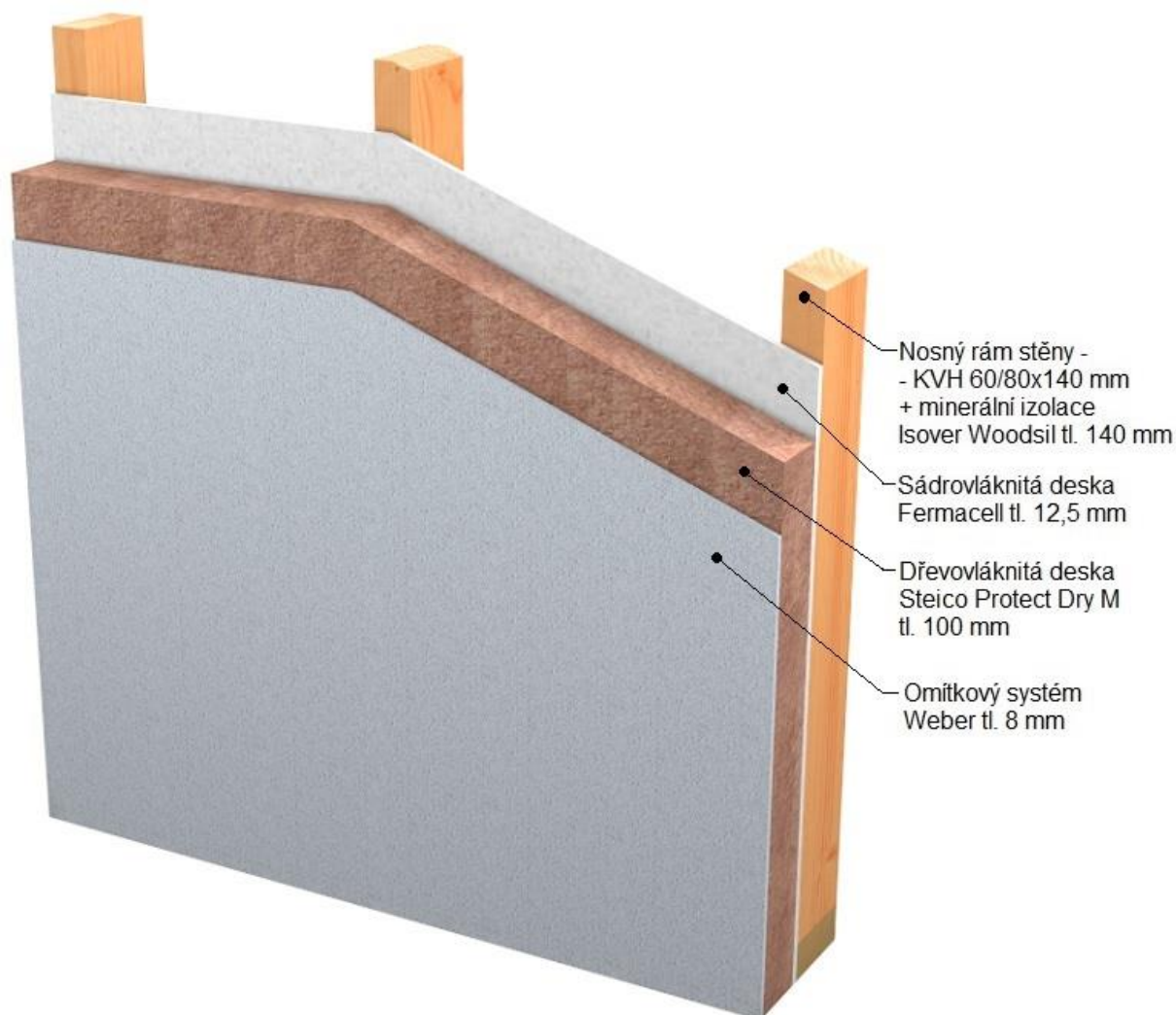
5.3.9 Skladba štítové stěny RD – označení W4



Obrázek 30 - Skladba W4 – štítová stěna RD (autor práce, 2024)

Tato skladba je v podstatě kopií skladby W1. Jsou však u ní vynechány vrstvy, které již není nutné ve štítech uložených mimo tepelně-izolační a vzduchotěsnou obálku budovy realizovat. Oproti skladbě W1 je tedy vynechána tepelná izolace v nosném rámu stěny, parobrzdná fólie a kompletní interiérové souvrství v podobě zaizolované instalační předstěny a interiérové pohledové sádrovláknité desky. Toto lze spatřit výše – v podobě ilustrace 30.

5.3.10 Skladba štítové stěny skladu – označení W5

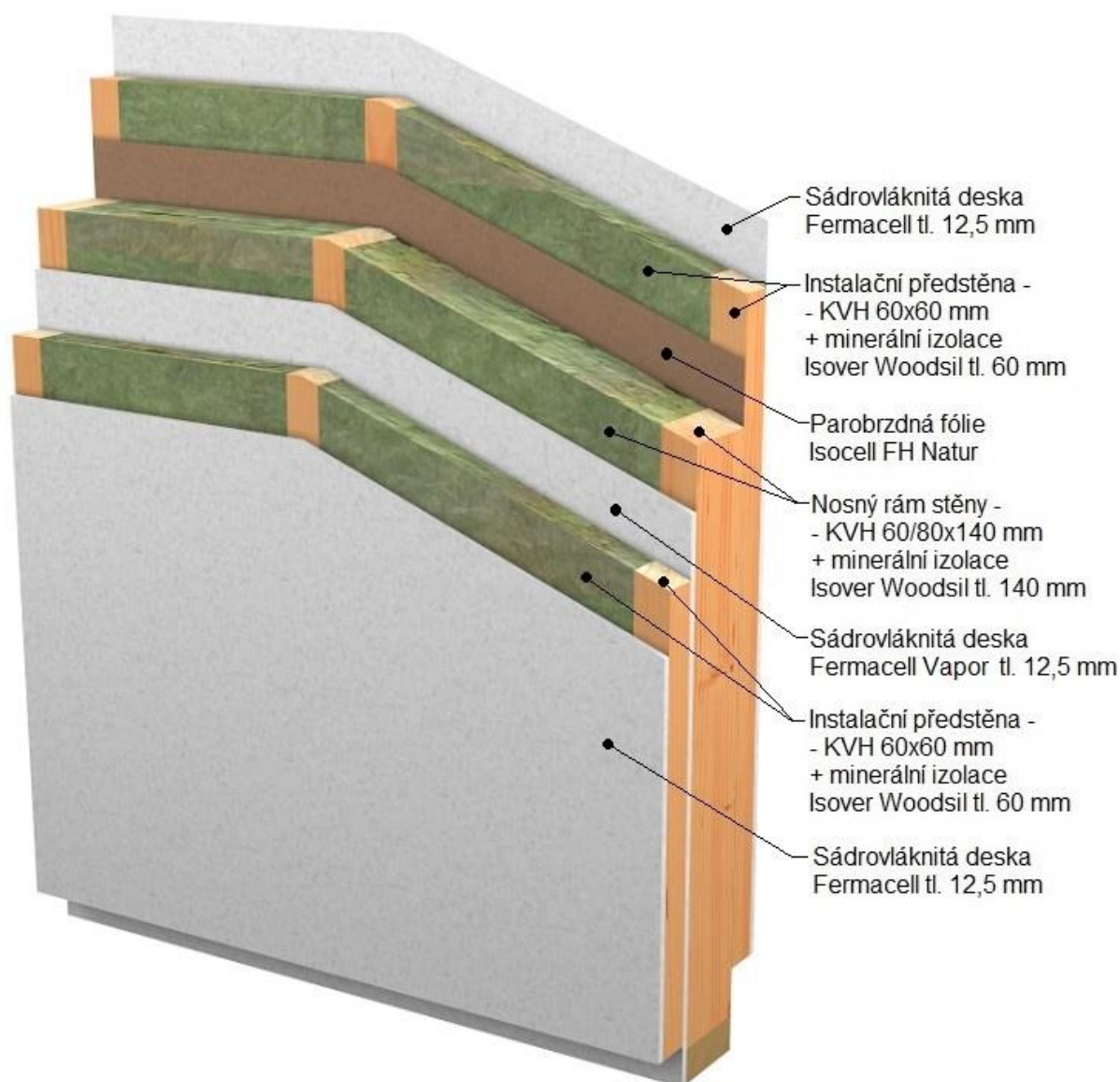


Obrázek 31 - Skladba W5 – štítová stěna skladu (autor práce, 2024)

Obdobně jako u štítů rodinného domu, i u štítu skladu byly z konstrukce „vypuštěny“ nepotřebné vrstvy, které by konstrukci štítu zbytečně prodražovaly a neplnily by žádný rozumný účel.

