ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA PRAZE
FAKULTA LESNICKÁ A DŘEVAŘSKÁ

NÁVRH REALIZACE DŘEVOSTAVBY RODINNÉHO DOMU PRO CELOROČNÍ UŽÍVÁNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Karolína Dandová
Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šedivka, PhD

Praha

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Karolína Dandová

Dřevěné konstrukce a stavby na bázi dřeva

Název práce

Návrh realizace dřevostavby rodinného domu pro celoroční užívání

Název anglicky

Proposal for the implementation of a wooden house for year-round use

---

Cíle práce

Cílem první části diplomového projektu je vypracování literárního rozbor oblasti obytných dřevostaveb z hlediska technologie výroby. Cílem druhé části je vypracování projektu realizační dokumentace pro výrobu obytné dřevostavby 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 a třech detailů konstrukčních spojů.

Metodika

V první části závěrečného diplomového projektu bude zpracování literárního rozboru oblasti technologie výroby obytných dřevostaveb v rozsahu min. 40 stran. Bude vybrán projekt anebo architektonická studie návrhu a konstrukce obytné stavby a bude stanoven nejvhodnější konstrukční systém s ohledem na zvolený způsob výroby. Bude vypracován projekt realizační dokumentace obytné dřevostavby, jejíž součástí bude technická zpráva, výkresová dokumentace jako výstup pro výrobu dřevostavby včetně funkčního řešení min. pěti vybraných konstrukčních detailů, řešených z hlediska technologie výroby, a dále pak výstupní dokumentace pro CNC stroje. Dále pak součástí práce bude vypracovaný statický posudek konkrétního zvoleného konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů.

Červenec – srpen 2021:

- Literární rozbor problematiky technologie výroby obytných dřevostaveb.

Září – říjen 2021:

- Projekt realizační dokumentace obytné dřevostavby na základě vzorového projektu či architektonické studie.

Říjen – prosinec 2021:

- Souhrnná technická zpráva.

Říjen 2021 – březen 2022:

- Výkresová dokumentace pro výrobu dřevostavby včetně funkčního řešení konstrukčních detailů.

- Statický posudek konkrétního konstrukčního prvku a třech detailů konstrukčních spojů.

Duben 2022:

- Odevzdání závěrečné práce.

Doporučený rozsah práce

60 – 80 stran

Klíčová slova

Výroba; rodinný dům; konstrukce na bázi dřeva

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

Götz, K.H. Holzbau Atlas. Mnichov: Institut für Holzforschung und Holztechnik der Universität München, 2001

Gulvanessian, H, Calgaro, J.A., Holický, M. Designers' guide to Eurocode: basis of structural design: EN 1990. 2nd ed. London: ICE Publishing, 2012. ISBN 9780727741714

Jodidido, P. 100 Contemporary Wood Buildings. Kolín nad Rýnem: Taschen, 2019. ISBN 3836561565

Kolb, J. Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2. aktualizované vydání v České republice. Přeložil Bohumil Koželouh. Praha: Grada, 2011. ISBN 9788024740713

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 měřítka 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

Štefko, J., Reinprecht, L. Dřevěné stavby. Konstrukce, ochrana a údržba. Bratislava: Jaga Group, 2004. ISBN 8088905958

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Přemysl Šedivka, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zpracování dřeva a biomateriálů

Konzultant

Ing. Michal Zeman, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 21. 7. 2021

doc. Ing. Roman Fojtík, Ph.D.

Vedoucí ústavu

Elektronicky schváleno dne 15. 2. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 05. 04. 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „Návrh realizace dřevostavby rodinného domu pro celoroční užívání“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedl/a na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, 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 vědoma, že odevzdáním diplomovou 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 verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne …… Podpis studenta……

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Ing. Přemyslovi Šedivkovi, PhD. za odborné konzultace, vedení i cenné rady při zpracování práce. Na závěr bych chtěla poděkovat celé mé rodině, za plnou podporu během mého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem realizace dřevostavby rodinného domu pro celoroční užívání s využitím rámového konstrukčního systému. Součástí práce byl vypracován literární rozbor, kde se pojednává o dřevě jako o stavebním materiálu, jeho vlastnostech a použití. Dále je literární část zaměřena na problematiku provádění dřevostaveb rámového konstrukčního systému s řešením konstrukčních skladeb. Výstupem praktické části je vlastní návrh rodinného domu, ke kterému byla zpracována realizační dokumentace včetně řešení vybraných konstrukčních detailů, načež navazovalo vypracování dokumentace výrobní, která byla zpracována zvlášť pro konstrukci přízemního podlaží a konstrukci střechy za pomocí softwarů běžně využívaných v praxi. Součástí návrhu bylo statické posouzení vybraného prvku včetně jeho spojů a tepelně technické posouzení navržených skladeb.

Klíčová slova: výroba; rodinný dům; konstrukce na bázi dřeva

Abstract

The diploma thesis deals with the design of the wooden construction of a family house for year-round use using a frame construction system. Part of the thesis is a literary analysis, which discusses wood as a building material, its properties and use. Furthermore, the literary part is focused on the issue of the execution of wooden buildings of the frame structural system with the solution of structural compositions. The output of the practical part is the own design of a family house, for which implementation documentation was prepared, including the solution of selected structural details. The production documentation was prepared separately for the construction of the ground floor and the construction of the roof with the help of software commonly used in practice. The design included a static assessment of the selected element, including its joints, and a thermal technical assessment of the proposed compositions.