Jelikož jsou stěny skladu v úrovni prvního patra opatřeny omítkovým systémem, byla tomu přizpůsobena i skladba štítu umístěného nad jednou z nich. Bylo tedy použito exteriérové souvrství dle skladby stěny W3 v podobě dřevovláknité izolační desky a omítkového systému, jak je vidno na obrázku 31 výše.

5.3.11 Skladba stěny mezi RD a skladem – označení W6



Obrázek 32 - Skladba W6 – skladba stěny mezi RD a skladem (autor práce, 2024)

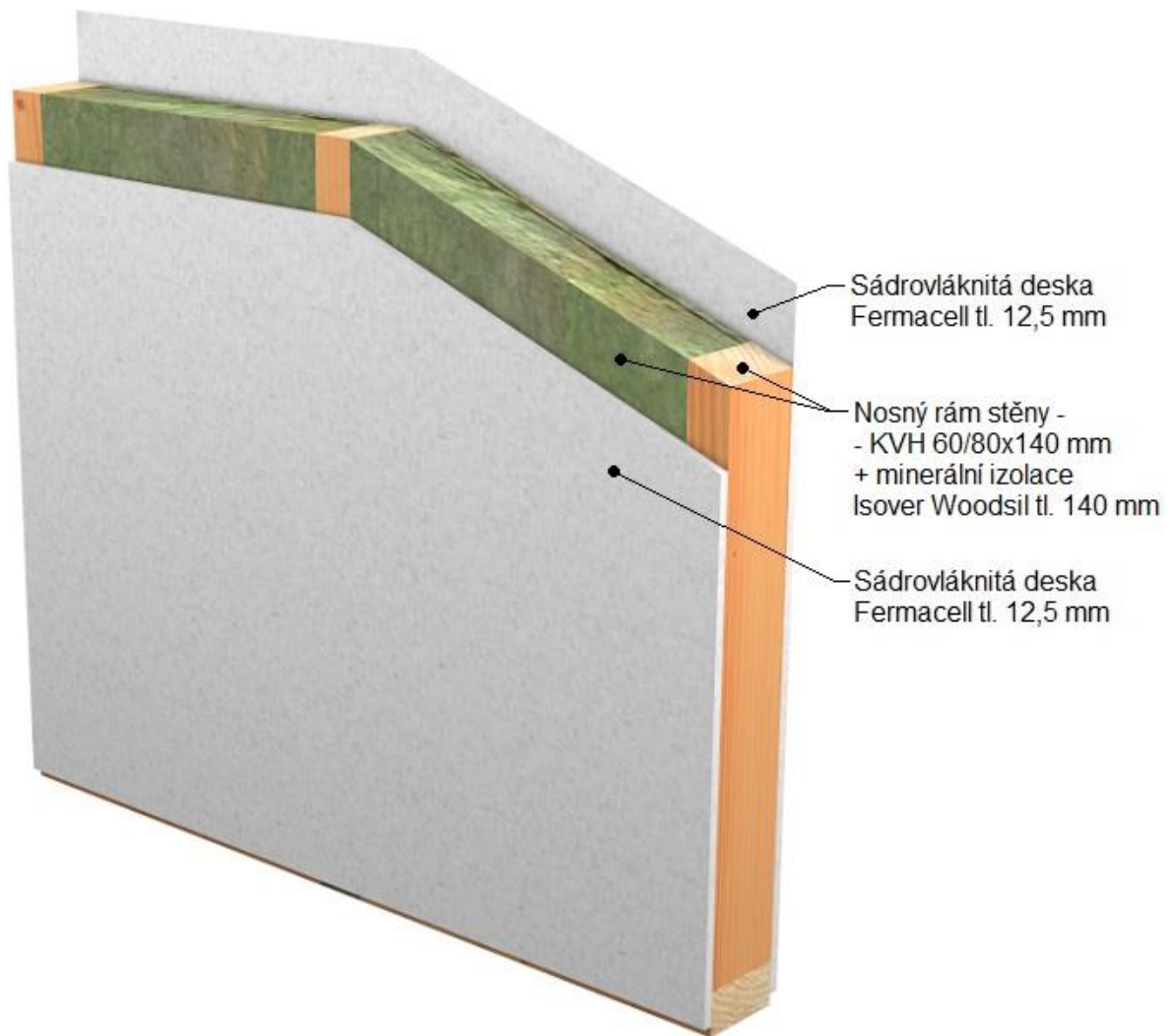
Jelikož tato skladba patří mezi ty, které byly přepracované oproti vzorovému projektu pro stavební povolení, nachází se již její stručný popis v kapitole 5.3.

Původně (dle projektu pro stavební povolení) měla na tomto místě být použita skladba W3. To by znamenalo použití exteriérového omítkového systému v interiéru skladu. Vznikly by tím i problémy, co se týče vzduchotěsné roviny skladu a též co se týče rozvodů elektřiny na této stěně. Ani jeden z těchto problémů by nebyl neřešitelný, ale navržené řešení, které je vyobrazeno na obrázku 32 se dá pokládat za vhodnější.

Vrstvy skladby stěny byly ponechány po vrstvu nosného rámu. Následující vrstva, staticky ztužující, v podobě sádrovláknité desky byla ale nahrazena speciálně upravenou sádrovláknitou deskou, která zajišťuje též vzduchotěsní funkci. Toto bylo popsáno již

v kapitole 5.3. Druhý problém, rozvody elektřiny, byl vyřešen přidáním vrstvy instalační předstěny i na stranu interiéru skladu. Použitím sádrovláknité desky na záklop této instalační předstěny bylo docíleno i uceleného vzhledu interiéru skladu.

5.3.12 Skladba vnitřní příčky – označení W7

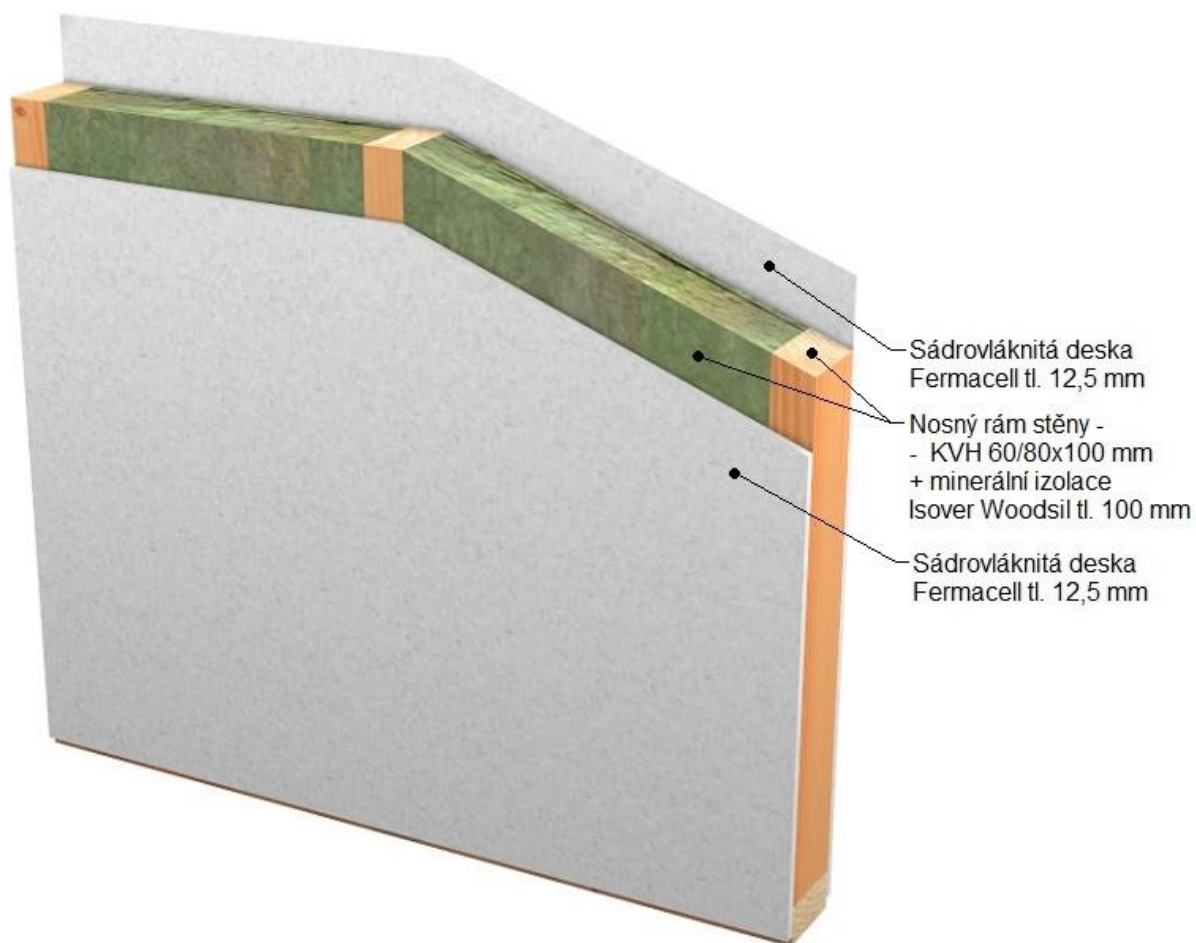


Obrázek 33 - Skladba W7 – vnitřní příčka tloušťky 165 mm (autor práce, 2024)

Tato skladba je oproti výše zmíněným skladbám stěn podstatně jednodušší. Nezastává totiž tolik funkcí jako předešle skladby. Jedinými funkcemi stěn s touto skladbou je fyzické dělení vnitřního prostoru, akustická izolace vytvořených místností od sebe a umožnění rozvodů větších průměrů (kanalizace), případně umístění elektrorozvaděče v rámci rámu těchto příček. Poslední zmíněné je hlavním důvodem, proč byly příčky s touto skladbou využity.

Příčky se skladbou označovanou jako W7 se skládají z nosného rámu tloušťky 140 mm vyplněného minerální izolací a oboustranně opláštěného sádrovláknitými deskami (jak je možno zhlédnout na obrázku 33 výše).

5.3.13 Skladba vnitřní příčky – označení W8



Obrázek 34 - Skladba W8 – vnitřní příčka tloušťky 125 mm (autor práce, 2024)

Na skladbu W8 (obrázek 34) jsou kladeny stejné požadavky jako na skladbu W7, kromě nutnosti pojmout rozvody profesí větších průměrů. Proto zde může být použit nosný rám stěny s menší tloušťkou. Zvýší se tak celková podlahová plocha jednotlivých místností, a navíc je zde i úspora finanční v podobě ušetřeného objemu dřevěných prvků a minerální izolace.

Konstrukce příček se skladbou W8 je tedy tvořena nosným rámem tloušťky 100 mm vyplněným, stejně jako u skladby W7, minerální izolací a opláštěným z obou stran sádrovláknitými deskami.

5.4 Tepelně technické posouzení skladeb

Po návrhu skladeb dle předešlé kapitoly bylo přistoupeno k jejich posouzení z hlediska stavební fyziky. Toto posouzení bylo provedeno pouze u skladeb tepelně-izolační obálky budovy a u dělící stěny mezi skladem a rodinným domem. Ta totiž též odděluje prostory s rozdílnými okrajovými podmínkami výpočtu. Sklad je sice uvažován jako vytápěný, avšak na nižší teplotu než obytné místnosti rodinného domu (je spíše temperovaný než vytápěný).

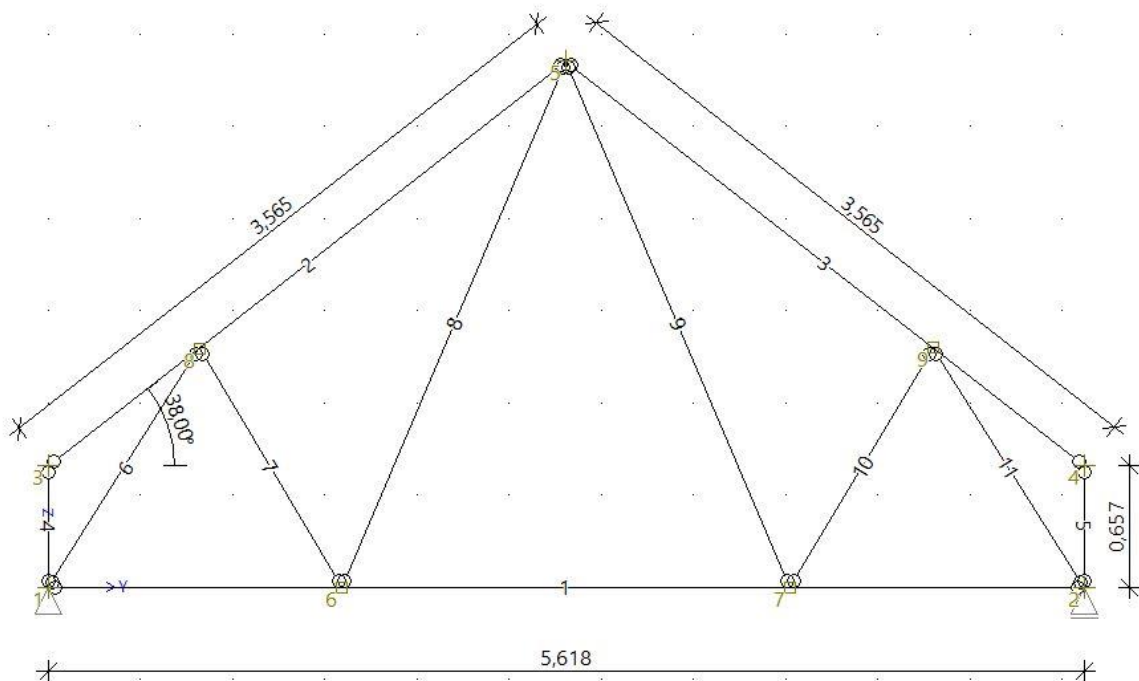
Posouzení tak bylo provedeno u skladeb podlah F1 a F2, u skladeb stropů C1 a C2 a též u skladeb stěn W1, W2, W3 a W6.

Tepelně-technické výpočty byly, jak bylo zmíněno již v kapitole 4, provedeny ve výpočetním softwaru Teplo 2017 od K-CAD spol. s.r.o. a jsou přiloženy v příloze číslo 6 u této práce.

5.5 Statické posouzení vybraného prvku a konstrukčních spojů

Jako další výsledek práce je statické posouzení vybraného prvku z hlediska statiky. Byl zvolen prvek příhradového vazníku nosné konstrukce střechy skladu. Jeho návrh je vyobrazen níže na obrázku číslo 35. Tento vazník byl posouzen jak na maximální využití dle mezního stavu únosnosti, tak na maximální průhyby jeho hlavních prvků dle mezního stavu použitelnosti. Výsledkem tohoto posouzení je návrh průřezů jednotlivých prutů navrženého vazníku.