Keywords: manufacture; family house; wood-based construction

Obsah

1 Úvod ... 9
2 Cíl práce ... 10
3 Literární přehled ... 11
3.1 Dřevo pro stavební účely ... 11
3.1.1 Charakteristika vlastností ... 11
3.2 Vstupní materiály pro výrobu dřevostaveb ... 13
3.2.1 Masivní materiály ... 13
3.2.2 Deskové materiály ... 15
3.3 Dřevostavby rodinných domů ... 18
3.4 Dřevostavby z lehkého rámového skeletu ... 18
3.4.1 Základové prahy ... 18
3.4.2 Konstrukce stěn ... 19
3.4.3 Hrubá konstrukce stropu ... 21
3.4.4 Konstrukce střech ... 23
3.5 Skladby a uspořádání vrstev ... 26
3.5.1 Difuzně uzavřená skladba ... 27
Skladba difuzně otevřená ... 29
3.5.2 Vzduchotěsné vrstvy ... 30
3.5.3 Provětrávané vzduchové mezery ... 32
3.5.4 Instalační předstěny ... 32
3.5.5 Tepelněizolační vrstva ... 33
3.6 Rámové lehké konstrukce z hlediska výroby ... 37
3.6.1 Prvková výroba ... 38
3.6.2 Panelová výroba ... 38
3.6.3 Modulová výroba ... 39
4 Shrnutí ... 41
5 Metodika ... 42
5.1 Návrh rodinného domu pro celoroční užívání ... 43
5.1.1 Dispoziční řešení stavby ... 44
5.1.2 Konstrukční řešení a montáž ... 44
5.1.3 Navrhované skladby ... 45
6 Výsledky ... 50
6.1 Projektová dokumentace ... 50

6.2 Výrobní dokumentace 50
6.3 Předloha CNC 52
6.4 Statické posouzení 53
6.5 Posouzení skladeb konstrukce 54
6.5.1 Podlaha 54
6.5.2 Strop 55
6.5.3 Obvodová stěna 56
6.6 Ocenění stavby 57
7 Diskuse 58
8 Závěr 60
9 Seznam literatury a použitých zdrojů 61
10 Seznam příloh 64

Seznam obrázků

Obr. 1 Sortiment lepených nosníků 14
Obr. 2 Uložení základových prahů (Skřípský 2008) 19
Obr. 3 Skladba opláštěné nosné stěny s izolací (Moro 2019) 20
Obr. 4 Spoje stěn s možností vložení dodatečné izolace (vlastní zpracování) 21
Obr. 5 Varianty řešení překladů ve stěnovém rámu (Thallon 2008) 21
Obr. 6 Napojení stropního konstrukce (American Wood Counsil 2001) 22
Obr. 7 Napojení stopní konstrukce z příhradových a I–nosníků (American Wood Counsil 2001; 2015) 23
Obr. 8 Druhy provedení vaznicové soustavy (SPŠ stavební Opava 2012) 25
Obr. 9 Schéma příhradového vazníku (MiTek 2007) 26
Obr. 10 Příklad difuzně uzavřené skladby (vlastní zpracování) 28
Obr. 11 Příklad difuzně otevřené skladby (vlastní zpracování) 29
Obr. 12 Napojení parotěsných vrstev konstrukcí (vlastní zpracování) 31
Obr. 13 Řez instalační rovinou stěnové konstrukce (Steiger 2017) 33
Obr. 14 Varianty zhotovení panelové konstrukce v různých fázích dokončení (Kolb a Koželouh 2011) 39
Obr. 15 Umístění objektu na pozemku (vlastní zpracování) 43
Obr. 16 Dispoziční návrh rodinného domu 44
Obr. 17 Trojrozměrný model nosné konstrukce navrhovaného domu (vlastní zpracování) 50
Obr. 18 Výrobní výkres rámu stěny č. 5 (vlastní zpracování) 51
Obr. 19 Kladecí výkres opláštění rámu steny č. 5 (vlastní zpracování) 51
Obr. 20 Výrobní výkres vazníku S1 (vlastní zpracování) 52
Obr. 21 Výsledek exportu do CNC stroje (vlastní zpracování) 52
Obr. 22 Geometrie posuzovaného příhradového vazníku 53

Seznam tabulek

Tab. 1 Ideální hodnoty vstupní vlhkosti dřeva dle místa jeho použití (Steiger 2017) . 12
Tab. 2: Doporučené hodnoty intenzity výměny vzduchu 31
Tab. 3 Navrhovaná skladba střešní konstrukce (vlastní zpracování) 45
Tab. 4 Navrhovaná skladba vnější stěny s dřevěnou fasádou (vlastní zpracování) .. 47
Tab. 5 Navrhovaná skladba vnější střechy a plechovou fasádou (vlastní zpracování) 47
Tab. 6 Navrhovaná skladba vnější zástěny (vlastní zpracování)..... 48
Tab. 7 Navrhovaná skladby vnitřních příček (vlastní zpracování) 48
Tab. 8 Navrhovaná skladba stropní konstrukce (vlastní zpracování) 49
Tab. 9 Navrhovaná skladba podlahy (vlastní zpracování)..... 49
Tab. 10 Výpočet zatížení vlastní tíhy stropní konstrukce (vlastní zpracování) 53
Tab. 11 Výpočet zatížení vlastní tíhy střešní konstrukce (vlastní zpracování)..... 54
Tab. 12 Posouzení požadavku na součinitel prostupu tepla podlahy (vlastní zpracování)..... 54
Tab. 13 Zhodnocení požadavku poklesu dotykové teploty podlahy (vlastní zpracování) 55
Tab. 14 Posouzení požadavku na součinitel prostupu tepla stropu (vlastní zpracování) 55
Tab. 15 Posouzení požadavku na teplotní faktor skladby stropu (vlastní zpracování) 55
Tab. 16 Posouzení požadavku na šíření vlhkosti konstrukcí stropu (vlastní zpracování) 55
Tab. 17 Posouzení požadavku na součinitel prostupu tepla skladby obvodové stěny (vlastní zpracování) 56
Tab. 18 Posouzení požadavku na teplotní faktor skladby obvodové stěny (vlastní zpracování) 56
Tab. 19 Posouzení požadavku na šíření vlhkosti konstrukcí obvodové stěny (vlastní zpracování) 56
Tab. 20 Rozpočet rodinného domu 57

1 Úvod

Dřevostavby pro rodinné bydlení začínají u široké veřejnosti čím dál tím více získávat na oblibě. V současné situaci je to částečně dáno ekonomickou situací a okolnostmi spojenými s trhem nemovitostí, kdy v návaznosti na to lidé zvyšují poptávku po rychlé výstavbě s nízkoenergetickým provozem. V těchto situacích se dřevostavba stává čím dál tím častější volbou a dostává se do podvědomí čím dál širší veřejnosti.