Pro výpočet konstrukce příhradového vazníku bylo použito stálé zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce vazníku, stálé zatížení tíhou střešní krytiny jejích podpůrných vrstev (pro horní pásnice vazníku), stálé zatížení podhledem a izolací stropní konstrukce (pro spodní pásnici), zatížení sněhem v dané sněhové oblasti a zatížení větrem v dané větrné oblasti.



Obrázek 35 - vybraný prvek řešený z hlediska statiky – příhradový vazník; základně okótováno v metrech (autor práce, 2024)

Dalším krokem bylo posouzení otláčení vazníku na jeho podporách. Otláčení vazníku na podpoře bohužel nevyhovělo, a tak bylo přistoupeno k návrhu oboustranných dřevěných

příložek ke spodní pásnici vazníku. Tyto jsou navrženy z řeziva shodného průřezu a kvality, jako právě spodní pásnice vazníku. Toto zajišťuje snadnou výrobu příložek, jež mohou být vytvořeny z odřezků vzniklých při výrobě prvků příhradového vazníku. S příložkami již uložení vazníku vychází z hlediska otlacení bez jakýchkoliv problémů.

Spoj příhradového vazníku a příložek je uvažován jako hřebíkový – jednostrážný. Pro spoj vyhoví dle výpočtu 8 ks hladkých hřebíků Ø4 mm a délky 90 mm pro připojení každé z příložek.

Jako další spoj bylo posouzeno připojení podpurných latí pod foukanou tepelnou izolací stropů. Tento spoj byl dimenzován na tíhu foukané izolace a na vlastní tíhu smrkové latě 20x70 mm. Jedná se o spoj viditelný na obrázcích 24 a 25. Pro spoj byl navržen jeden vrut Rothoblaas HBS Ø4x60 mm. Tento vrut dokáže ve spoji přenést veškeré zatížení, a to jak z hlediska vytažení závitu z dřevěného materiálu spodní pásnice vazníku, tak z hlediska protažení hlavičky vrutu dřevěnou latí 20x70 mm.

Jako poslední spoj bylo posouzeno připojení latí instalační předstěny k nosnému rámu stěny. Tento spoj byl dimenzován na zatížení vlastní tíhou smrkové KVH latě, tíhou vložené minerální izolace předstěny a tíhou připojené sádrovláknité desky. Na přenos sil v tomto spoji postačoval dle výpočtu pouze jeden vrut Rothoblaas HBS Ø5x120 mm. Uvažovaný typ namáhání tohoto spojovacího prostředku byl stříh v rovině mezi latí předstěny a nosným rámem. Z konstrukčního hlediska však bylo předepsáno použití 5 kusů výše zmíněných vrutů, které jsou navrženy rovnoměrně rozmístěné po délce latě. Toto umožňuje zavěšení dodatečných předmětů na předstěnu (např. radiátorů). Je ovšem doporučeno provést další výpočet s přidaným zatížením.

Přesný postup výše představených výpočtů a jejich podrobné výsledky jsou k nalezení v příloze 5 této diplomové práce.

5.6 Řešení vybraných konstrukčních detailů

Následně byly výsledky v podobě skladeb konstrukcí a statického posouzení příhradového vazníku a vybraných spojů zapracovány do konstrukčních detailů. Tyto detaily byly zpracovány tak, aby byly, pokud možno co nejpřehlednější a použitelné jak při technické přípravě výroby – vytváření výrobní dokumentace, tak následně při výrobě jednotlivých částí stavby ve výrobních halách a v neposlední řadě i při samotné stavbě rodinného domu.

Detaily byly pojaty jako součást výrobní dokumentace a nahlíželo se tedy na ně tak, aby byly co možná nejpřehlednější, nejnázornější a nejčitelnější. Těmto požadavkům bylo vyhověno, v některých případech i drobnými odchylkami od norem pro technické kreslení.

V detailech jsou barevně odlišeny práce, které mají být provedeny ve výrobní hale (v detailech popsány zelenými popisky) a práce, které mají být provedeny až na místě stavby. Tímto tak bylo docíleno požadavku na zpracování detailů z technologického hlediska. Detaily totiž v podstatě udávají technologickou návaznost jednotlivých prací.

Celkové množství patnácti zpracovaných detailů se nachází v příloze 3 u této diplomové práce. Společně s nimi je v příloze uvedena též legenda šraf jednotlivých materiálů použitých v detailech. V příloze jsou též vypsány jednotlivé skladby konstrukcí pro snadnější orientaci v detailech.

5.7 Výrobní dokumentace vybrané části stavby

Vybranou částí stavby se rozumí všechny stěnové panely vybraného objektu. Jak již bylo zmíněno v kapitole 4, tato práce neobsahuje dokumentaci základových konstrukcí ani výrobní dokumentaci příhradových vazníků použitých pro zastřešení zvoleného objektu.

Výrobní dokumentace všech stěn byla vytvořena tak, aby byla, pokud možno, co nejpřehlednější. Z tohoto požadavku vychází relativně hodně barevné provedení výkresů. Též bylo dbáno na to, aby bylo ve výkresech zahrnuto vše, co je potřeba – od rozvržení všech použitých vrstev, přes promyšlení rozvodů všech profesí až po rozmyšlení možností sestavování jednotlivých panelů na staveništi.

Výrobní dokumentace je k nalezení v příloze číslo 1 u této práce a zahrnuje ve svojí první části výkresy nosných rámu stěn. U každého prvku každé stěny je v těchto výkresech uvedeno číslo přiřazené tesařským CNC strojem. Tato čísla jsou na jednotlivé prvky natištěna strojem. Zaměstnanci dle nich a dle zmiňovaných výkresů dokáží snadno a efektivně skládat rámy stěn. U každého výkresu rámu stěny je navíc 3D náhled na jeho konstrukci. Toto dále usnadňuje správné, rychlé a efektivní sestavení rámu stěn.

Druhá část výrobní dokumentace je již v tradičnějším pojetí. Obsahuje opět výkresy všech stěn, ovšem tentokrát se všemi potřebnými kótami, odsazením všech vrstev, popisem jejich přesahů a vybranými řezy stěnami. U obvodových stěn je opět využito i 3D náhledů na konstrukce stěn. Toto, stejně jako v případě výkresů rámu stěn, má za úkol zjednodušení výroby a usnadnění práce zaměstnanců ve výrobních halách. Zaměstnanci nemusejí v tak velké míře využívat svoji prostorovou představivost, vidí před sebou stěnu přesně tak, jak ji mají následně vyrobit. Umožňuje to též další kontrolu skutečného provedení vyrobených stěn v porovnání s podobou zamýšlenou technikem zpracovávajícím výrobní dokumentaci.

U příček nebyly tyto 3D náhledy vytvořeny, jelikož jejich konstrukce je oproti obvodovým stěnám výrazně jednodušší a je zde méně prostoru pro případné chyby dělníků.

Jako další část přílohy číslo jedna, jenž je středobodem této práce, jsou výkresy celkové podoby zpracovávaného objektu. Konkrétně se jedná o půdorys, řezy, 3D náhledy na celou konstrukci a též nakládku jednotlivých částí rodinného domu na nákladní automobily. Půdorys, řezy a 3D náhledy na konstrukci jsou důležité pro pracovníky ve výrobní hale, protože jim umožňují představit si jimi vyráběnou část stavby ve větším měřítku a dalších souvislostech. To dále snižuje riziko vytvoření chyby ve výrobě jednotlivých částí stavby a dá se říci, že zaměstnancům dodává motivaci a chuť do práce, když vědí, co je výsledkem jejich snažení. Zkrátka si uvědomují, jak bude výsledná stavba vypadat, a ne pouze to, že dělají „nějaké panely.“

Nakládka pak udává již v procesu výroby panelů, kam konkrétně v rámci skladovacího registru umístit konkrétní panely. Toto zamyšlení se nad rozvržením skladovacího registru pak totiž výrazně usnadňuje nakládku samotnou a umožňuje ji též urychlit. Z toho samozřejmě vychází i finanční úspory. Je proto důležité předat zaměstnancům výrobní haly plán nakládky včas, aby s ním mohli pracovat již od samého počátku výroby dané zakázky.

Poslední částí přílohy číslo 1 jsou montážní výkresy. Tyto jsou určeny pro rozměření základové desky pro osazení panelů, jejich správné sestavení a celkové dokončení hrubé stavby. Konkrétně se tedy jedná o výkres pro rozměření pozic panelů dle přesného zaměření základové desky, který je určen pro označení pozic panelů na základové desce před započítím montáže. Po tomto rozměření následuje samotná montáž panelů. K té napomáhají výkresy prvního (a v tomto případě jediného) podlaží a výkres kotvení panelů. Určení výkresu 1.NP je celkem jasné. Jedná se převážně o určení pozic jednotlivých panelů. V půdoryse jsou totiž označena čísla jednotlivých panelů a tedy to, kam který panel patří. Dále jsou v půdorysu označeny detaily, které byly popsány v předešlé podkapitole. Další velmi důležitou věcí, kterou montážní půdorys obsahuje, je popis spojovacího materiálu jednotlivých panelů. Otvory pro spojovací materiál jsou sice předvrtány již ve výrobě, je ale důležité mít pevně určeno, kam patří jaká délka spojovacího materiálu. Poté stojí za zmínku ještě jedna věc, která je vyznačena v půdoryse pro montáž, a to konkrétně pozice konstrukčních desek, které jsou ponechány demontovatelné. U každé takovéto desky je pak jasně popsán důvod, proč není pevně připojena ke konstrukci, proč je ji potřeba nechat demontovatelnou.

Dalším výkresem je zmíněný výkres kotvení panelů. V něm je naznačeno umístění kotevních prvků určených pro pevné spojení panelů a základové desky. Jsou v něm také uvedeny přesné typy a počty použitých spojovacích prostředků. Správné umístění a provedení kotvení panelů je velice důležité, a proto je vhodné mít výkres, kde jsou tyto informace jasně, stručně a přehledně uvedeny.

Výkresy určené pro další dokončování stavby jsou například řezy stavbou, kde jsou označeny jednotlivé skladby konstrukcí, detaily a též okótovány výškové pozice jednotlivých prvků a konstrukcí. Jsou v nich též uvedeny rozteče laťování pro střešní krytinu a v případě řezu A-A' též rozteče laťování pro dřevěný obklad fasády rodinného domu. Na výkres řezů a rozmístění laťování v nich navazuje též výkres střechy. V něm je totiž uvedeno laťování v druhém směru – přesahy latí přes štítu. Dále je ve výkresu střechy umístěna pozice půdního výlezu do prostoru vazníku, pozice půdní lávky, která vede od půdních schůdků ke střešnímu výlezu a pak dále až ke štítu mezi rodinným domem a skladem, což bylo jedním z požadavků investora. Ve zmíněném štítu byl též vynechán otvor, kterým je v případě nutnosti umožněn průchod do prostoru nad skladem. Ve výkrese střechy je též naznačena pozice komínu, stoupací plošiny u komínu a všech prostupů střechou. Další informace ve výkrese střechy jsou například počty střešních tašek potřebné na šířku střechy a také pozice fotovoltaických panelů na střeše.

Posledními výkresy jsou 3D náhledy na hotovou konstrukci rodinného domu. Tyto mají stejné účely, které byly popsány již u výrobních výkresů.

Příloha neobsahuje montážní výkresy nosné konstrukce střechy – příhradových vazníků, jelikož je bráno, že tyto budou dodány subdodávkou společně s vazníky samotnými.

Identické výkresy, které by se v příloze opakovaly a musely by být tištěny vícekrát, jsou v příloze umístěny vždy pouze jedenkrát. V obsahu přílohy číslo 1 jsou však vypsány tak, jak by bylo potřeba je tisknout v případě skutečného využití této dokumentace. Pokud by tedy bylo potřeba, mohly by tyto výkresy, vyskytující se jak v podkategorii výrobních, tak montážních výkresů, pouze být vytištěny vícekrát, aby byly splněny požadavky výrobního závodu i montážních dělníků.

5.8 Dokumentace vybraného prvku pro CNC

V této části byl vybrán jeden prvek z celé konstrukce rodinného domu a na jeho příkladu byla v podobě snímku obrazovky z ovládacího programu CNC stroje Hundegger ukázána podoba dokumentace prvku pro CNC stroj. Jelikož celá výrobní dokumentace byla prováděna v BIM programu SEMA, má každý jednotlivý prvek konstrukce přidělené vlastní číslo, které též odpovídá výrobnímu číslu v ovládacím programu CNC stroje. Toto číslo je následně strojem natištěno i na daný prvek a zaměstnanci (v tomto případě výrobní haly) mohou dle těchto čísel efektivně skládat jednotlivé konstrukce (v tomto případě stěn) – jak už bylo zmíněno v kapitole 5.7.

Samotná dokumentace pro CNC stroj je v podobě vstupních dat nahrávaných do něj a tato data tak nelze snadno přiložit k této práci. Vybraný prvek a širší popis k jeho dokumentaci pro CNC stroj je tak k nalezení v příloze číslo 4 této diplomové práce.

5.9 Rozpočet vybrané části práce

Pro zpracování rozpočtu byla zvolena pouze hrubá stavba rodinného domu. Do rozpočtu tak byly zahrnuty výkopové a zakládací práce, konstrukce stěnových panelů včetně osazených výplní stavebních otvorů – oken a dveří, kompletní střešní konstrukce a provedení pohledových vrstev v exteriéru stavby (na části rodinného domu palubkového obkladu a na části skladu finální tenkovrstvé omítky).

Součástí rozpočtu naopak není provedení profesí (a to ani v základové desce) vnitřní vybavení a dokončovací práce.

Rozpočet stavby je přiložen k této práci v příloze číslo 7.

6 Diskuze

6.1 Rozbor výrobní dokumentace

Řešení výrobní dokumentace, které se nachází v příloze 1 této práce, představuje návrh provedení takovéto dokumentace pro realizační firmu vybavenou CNC strojem. Jednotlivé výkresy jsou tomu podřízeny – hlavně ty obsahující strojová čísla jednotlivých prvků. Při vypracování všech výkresů byl kladen důraz na jejich maximální přehlednost, čitelnost a věcnou správnost.

Výkresy prezentované v přílohách 1 a 3 byly tedy optimalizovány pro předvýrobu, chcete-li prefabrikaci, ve výrobním závodě. Skupina zaměstnanců výrobní haly by dle přiložených výkresů neměla žádný problém s realizací konkrétního rodinného domu. Styl interní výrobní dokumentace v jednotlivých firmách bývá zažitý, všichni zaměstnanci výrobních hal znají jednotlivé technické postupy a významy všech popisků, jednotlivé používané materiály a označení ve výkresech. Navíc bývají výrobní haly spojeny s kanceláři technické přípravy výroby (nebo alespoň umístěny blízko nich). To znamená, že pokud nastane jakákoliv nejasnost, nebývá žádný problém zeptat se přímo autora výrobní dokumentace a briskně tak vyřešit jakýkoliv nastalý problém. Autor této diplomové práce se přes výše zmíněné snažil docílit optimálního poměru přehlednosti a informační bohatosti výkresů.

Bylo dbáno na to, že člověk (či spíše pracovní kolektiv), který má alespoň základní schopnost orientace ve výkresech, bude dle vytvořené dokumentace schopen vyrobit jednotlivé panely a následně je na místě stavby zkompletovat a vytvořit tak kýžený výsledek v podobě rodinného domu.

Výše bylo zmíněno, že výkresy jsou optimalizovány pro prefabrikaci. Ač je toto pravda, výkresová dokumentace pro staveništní montáž by mohla mít klidně i stejnou podobu. Ve výkresech jsou totiž všechny informace potřebné pro vytvoření jednotlivých stěn, a už nezáleží na tom, zda by tato výroba proběhla stylem letmé montáže na staveništi či ve výrobní hale. Některé informace uvedené ve výkresech by se možná staly při staveništní montáži méně důležitými nebo dokonce nepotřebnými, ale celkový výsledek snažení pracovníků by to neovlivnilo. Pouze by platilo to, že by bylo možno výkresy pro letnou montáž lépe optimalizovat a tím pádem zpřehlednit.