Velká část veřejnosti byla do nedávna vůči stavbám na bázi dřeva dosti skeptická, za což částečně mohly šířící se mýty a nepřesné představy o fungování a životnosti těchto staveb. Částečně byl tento stav podpořen negativními zkušenostmi na základě nevydařených realizací dřevostaveb, které byly prováděny bez značných zkušeností, softwarové podpory a bez nutných znalostí.

Dnes se na trhu s dřevostavbami oproti minulým desetiletí vyskytuje celá řada realizačních firem a ze strany investorů je nutný pečlivý výběr stavební firmy, který lze provézt např. na základě certifikací či právě referencí. U certifikovaných firem se většinou jedná o větší firmy s velkým technologickým zázemím, které je nápomocné v procesu plánování a výroby dřevěných konstrukcí. Takové firmy většinou soustředí co nejvíce výrobních procesů do výrobních hal s využitím určité míry automatizace výroby, s cílem větší produkce a zkrácení času samotné výstavby. Na základě toho, nelze přesně tvrdit, že využitím moderních technologií se zaručí správné provedení a nadále fungování dřevostavby. Pokročilá technologie se softwarovou podporou jsou tomuto procesu velkou výhodou, a to už od fáze plánování až po samotnou výrobu, kde je celková efektivita podpořena právě softwarovou návazností a snadnou kontrolou ve všech částí stavby. Přesto je ale stále důležitým faktorem v realizacích dřevostaveb člověk, na kterém závisí nejen prvotní správné navržení, ale také po fázi výroby samotné zkompletování stavby, které je stěžejní pro správné fungování a její celkovou životnost.

Tato práce v návaznosti na problematiku může sloužit jako náhled do obecných zásad provádění dřevostaveb s konkrétním náhledem na postupy před realizací stavby rodinného domu od prvotního návrhu, před vytvoření projektové dokumentace až do fáze výrobní dokumentace, při níž bylo využito několika softwarů, které umožňuje 3D modelace a přesnější zpracování dokumentace do výroby.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je vypracování návrhu dřevostavby rodinného domu pro celoroční užívání s přihlédnutím na stanovené požadavky investora. Součástí návrhu je vypracování realizační dokumentace stavby s řešením vybraných konstrukčních detailů a s dílčím cílem zhodnotit navržené skladby obálky budovy z hlediska stavební fyziky. Dalším cílem je dokumentace výrobní, jejíž součástí je výstup vybraného elementu pro CNC stroj. V návaznosti na výrobní dokumentaci je cílem provést statický posudek vybraného konstrukčního prvku včetně jeho spojů.

3 Literární přehled

Tato část zahrnuje literární rozbor, kde se nejprve pojednává o dřevě, jako o stavebním materiálu s přihlédnutím na jeho nejvýznamnější vlastnosti ovlivňující návrh a proces stavby. Na základě zastoupení konstrukčních systému dřevostaveb se dále tato část zaměřuje na konstrukční systém rámových staveb, jejich vstupních konstrukčních materiálů a principů provedení jejich konstrukčních částí. Také je zde nastíněna problematika skladeb obvodových plášťů s návazností na správné provedení, umístění vrstev a jejich jednotlivé funkce. Poslední část této obsahuje téma výroby rámových staveb z několika pohledů dle fáze dokončení jednotlivých prvků.

3.1 Dřevo pro stavební účely

Dřevo je jedním z nejzákladnějších a nejstarších stavebních materiálů, které dodnes neztratilo na své atraktivitě. Oproti ostatním stavebním materiálům získává výhodu z enviromentálního hlediska. Je přírodního charakteru, obnovitelný a jeho výroba je energeticky nenáročná a snadno dostupná (i z lokálních zdrojů). ve stavebnictví je dřevo nejvíce využíváno pro konstrukční účely, ale uplatnění najdeme i z hlediska doplňkových konstrukcí jako fasády, podlahové prvky, střešní krytiny a jiné. Další výhodou je maximální zpracování jeho zbytků a odpadu při zpracování. Ty jsou dále ve stavebnictví využívané jako vstupní materiál pro výrobu dalších stavebních materiálů (desky na bázi dřeva, izolace) nebo můžou vstupovat do výroby jako topidlo.

Nejčastější dřevinou pro konstrukční účely jsou domácí dřevina jako jsou: smrk, jedle, modřín, borovice nebo douglaska. Z listnatých dřevin se setkáme např. s dubem, který se využívá především v místech se zvýšenými požadavky na odolnost vůči vlhkosti (Kolb 2011).

3.1.1 Charakteristika vlastností

Vlhkost dřeva

Dřevo jako hygroskopický materiál má schopnost přijímat vlhkost z okolního prostředí. Vlhkost dřeva udává poměr obsažené vody ku absolutně suché dřevní hmotě. Vlhkost dokáže zásadně ovlivnit vlastnosti dřeva, především jeho hmotnost, odolnost vůči napadením škůdců, ale především ovlivňuje jeho tvarovou stálost, která dokáže zásadně ovlivnit stabilitu či životnost konstrukce vlivem bobtnání či sesychání dřeva. Konstrukční dřevo by se mělo dodávat s takovou vlhkostí, která se očekává v místě jeho použití, aby docházelo k minimálním rozměrovým změnám. Ideální vstupní vlhkosti dřevěných konstrukčních prvků dle jejich místa použití uvádí tabulka níže (Steiger 2017).