V případě letmé montáže by mohly prvky rámu stěn být vyrobeny na CNC stroji stejně, jak tomu bylo v případě výroby celých prefabrikovaných panelů. Tyto na míru vykrácené a dále obrobené prvky by mohly být převezeny v přehledně rozepsaných paketech na stavbu (dle

jednotlivých stěn). Tam by poté byly složeny dle výkresů rámu shodných s těmi v příloze této práce.

6.2 Možnosti využití návrhu

Jelikož statický návrh vybraného prvku a spoju i celkové pojetí dalších statických prvků v návrhu byl podřízen zatížení působícímu v páte sněhové oblasti a třetí větrné oblasti, navržený rodinný dům by z hlediska únosnosti bylo možno umístit na velkou část našeho území – všude tam, kde působí nižší zatížení sněhem a větrem.

Tato skutečnost by mohla přijít vhod, pokud by bylo například rozhodnuto o tom, že rodinný dům bude vyráběn jako typový. Výrobce by tak mohl nabízet dům velké řadě klientů z velké části republiky a nemusel by znovu platit tvorbu výrobní dokumentace. Toto by možná nebylo z ekonomického (a asi ani ekologického) hlediska úplně ideální – spotřeba materiálu na nosné konstrukce by v oblastech s nižším zatížením byla zbytečně vysoká, ale jak již bylo zmíněno, ušetřilo by se za tvorbu výrobní dokumentace. Volba by pak už byla na konkrétním výrobci – co se vyplatí více? Další vyvstávající otázkou by bylo, kolik je potenciálních zákazníků, kteří by volili přesně tento rodinný dům – s danou dispozicí a uceleným vzhledem. Vzhled i dispozice tohoto domu jsou totiž zrovna docela individuální a přizpůsobené požadavkům původního investora.

6.3 Výhody a nevýhody vytvořeného návrhu

Jako první výhoda zde bude uvedeno, že návrh přesně plní požadavky konkrétního investora. Pro něj se tak jedná o „vysněný dům,“ který je navržen a naprojektován dle jeho přání. Navržen je však dle jeho požadavků pouze ve standardu nízkoenergetické stavby. Jako nevýhoda by se tedy dalo pokládat to, že budova s největší pravděpodobností nedokáže splnit požadavky na pasivní stavbu.

Naopak výhodou tohoto (s velkou pravděpodobností) nižšího použitého standardu je nižší počáteční pořizovací cena objektu oproti budově pasivní. Samozřejmě zde vyvstává otázka, zda není v delším časovém horizontu připlatit za více izolované konstrukce, zvýšit tak pořizovací náklady na stavbu, ale zároveň tak snížit náklady provozní. To je již na zvážení každého investora, jeho finančních možnostech a také na jeho propočtu návratnosti prvotní investice (cena rodinného domu).

7 Závěr

Klíčovým výsledkem této práce je výrobní dokumentace převážné části rodinného domu typu bungalov. Zmíněná dokumentace byla vytvořena na základě existující projektové dokumentace pro stavební povolení.

Tato diplomová práce prezentuje možnou podobu interní (v rámci firmy) výrobní dokumentace stěnových panelů na bázi lehkého rámového skeletu. Předmětem této práce není výrobní dokumentace střešní konstrukce, jenž je v projektu řešena příhradovými vazníky. Stejně tak není zaměřením této práce vytvoření výrobních výkresů pro základové konstrukce.

Dalším produktem této diplomové práce je vytvoření vybraných interních firemních podkladů pro to, aby mohly být vůbec započaty práce na výrobní dokumentaci. To je myšleno tak, že nejprve je potřeba stanovit funkční podobu skladeb konstrukcí, konstrukčních detailů a též rozpočet stavby (nebo její části, kterou plánujeme realizovat). Rozpočet je vytvářen před započítáním řešení výrobního hlediska stavby z toho důvodu, aby bylo možné s investorem projednat podmínky budoucího dodání. Tyto zmíněné prvky, nezbytné pro správné vytvoření výrobní dokumentace, jsou též součástí této práce.

Důležité je řešení objektu z hlediska statiky. Ačkoliv někteří zkušení stavitelé si mohou vyvinout celkem slušný odhad jak na správné konstrukční řešení, tak na správně zvolené průřezy, doložený výpočet odborníka na statiku stavebních objektů eliminuje jakoukoliv případnou chybu a z ní pramenící problémy a spory. V této práci je tak uveden statický výpočet, pro nějž byl zvolen jeden nosný konstrukční prvek, který byl následně posouzen. Byly též posouzeny i tři konstrukční spoje z hlediska statiky. Ačkoliv jeden prvek a tři spoje představují pouze zlomek toho, co je třeba v dřevostavbě rodinného domu staticky posoudit, má tato práce za úkol nastínit, v jaké podobě se v praxi statické posudky u rodinných domů mohou vyskytovat.

V této diplomové práci je uvedena ještě jedna, v dnešní době velmi důležitá, věc. Tou je dokumentace vybraného prvku pro výrobu na CNC stroji. Jelikož automatizace je velmi skloňovaným a rozvíjejícím se tématem, bylo pokládáno za důležité, aby byly i při výrobě navrhovaného rodinného domu využity moderní technologie, a to tedy alespoň v podobě CNC stroje.

Součástí práce jsou též textové části v podobě literární rešerše oblasti pro provedení prefabrikované dřevostavby a dále souhrnná technická zpráva. Literární rešerše byla vypracována s použitím veřejně dostupných zdrojů. Technická zpráva potom na základě

přílohy č. 13 vyhlášky 499/2006 Sb., která pojednává o rozsahu a obsahu projektové dokumentace pro provádění stavby.

Všechny výše zmíněné části byly v rámci diplomové práce zpracovány a jejím celkovým výsledkem je tedy výrobní dokumentace, která zahrnuje zamyšlení se nad navrhovanou stavbou z vícero hledisek. Ať už z hlediska konstrukčního, z hlediska stavební fyziky, statiky, či z hlediska technologie výroby.

Navrhovanou stavbou se rozumí bungalov sestavený z prefabrikovaných stěnových panelů s lehkou rámovou konstrukcí. Nosnou konstrukci střechy tohoto rodinného domu tvoří příhradové vazníky se sklonem 38° . Celý tento objekt je umístěn na betonové základy tvořené pasy, na které je umístěna dvojitá podkladní železobetonová deska.

8 Literatura

8.1 Knihy a odborné publikace

AANANAZ, Abdennour, Aline BRANDERS, Bram De MEESTER, Bernard DEPREZ, Stéphane DESMET, Daniel DEVROEY, Marny Di PIETRANTONIO, Sabine LERIBAU, Frédéric LOUMAYE, Benoit MEERSEEMAN, Sebastian MORENO-VACCA a Julie WILLEM. *Passive Architecture: Strategies, Experiences & Viewpoints in Belgium*. Ixelles: Be.passive vzw, 2014. ISBN 978-2960159004.

AMERICAN WOOD COUNCIL. *Manual for Engineered Wood Construction* [online]. 2018 Edition. Leesburg: American Wood Council, 2018 [cit. 2024-03-02]. ISBN 978-1-940383-49-1. Dostupné z: <https://awc.org/wp-content/uploads/2022/01/AWC-2018-Manual-1810.pdf>

BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012 [cit. 2024-03-02]. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328964277_Materialy_na_bazi_dreva

CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION. *Canadian wood-frame house construction* [online]. 3rd Edition. Canada: Central Mortgage and Housing Corporation, 2013 [cit. 2024-03-09]. ISBN 0-660-19535-6. Dostupné z: https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/schl-cmhc/NH17-3-2013-eng.pdf

DAVIES, Colin. *The prefabricated home*. London: Reaktion Books Ltd., 2005. ISBN 1861892438.

HAIRSTANS, Robert. *Off-site and industrialised timber construction: Delivering quality and efficiency*. 2nd edition. High Wycombe: BM TRADA, 2019. ISBN 978-1-909594-82-1.

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

HERZOG, Thomas, Julius NATTERER, Roland SCHWEITZER, Michael VOLZ a Wolfgang WINTER. *Timber Construction Manual*. Basel: Birkhäuser Verlag AG, 2004. ISBN 978-3-7643-7025-1.

HUDEEC, Mojmír. *Pasivní rodinný dům*. Praha: Grada Publishing a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2555-0.

HUGUES, Theodor, Ludwig STEIGER a Johann WEBER. *Timber Construction: Details, Products, Case Studies*. Munich: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2004. ISBN: 3-7643-7032-7.

CHUDLEY, Roy a Roger GREENO. *Building construction handbook*. 10th Edition. Abingdon: Routledge, 2014. ISBN: 978-0-415-83638-8.

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

JELÍNEK, Lubomír a Petr ČERVENÝ. *Tesařské konstrukce*. 4. vydání. Praha: Informační centrum ČKAIT, s.r.o. (Technická knihovna), 2021. ISBN: 978-80-88265-34-4.

KARABEGOVIĆ, Isak (ed.). *New Technologies, Development and Application II*. Cham: Springer Nature Switzerland AG, 2020. ISBN:978-3-030-18071-3.

KARACABEYLI, Erol a Brad DOUGLAS (eds.). *CLT handbook: Cross-laminated Timber* [online]. Pointe-Claire: FPIinnovations, 2013 [cit. 2024-03-05]. ISBN 978-0-86488-554-8. Dostupné z: https://www.smartlam.com/wp-content/uploads/2020/10/CLT_USA-Complete-document-Think_Wood.pdf

KAUFMANN, Hermann, Stefan KRÖTSCH a Stefan WINTER. *Manual of Multi-storey Timber Construction*. Munich: Detail Business Information GmbH, 2018. ISBN 978-3-95553-394-6.

KNAACK, Ulrich, Sharon CHUNG-KLATTE a Reinhard HASSELBACH. *Prefabricated systems: Principles of Construction*. Basel: Birkhäuser, 2012. ISBN 978-3-7643-8747-1.

KOLB, Josef. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště*. 3., aktualizované vydání. Praha: Grada Publishing a.s., 2011. ISBN 978-80-247-4071-3.

KOONES, Sheri. *Prefabulous small houses*. Newton, CT: The Taunton Press, Inc., 2016. ISBN 9781631864049.

KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5: Step 1. Navrhování a konstrukční materiály*. Zlín: Bohumil Koželouh, 1998. ISBN 80-238-2620-4.

KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2005. ISBN 80-01-03310-4.

LANCASHIRE, Robin a Lewis TAYLOR. *Timber frame construction: Designing for high performance*. 5th ed. High Wycombe: TRADA Technology, 2011. ISBN 978-1-900510-82-0.

LYONS, Arthur. *Materials for architects and builders*. Fourth Edition. Oxford: Elsevier Ltd., 2010. ISBN 978-1-85617-519-7.

MAHAMID, Mustafa. *Cross-Laminated timber design: Structural Properties, Standards, and Safety*. New York: McGraw Hill, 2020. ISBN: 978-1-26-011799-8.

MEHTA, Madan, Walter SCARBOROUGH a Diane ARMPRIEST. *Building construction: Principles, Materials, and Systems*. Second edition. United States of America: Pearson Education Inc. (Prentice Hall), 2013. ISBN 13: 978-0-13-214869-6.

MONDEN, Yasuhiro. *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*. 4th Edition. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 978-1439820971.

RŮŽIČKA, Martin. *Stavíme dům ze dřeva*. Praha: Grada Publishing a.s., 2006. ISBN 978-80-247-1461-5.

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

SEDLBAUER, Klaus, Eberhard SCHUNCK, Rainer BARTHEL a Hartwig M. KÜNZEL. *Flat roof construction manual: Materials, Design, Applications*. 1st Edition. Munich: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2010. ISBN 978-3-0346-0658-5.

SMITH, Ryan E. *Prefab architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2010. ISBN 978-0-470-27561-0.

STEIGER, Ludwig. *Basics Timber construction*. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2015. ISBN 978-3-7643-8102-8.

SWEDISH WOOD. *Design of Timber Structures: Structural Aspects of Timber Construction Volume 1* [online]. 3rd Edition. Stockholm: Swedish Forest Industries Federation, 2022 [cit. 2024-02-29]. ISBN 978-91-985212-5-2. Dostupné z: <https://www.swedishwood.com/siteassets/5-publikationer/pdf/sw-design-of-timber-structures-vol1-2022.pdf>

ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: Konstrukce, ochrana a údržba*. Bratislava: Jaga group, spol. s.r.o., 2006. ISBN 80-8076-043-8.

THELANDERSSON, Sven a Hans J. LARSEN (eds.). *Timber Engineering*. Chichester: John Wiley & Sons, 2003. ISBN 0-470-84469-8.

THOEMEN, Heiko, Mark IRLE a Milan SERNEK. *Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists* [online]. London: Brunel University Press, 2010 [cit. 2024-03-07]. ISBN 978-1-902316-82-6. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/301355302_Wood-Based_Panels_An_Introduction_for_Specialists

TICHELMANN, Karsten a Jochen PFAU. *Dry Construction: Principles, Details, Examples*. Munich: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, 2007. ISBN 978-3-7643-8808-9.

TOMPKINS, James. A., John A. WHITE, Yavuz A. BOZER a J. M. A. TANCHOCO. *Facilities planning*. 4th Edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2010. ISBN 978-0-470-44404-7.

TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: Principy a příklady*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. ISBN 80-247-1101-X.

VAVERKA, Jiří, Zdeňka HAVÍŘOVÁ, Miroslav JINDRÁK a kol. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada Publishing, a.s., 2008. ISBN 978-80-247-2205-4.

VILJAKAINEN, Mikko. *The open timber construction system: Architectural Design*. Finland: Wood Focus Oy, 2003. ISBN 952-15-0184-7.

ZAHRADNÍČEK, Václav, Pavel HORÁK. *Moderní dřevostavby*. 1. vydání. Brno: ERA group spol. s.r.o., 2007. ISBN 978-80-7366-109-0.

8.2 Zákony a vyhlášky

ČESKO. Vyhláška č. 499/2006 Sb. Vyhláška o dokumentaci staveb. In: *Zákony pro lidi* [online]. 2006 [cit. 2024-02-12], částka 163. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-499#f3142709>

8.3 Internetové zdroje

ČSÚ [Český statistický úřad]. Tab. 16 Dokončené domy podle svislé nosné konstrukce (základní období – 2000–2022) [online tabulka]. 6.9.2023 [cit. 2024-02-23]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/bvz_cr

DÖRKEN. DELTA® -DAWI GP. Doerken.com [online]. ©2024 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.doerken.com/cz/cs/delta-dawi-gp>

HAAS FERTIGBAU. Vnější stěny. Haas-fertigbau.cz [online]. ©2017 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://www.haas-fertigbau.cz/data/cache/imgres/2c41d79a3af36e20b45a2228b287c972.webp>

HK-DŘESTAV. Konstrukce domů. Drestav.cz [online]. ©2024 [cit. 2024-03-21]. Dostupné z: <https://drestav.cz/getFile/case:show/id:467907/2024-01-26%2009:59:37.000000/DUS.jpeg>

HOMAG. BEAMTEQ B-520. Homag.com [online]. ©2024 c [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.homag.com/en/product-detail/machines/house-construction/weinmann-carpentry-machines/sawing-center-beamteq-b-520>

HOMAG. Framing Station & Combi Wall Systems of WEINMAN. Homag.com [online]. ©2024 e [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.homag.com/en/machines/house-construction/framing-station-combi-wall-systems>