Tab. 1 Ideální hodnoty vstupní vlhkosti dřeva dle místa jeho použití (Steiger 2017)

Zcela uzavřené vyhřívané prostory	9 ± 3 %
Zcela uzavřené	12 ± 3 %
Konstrukce částečně uzavřené	15 ± 3 %
Všestranně větrané konstrukce	18 ± 3 %

Tepelné vlastnosti

Oproti řadě jiných materiálům používaných ve stavebnictví, např. betonu, disponuje dřevo výrazně lepšími tepelněizolačními vlastnostmi. Jemná pórovitá struktura jej dělá dobrým izolačním stavebním materiálem. U jehličnatých dřevin smrk, borovice a jedle je tepelná vodivost 0,18 W/mK, u listnatých dřevin buk a dub 0,23 W/mK. Další tepelnou vlastností je tepelná roztažnost, která se vzhledem ke svým nízkým hodnotám při použití v konstrukcích zanedbává.

Akumulační vlastnosti

Dřevo má příznivé akumulační schopnosti, které zajištují v letních i zimních měsících tepelnou pohodu v obytných prostorech. Index akumulace tepla smrkového dřeva je 350 Wh/m2K, což přibližně odpovídá polovičnímu indexu akumulace betonu.

Akustické vlastnosti

Mezi akustické vlastnosti patří zvuková vodivost, která se liší dle směru vodivosti. Napříč vláknům je přibližná hodnota 1000 ms-1 a ve směru vláken 4500 ms-1. Dalším důležitým parametrem je zvukovou průzvučnost, která udává míru ubytku intenzity zvuku při průchodu materiálem. U dřeva tloušťky 50 mm je zvuková průzvučnost 27 dB (Kuklík 2005).

Hořlavost

Dřevo spadá do materiálů, které jsou zápalné a hořlavé, ale jejich únosnost při vzniku požáru je velmi dobrá. Dřevěný prvek většího průřezu hoří poměrně pomalu, kdy na svém povrchu vytvoří zuhelnatěnou vrstvu a svou nosnost ztrácí až po určité době, která se dá s jistou přesností vypočítat. Úbytek hmoty při hoření u jehličnatého dřeva je kolem 0,6 – 0,8 mm/min a u dubu 0,4 mm/min. Rychlost hoření ovlivňuje vlhkost, které dřevo obsahuje, přičemž se vzrůstající vlhkostí se rychlost hoření zpomaluje.

Mechanické vlastnosti

Dřevo při nízké objemové hmotnosti vykazuje vysokou pevnost a pružnost. Celková pevnost je ovlivněna vlhkostí, konstrukčním rozměrem, objemovou hmotností, počtem výskytu vad a rychlostí zatížení a délky jejího trvání

Dřevo dobře odolává zatížení, přičemž tlakové a tahové síly dokáže absorbovat skoro ve stejné míře, zaleží ale na směru působení zatížení. V podélném směru dokáže absorbovat tlakovou sílu asi 4krát lépe než tlakovou sílu napříč vláken. V takových sílách je mnohem větší rozdíl hodnot dle směrů působení. Pevnost dřeva v tahu ve směru vláken se blíží skoro 200násobku hodnoty pevnosti v tahu napříč vláken (Kuklík 2005; Steiner 2017).

3.2 Vstupní materiály pro výrobu dřevostaveb

Dřevěné prvky jsou primárními elementy vstupující do fáze výroby dřevostaveb. Jedná se především o prvky z masivního dřeva nebo materiály na jeho bázi, kde je významně změněna struktura výchozího materiálu. Dalšími vstupujícími prvky do tohoto procesu jsou materiály, převážně ve formě desek, které obsahují pojiva nebo jiné přísady (jako např. cement či sádra). Níže v této části jsou primárně uvedené materiály, které se běžně používají pro hrubé konstrukce rámových dřevostaveb.

3.2.1 Masivní materiály

Mezi základní stavební materiál používány pro výroby dřevostaveb patří surové dřevo – řezivo, jež je produktem pilařských závodů. Získává se podélným krácením odkorněné kulatiny převážně jehličnatých dřevin. Do výroby dřevostaveb vstupuje obvykle ve formě hraněného nehoblovaného surového řeziva. Dostupné je o určitých rozměrech a je kráceno většinou v celých délkách po půlmetru a metru od 1,5 až do 6 m. Sortiment pil je klasifikován dle poměru šířky řeziva k jeho tloušťce na: latě, prkna, fošny a hranoly (Steinera 2017).

Dalšími technologickými úpravami lze získat dřevěné produkty větších délek, větší pevnosti a mnoho jiných vlastností. Jedná se převážně o hranoly, které jsou nadále podrobeny třízení, sušení, napojování a hoblování. Tyto procesy jsou realizovány dle stanovených norem, k získání požadované kvality. Mezi nejčastější stavební řezivo tohoto druhu patří tzv. KVH a DUO, TRIO hranoly.

KVH hranoly

KVH (Konstruktionsvollholz) jsou nejpoužívanějším stavebním řezivem tohoto druhu Jedná se o délkově napojované sušené hranoly s cinkovým spojem, čtyřstranně

hoblované. Tímto napojením lze získat hranol až do délky 16 m, přičemž standartně je dodáván v délce 13 m.

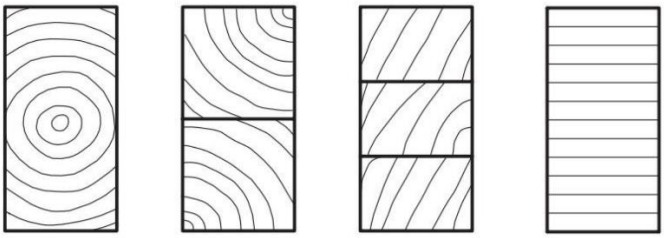
Na základě normovaných výrobních postupů jsou kladeny kvalitativní požadavky týkající se pevnostních vlastností, vzhledu, rozměrové a tvarové stálosti, vlhkosti a omezení počtu trhlin a kvality povrchu. Dodržením požadavků výsledně přináší vysokou úroveň spolehlivosti materiálu a nízkou míru poškození, která by případně snižovala bezpečnost nebo použitelnost konstrukce.

Z hlediska kvality povrchu, respektive dle místa použití, se lepené hranoly rozdělují na:

- pohledové – značené Si, používané v interiéru jako pohledové prvky krovu nebo např. stropu,
- nepohledové – značené NSi, používané uvnitř stěnových prvků.

DUO a TRIO hranoly

Dalšími variantami lepeného hranolu jsou DUO (Duobalken) a TRIO (Triobalken), jejichž proces výroby taktéž podléhá specifickým požadavkům. Obdobně jako KVH je řezivo vysušeno, hoblováno a jsou strojně odstraněny nežádoucí vady. Následně jsou hranoly k sobě plošně lepeny ve dvou nebo třech vrstvách, čímž se do značné míry eliminují deformace průřezu. Používají se pro tvorbu stropních prvků, jako nosné prvky (překlady) větších rozpětí. Dodávají se o rozměrech do 160/280 mm (DUO) a do 240/280 mm (TRIO) (Steiger 2017; HOLZ INFORMATIONSDIENST 2023).



Obr. 1 Sortiment lepených nosníků

BSH

Dalším významným lepeným prvkem pro výrobu dřevostaveb, jsou lepené lamelové nosníky známé pod zkratkou BSH (Brettschichtholz) nebo GLT (Glued Laminated Timber). Jednotlivé lamely jsou na sebe lepeny a lisovány, přičemž průběh vláken lamel je rovnoběžný po jejich délce. Stejně jako KVH prvky jsou délkové napojovány cinkovým spojem. Těmito principy napojení a slepení vzniká objemný konstrukční prvek velkých délek, vysoké pevnosti s minimálním rizikem vzniku defektů.

Výrobní možnosti týkajících se rozměrů jsou teoreticky bez limitní, ale prakticky jsou rozměry omezeny možnostmi přepravy, výrobními prostory a strojním zařízením.

Z hlediska návrhů jsou zde veliké architektonické možnosti, jednotlivé trámy jsou většinou vyráběny na zakázku, je zde taktéž možnost výroby ohýbaných prvků.

Využití BSH prvků je výhodné především u konstrukcí s velkým rozpětím a v místech působení velkého zatížením. V rodinných domech se BSH prvky využívají např. na podlahové a stropní nosné prvky, překlady velkoformátových oken a dveří, vazné trámy krovů nebo jejich podpěry, popřípadě ke konstrukci pergol nebo teras. Dále se dají použít i jako nenosné pohledové prvky jako obklady stěn (Fröbel 2016).

Speciální nosníky

Do této kategorie patří tzv. I nosníky, což jsou útlé vyšší prvky, které tvoří horní a spodní masivní dřevěné pásnice, které spojuje stojka z deskového materiálu (OSB, překližek nebo HDF). Mohou být dodatečně vyplněny o tepelně izolační vrstvy ze stran stojky. Pásnice mohou být z délkově nastavovaného dřeva (KVH) nebo lepeného lamelového dřeva. Uplatňují se při větších rozpětí kolem 13 m, disponují dobrou pevností a nízkou hmotností a oproti masivním nosníkům je výrazně ušetřeno dřevěného materiálu. Využití nachází nejen v konstrukcích stropů, ale celých rámových stěnových a střešních systému. Vzhledem k jejich štíhlosti je nutné nosníky zajistit proti klopení (Böhm et al. 2012; STEICO 2023).

Obdobnými vlastnostmi disponují také příhradové vazníky nebo dřevěné vazníky s ocelovými výplety tzv. POSI JOIST, založené na stejném principu horní a dolní pásnice, ale jsou spojeny ocelovými diagonálami, které se do dřevěných prvků lisují. Mezi ocelovými diagonálami jsou prostory, které jsou výhodné pro vedení rozvodů i s většími průměry potrubí napříč směru nosníků. Nejvíce se využívá ve stropních systémech, ale lze je využít i jako nosné prvky stěn a střech (MiTek 2012).

3.2.2 Deskové materiály

Na trhu vystupuje řada výrobců, která produkuje deskové materiály pod různým označením. Vesměs se jedná o desky na bázi dřeva, které mohou být dřevovláknité, dřevoštěpkové nebo dřevotřískové. Tyto desky se nejčastěji využívají jako konstrukční nosné desky, mají dobře statické vlastnosti a najdeme je ve skladbách v podobě záklopů konstrukčních rámů. Nehodí se ale jako finální pohledová deska a nemají příznivé protipožární vlastnosti. Z tohoto důvodu je dobré kombinovat tyto desky s deskami s příměsí sádry nebo cementu, které zaručují lepší protipožární vlastnosti a mají pohledový povrch (Provázek 2013).

Desky na bázi dřeva

Pro tuto kategorii desek se využívá zbytků pilařské výroby v podobě štěpek, třísek a dřevních vláken. Níže jsou popsány nejvyužívanější konstrukční desky, a to desky OSB a MHF.

OSB desky

Jsou vyráběny plošným lisováním vrstev třísek jehličnatého dřeva s příměsí polyuretanového lepidla bez obsahu formaldehydu. Orientace třísek desky je plochá, přičemž středová vrstva je kolmo orientovaná vůči vnějším vrstvám. Vyrábí se v objemové hmotnosti 600 kg/m3, v tloušťkách 10, 12, 15, 18, 22 a 25 mm ve formátu 2800/1250 a 2650/1250, 2500/625 mm. Může být v provedením profilu s pero drážkou (Böhm et al. 2012; EGGER CZ s.r.o. 2018).