HOMAG. Handling and storage systems timber construction. Homag.com [online]. ©2024 b [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.homag.com/en/machines/house-construction/handling-and-storage-systems>

HOMAG. STORETEQ H-100. Homag.com [online]. ©2024 d [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.homag.com/en/product-detail/machines/house-construction/weinmann-handling-and-storage-systems-timber-construction/feeding-portal-storeteq-h-100>

HOMAG. The first WEINMANN smartPrefab at WeberHaus. Homag.com [online]. ©2021-03-15 [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: https://www.homag.com/fileadmin/_processed_/e/6/csm_weberhaus-smartprefab-framing-construction_123e91dec8.jpg

HOMAG. WALLTEQ M-300/M-500 insuFill. Homag.com [online]. ©2024 f [cit. 2024-03-06]. Dostupné z: <https://www.homag.com/en/product-detail/machines/house-construction/weinmann-multifunction-bridge/multifunction-bridge-wallteq-m-300m-500-insufill>

HOMAG. Wall production line. Homag.com [online]. ©2024 a [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://www.homag.com/en/product-detail/machines/house-construction/weinmann-timber-frame-production-lines/wall-production-line>

HUNDEGGER. Machines. Hundegger.com [online]. ©2020 a [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://www.hundegger.com/en-us/machines>

HUNDEGGER. Machines. Hundegger.com [online]. ©2020 b [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: https://www.hundegger.com/fileadmin/_processed_/3/b/csm_SC_4_mit_Halle_097bbe0cb9.jpg

ISOCELL. Öko Natur parobrzdná fólie zesílená vlákem. Isocell.com [online]. ©2024 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://www.isocell.com/cs/produkty/produkty/oeko-natur>

JAMES HARDIE. Fermacell Vapor. Fermacell.cz [online]. ©2024 [cit. 2024-03-16]. Dostupné z: <https://www.fermacell.cz/cz/produkty/sadrovlaknite-desky/fermacell-vapor>

PREBENA. Slider 4C-Z50. Prebena.cz [online]. ©2024 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.prebena.cz/product/slider-4c-z50/>

RANDEK. Autowall System. Randek.com [online]. ©2024 b [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: <https://www.randek.com/en/wall-floor-and-roof-production-lines/auto-wall-system>

RANDEK. Butterfly Table BS20. Randek.com [online]. ©2024 a [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: https://www.randek.com/images/pdf/BS20_en_sd-spread.pdf

SANIKA. About us. Sanika.it [online]. ©2024 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: <https://www.sanika.it/en/company/about-us>

SCHMALZ. Vacuum Lifter Wood. Schmalz.com [online]. ©2024 [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://www.schmalz.com/en/glossary/vacuum-lifter-wood/>

SOUKUP. Wing. Soukup.cz [online]. ©2017 a [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://soukup.cz/cs/produkty/technologie-pro-vyrobu-drevostaveb/wing/>

SOUKUP. Wing. Soukup.cz [online]. ©2017 b [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://soukup.cz/media/public/products/Drevostavby/Wing/ p1080717.jpg>

STEICO. STEICO I-joists. Steico.com [online]. ©2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: https://www.steico.com/fileadmin/_processed_/8/5/csm_HRB_Wand_DSC7669_3a26c3fa50.jpg

8.4 Zdroj projektu

BENÍŠEK, Viktor. Projekt rodinného domu ve stupni pro stavební povolení (DSP). 2022.

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Stupně prefabrikace (Kolb, 2011).....	18
Obrázek 2 - Stupně prefabrikace (Smith, 2010)	19
Obrázek 3 - Modulový "tiny house" (Koones, 2016 ex. Cocoon9).....	19
Obrázek 4 - Koupelnový modul Sanika osazený v rozestavěné bytové stavbě z CLT panelů (autor práce, 2023).....	20
Obrázek 5 - Hundegger SpeedCut 480 (Hundegger ©2020 b).....	22
Obrázek 6 - Překlápěcí stůl Soukup Wing (Soukup ©2017 b).....	23
Obrázek 7 - Robotické rameno FEEDBOT F-500 sestavující rám panelu v lince Weinmann 25	
Obrázek 8 - Možná podoba výrobní linky Randek (Randek ©2024 b).....	26
Obrázek 9 - Robotická ruka Kuka osazená ve výrobní lince Randek (Randek ©2024 b).....	26
Obrázek 10 - Prefabrikace nosného rámu stěny z I nosníků Steico (Steico ©2024).....	30
Obrázek 11 - Rozdíl mezi difúzí a únikem vzduchu netěsností (Mehta a kol., 2013).....	32
Obrázek 12 - Difúzně uzavřená skladba obvodové stěny bez použití předstěny (Haas Fertigbau ©2017).....	35
Obrázek 13 - Difúzně uzavřená skladba obvodové stěny s použitou předstěnou (HK-Dřestav ©2024).....	35
Obrázek 14 - Příklady možného provedení dřevěných exteriérových obkladů obvodových stěn (Lancashire, Taylor, 2011).....	37
Obrázek 15 - Příčka s dvojitou nosnou konstrukcí a oboustranným dvojitým opláštěním (Tichelmann, Pfau, 2007)	38
Obrázek 16 - Příklad skladby dokončené ho stropního panelu (Kaufmann a kol., 2018).....	39
Obrázek 17 - Způsoby sprážení dřeva a betonu pro vytvoření panelu (Kaufmann a kol., 2018)	40
Obrázek 18 - Možné provedení dvouplášťové střechy (Kaufmann a kol., 2018).....	41
Obrázek 19 - Legenda místností zvoleného projektu – použito se souhlasem autora projektu pro stavební povolení (Viktor Beníšek, 2022).....	43
Obrázek 20 - Půdorys objektu ze zvoleného projektu – použito se souhlasem autora dokumentace pro stavební povolení (Viktor Beníšek, 2022)	44
Obrázek 21 - Pohledy na vybraný objekt ze zvoleného projektu – použito se souhlasem autora projektu pro stavební povolení (Viktor Beníšek, 2022)	45
Obrázek 22 - Skladba F1 – základová a podlahová konstrukce RD (autor práce, 2024)	48
Obrázek 23 - Skladba F2 – základová a podlahová konstrukce skladu (autor práce, 2024)	49

Obrázek 24 - Skladba C1 – stropní konstrukce 1.NP RD (autor práce, 2024)	50
Obrázek 25 - Skladba C2 – stropní konstrukce 1.NP skladu (autor práce, 2024)	51
Obrázek 26 - Skladba R1 – střešní plášť RD a skladu (autor práce, 2024)	52
Obrázek 27 - Skladba W1 – obvodová stěna RD (autor práce, 2024).....	53
Obrázek 28 - Skladba W2 – obvodová stěna RD (autor práce, 2024).....	54
Obrázek 29 - Skladba W3 – obvodová stěna skladu (autor práce, 2024).....	55
Obrázek 30 - Skladba W4 – štítová stěna RD (autor práce, 2024).....	56
Obrázek 31 - Skladba W5 – štítová stěna skladu (autor práce, 2024).....	57
Obrázek 32 - Skladba W6 – skladba stěny mezi RD a skladem (autor práce, 2024)	58
Obrázek 33 - Skladba W7 – vnitřní příčka tloušťky 165 mm (autor práce, 2024).....	59
Obrázek 34 - Skladba W8 – vnitřní příčka tloušťky 125 mm (autor práce, 2024).....	60
Obrázek 35 - vybraný prvek řešený z hlediska statiky – příhradový vazník; základně okótováno v metrech (autor práce, 2024)	61

9 Seznam příloh

Příloha 1 – Výrobní dokumentace rodinného domu

Příloha 2 – Souhrnná technická zpráva

Příloha 3 – Řešení vybraných konstrukčních detailů

Příloha 4 – Dokumentace vybraného konstrukčního prvku pro CNC

Příloha 5 – Statický posudek zvoleného konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů

Příloha 6 – Posouzení vybrané části objektu z hlediska stavební fyziky

Příloha 7 – Rozpočet pro realizaci vybrané části objektu