Jak už bylo výše uvedeno, disponují dobrými statickými vlastnosti a dobrou únosností pro ukotvení břemen. V rámových konstrukcích plní funkci ztužující, parobrzdnou a vzduchotěsnou. Používá se jako vnitřní či vnější opláštění stěn a střech a nosné záklopy podlah a stropů. Pro tyto účely jsou vhodné desky s označením OSB 3 a OSB 4, které jsou vhodné pro použití v exteriéru. Deska sama o sobě není dobrou protipožární vrstvou. Jelikož spadá do kategorie hořlavých materiálu, tak se z hlediska protipožární ochrany navrhuje jako spolupůsobící opláštění. Na trhu se objevují i speciální typy desek s protipožární ochranou úpravou na principu přidání vrstev skelných vláken, cementové směsi s finálním pohledových povrchem. Tato deska vykazuje obdobné protipožární vlastnosti jako při použití sádrovláknitých desek (EGGER CZ s.r.o. 2018; KRONOSPAN CR spol. s.r.o. 2020).

DHF

Jsou desky lisované z dřevních vláken s příměsí polyuretanových pryskyřic, bez obsahu formaldehydu. Lisování desek se provádí plošně suchou cestou. Vyrábějí se objemovou hmotností 600 kg/m^3, v šířkách 1250 a délkou 2500, 2800 a 3000 mm, v tloušťkách 15 a 20 mm. Desky jsou většinou se čtyřstranným profilem pero drážkou.

Desky mají nízký difuzní odpor, jsou odolné dešti a větru a proti proražení. Dají se použít i jako pochozí plochy. Nejvíce se využívají pro vnější opláštění stěn a střech. V průběhu stavby se dají využít k prozatímnímu uzavření hrubé konstrukce. Ideální jsou jako vnější opláštění konstrukcí s provětrávanou mezerou (EGGER CZ s.r.o. 2016).

Desky s minerálními pojivy

Základním materiálem těchto desek jsou minerální pojiva sádra nebo cement. Ty se mísí s dřevěnými třískami, recyklovaným papírem či buničinou. Jedná se většinou

o homogenní desky vyšší objemové hmotnosti, které mají společné vlastnosti týkající se zdravotní nezávadnosti a protipožární odolnosti. Obecně se pro dřevostavby využívá několik typů těchto desek a to, sádrovláknité, sádrokartonové (nosné i nenosné), cementovláknité a cementotřískové (Böhm et al. 2012).

Sádrokartonové a sádrovláknité desky

Sádrokartonové desky, které se dají zařadit do kategorie konstrukčních desek, jsou desky, které mají sádrové jádro a jsou vyztužené skelnými vlákny a uzavřené silnější vrstvou papírového kartonu. Objemová hmotnost desek je 840 kg/m^3, vyráběné ve formátech 1250/2000, 1249/2750 mm, v tloušťkách 12,5 a 15 mm. Oproti běžnému sádrokartonu, který primárně slouží jako produkt pro zlepšení akustických a protipožárních vlastností konstrukčních prvků, tyto desky disponují větší pevností a lze je použít jako konstrukční desky rámové konstrukce stěn i podlah. Její hlavní předností je ohnivzdornost, proto je výhodné je použít jako konstrukční desky protipožárních příček a příček obecně. Je vhodná i do exteriéru, např. pro záklopy podhledů, je ale důležité tyto prvky nevystavovat trvalému UV záření a dešti. V případě použití desky v místech s vyšším výskytem vlhkosti, je třeba desky impregnovat nátěrem (SAINT-GOBAIN CONSTRUKTION PRODUCTS CZ A.S. 2023).

Sádrovláknité desky se vytváří ze směsi dřevních vláken spolu se sádrou, ze které se vytvoří koberec, který je nadále lisovaný pod velkým tlakem a projde procesem vysušení. Desky mají objemovou hmotnost 1150 kg/m3, a vyrábí se ve větší škále rozměrů (záleží na výrobci), v tloušťkách 10, 12,5, 15 s 18 mm. Z hlediska vlastností, jsou podobné jako výše zmiňované sádrokartonové desky, lze je tedy využívat stejným způsobem (Böhm et al. 2012; James Hardie Europe GmbH 2016).

Cementotřískové a cementovláknité

Tyto desky se vyrábí obdobně jako desky na bázi sádry s tím rozdílem, že je jako příměs použitý cement a celá doba vytvrzování koberců se díky cementu prodlužuje. Desky mají vyšší objemovou hmotnost, pohybuje se od 1000 do 1800 kg/m^3, v tloušťkách a rozměrech dle typu. Oproti těmto deskám jsou vhodné pro použití v exteriéru, jelikož jsou odolné vůči povětrnostním vlivům, jsou mrazuvzdorné, odolné proti plísním, odolné a stejně tak jsou nehořlavé. Mohou se použít jako konstrukční desky podlah, stěn, dále také podhledů, fasádních a střešních prvků (Böhm et al. 2012; Cembrit a.s. 2023).

3.3 Dřevostavby rodinných domů

Dřevostavby se v posledních letech stále více dostávají do podvědomí veřejnosti, čemuž odpovídá každoroční procentuální nárůst rodinných staveb ze dřeva. V roce 2020 z celkového počtu výstaveb rodinných domů v ČR dřevostavby zastávali 18 %, které zahrnují všechny konstrukční systémy dřevostaveb – skeletové i masivní. Masivní konstrukce zahrnující stavby z CLT panelů, roubenky a sruby, mají u nás menšinové zastoupení v počtu realizovaných staveb. Obdobně na tom jsou těžké skeletové systémy. Nejdominantnější konstrukčním systémem v ČR pro výrobu rodinných domů je lehký rámový skelet, který je na základě svého zastoupení ve výstavbách hlavním tématem dalších kapitol.

3.4 Dřevostavby z lehkého rámového skeletu

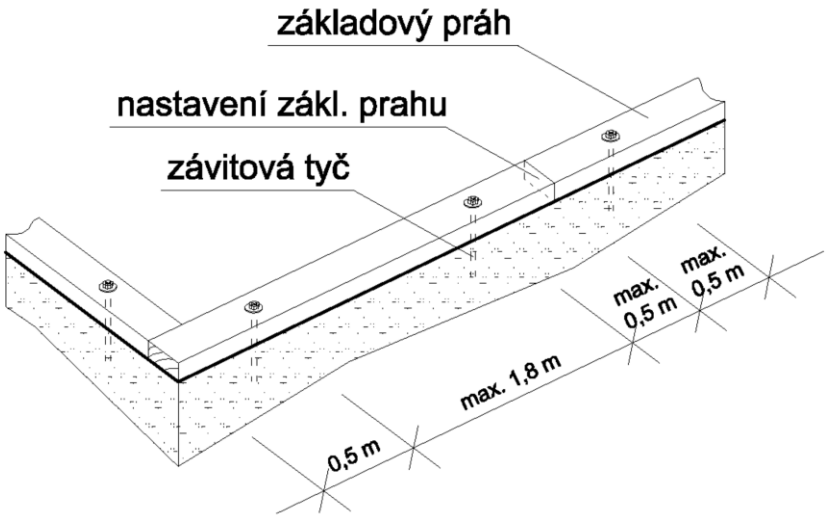
Principem sloupkové rámové konstrukce je založen na vytvoření celistvého nosného systému – rámu, za pomocí štíhlých dřevěných profilů ve svislém a vodorovném směru, které jsou kladeny v určitých osových vzdálenostech. Tato konstrukce vzešla z původní americké varianty - tzv. Two by Four, jejíž principem je využití prvků standartních velikostí, konkrétně 2x4 palce, což odpovídá asi 5x10 cm. V Evropě se stal standartní prvek o rozměrech 6x12 cm. Jednotlivé sloupky jsou od sebe osově kladeny obvykle 625 mm, přičemž rozhodující volbou pro rastr jsou rozměry konstrukčních desek, šířky dodávaných izolačních materiálů, míra zatížení apod. Tato osová vzdálenost nemusí být v celé délce rámového prvku dodržena, od této rozteče se opouští v místech zakončení konstrukčních částí nebo v místech výskytu těles, které náleží konstrukci (okna a dveře), nebo jí procházejí (komínová tělesa) (Steiger 2017).

3.4.1 Základové prahy

Základové prahy jsou základním prvekem pro usazení stěnových rámů. Jeho prostřednictvím se přenáší svislé síly do základů stavby. Je to část konstrukce, která se bez ohledu na typ výroby vždy připravuje na staveništi. Základový práh je ve formě fošnového prvku, většinou stejných rozměrů jako je spodní pásnice stěnového rámu, který se umisťuje na okraj betonové základové desky. Od té je potřeba základový práh řádně izolovat vzhledem k vlhkostnímu riziku. Proto se pod základový práh umisťuje vrstva hydroizolačního materiálu a práh se ze spodní strany opatří hydroizolačním nátěrem. Vhodné je základový prvek opatřit před montáží impregnací proti dřevokazným houbám. Také je možnost použít trvanlivější druh dřevin např. modřín nebo dub. Pokud skladba budovy obsahuje parotěsné folie, tak by se v této fázi výstavby nemělo

opomenou její zabudování v místech styku základových prahů příček a vnějších stěn (Skřípský 2008; Růžička 2014).

Základové prahy se obvykle spojují s betonem pomocí kotev, které mohou být, předpřipravené a zalité do betonu, nebo se zatloukávají do převrtaných otvorů v základové desce. Jsou kladeny v ose budoucí stěny, přičemž je nutné hlídat si jejich osové vzdálenosti a vzdálenosti od hrany prahu. Nejbližší kotva od kraje prvku by se neměla umísťovat blíže než 500 mm a ostatní kotvy osově vzdálené od sebe do 1,8 m, přičemž by se neměli umisťovat do míst budoucích dveří a francouzských oken (Skřípský 2008).



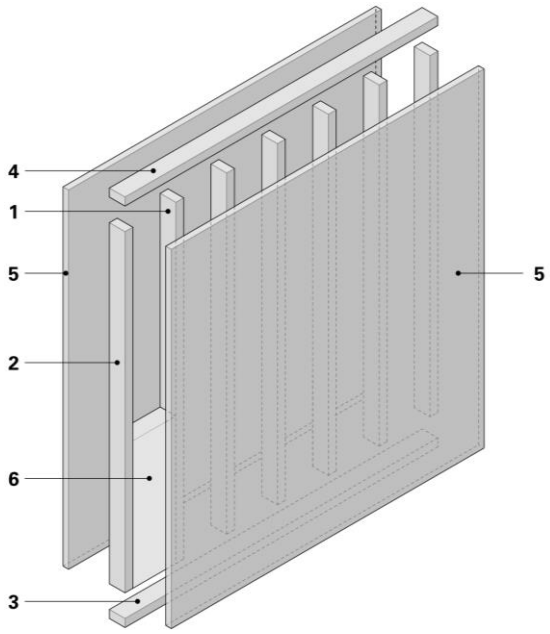
Obr. 2 Uložení základových prahů (Skřípský 2008)

Základové prahy mají zajistit rovinný podklad pro usazení stěn, proto se před samotným usazením musí vyrovnat dle nejvyššího naměřeného bodu podkladu. Základový práh se nejprve vypodloží tak, aby vznikla rovina a vzniklá mezera se vyplní expanzní maltou, která zajistí přenos zatížení a utěsní vzniklých dutin. Dutiny pro vyplnění by měly být vysoké minimálně 2 cm pro aplikaci špachtlí. Alternativou je vytvoření maltového lože, které může být maximální tloušťky 4 cm, do kterého jsou dle statiky rozmístěny odolné podložky. Na ty jsou přímo do maltového pokládané základové prahy (James Hardie Europe GmbH. 2018).

3.4.2 Konstrukce stěn

Stěnové rámy jsou základní svislou konstrukční částí stavby, které mají za úkol přenášet svislá zatížení z konstrukčních částí nad sebou. Rám je tvořen svisle jdoucími dřevěnými sloupky v osových vzdálenostech 625 mm, s výjimkou umístění oken, dveří a místech ukončení rámu. Shora a zdola je rám opatřen vodorovnou fošnou nazývanou spodní nebo horní pásnice (viz. obr 1), která bývá zdvojená o prvek stejné nebo větší

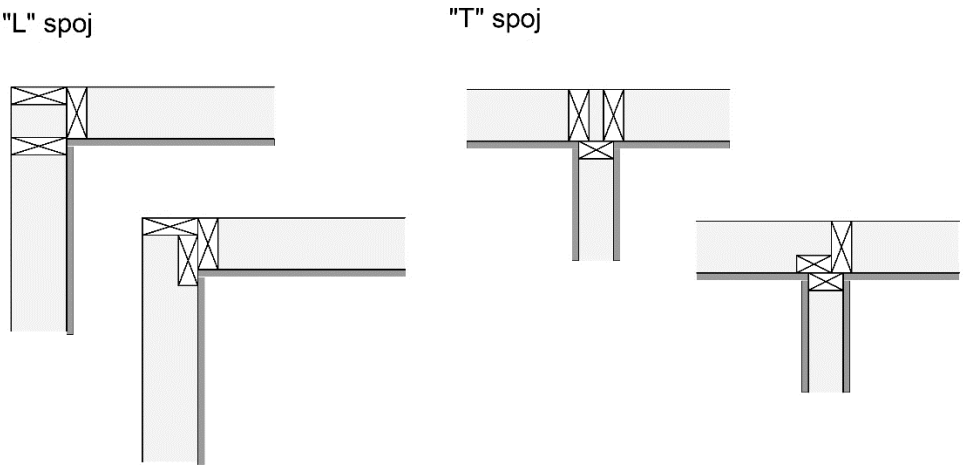
tloušťky. Všechny tyto prvky jsou spojeny za pomocí mechanických spojovacích prostředků (hřebíků, vrutů, úhelníku). Součástí rámu mohou být i vodorovné prvky v podobě okenních překladů nebo vzpěr osazených mezi sloupky. Pro obvodové zdi se využívají sloupky tloušťky 160, 180 nebo 200 mm, přičemž je profil přizpůsoben tepelně izolačním požadavkům, respektive tloušťce izolační vrstvy. U stěnových příček se využívají menší profily sloupků, běžně 120 nebo 140 mm s přihlédnutím na statické a akustické požadavky (Steiger 2017; Růžička 2014).



Obr. 3 Skladba opláštěné nosné stěny s izolací (Moro 2019)

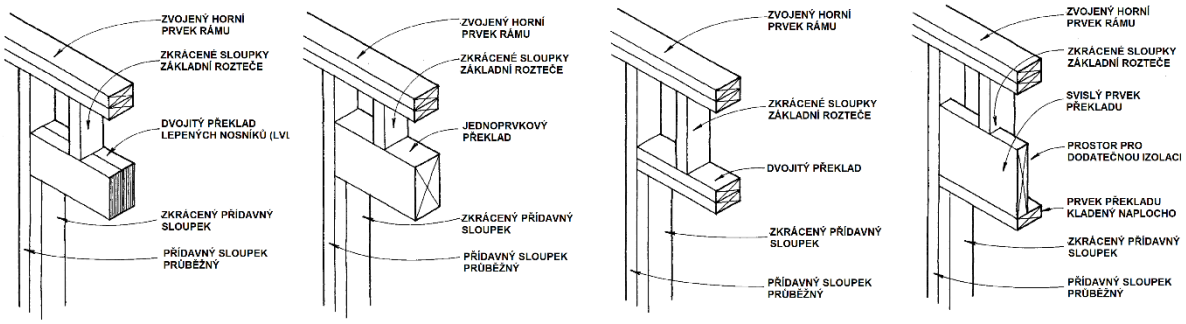
1 – nosné sloupky, 2 – krajní sloupek, 3 – spodní pásnice, 4 – horní pásnice, 5– konstrukční deska, 6 – izolační materiál

Rámový stěnový prvek se dále opláští konstrukční deskou (OSB, SDK apod.), která zajistí prostorové ztužení stěny. Deskovému materiálu je u stěn přizpůsobený nejen rast jednotlivých svislých sloupků, ale také jejich vzájemné napojení, které by mělo být provedeno vždycky tak, aby v tomto místě mohlo dojít k přichycení desky na nosný sloupek a v lepším případě, aby bylo umožněno dodatečnému zateplení. Proto se používá několik osvědčených spojů, které tento požadavek splňují. Některé z nich jsou názorně vyobrazeny níže na obr.4. Kladení desek se může provádět z vnější nebo vnitřní strany nosné konstrukce, přičemž mohou se mohou klást ve vodorovném nebo svislém směru.



Obr. 4 Spoje stěn s možností vložení dodatečné izolace (vlastní zpracování)

V případě integrování oken a dveří se rám doplňuje o další svislé a vodorovné fošny. S ohledem na šířkou požadovaných otvorů se dimenzují horní vodorovné fošny, překlady, které přenáší zatížení do podpor. Podporami jsou v tomto případě sloupky, které doplňují základní rastr sloupků. Jejich počet v těchto místech může být zdvojnásoben nebo ztrojnásoben, čímž se zvětší plocha podpory překladu. Překlady jsou dimenzovány většinou v tloušťce se závislostí na jejich rozpětí a zatížení. Obvykle to bývá jeden nebo dva fošnové prvky na stojato uložené. několik druhů provedení překladů je znázorněno na obr. 5. V případě větších rozpětí lze využít lepené nosníky nebo překlad konstruovat jako prvek příhradový. Dalším vodorovným prvkem se v případě oken přidává parapetní fošna, která slouží jako nosný podklad pro okenní rám. Provádí se obvykle ve stejných rozměrech jako sloupky, je vodorovně uložen na svislých přerušených sloupcích základního rastru (Růžička 2014; Steiger 2017).



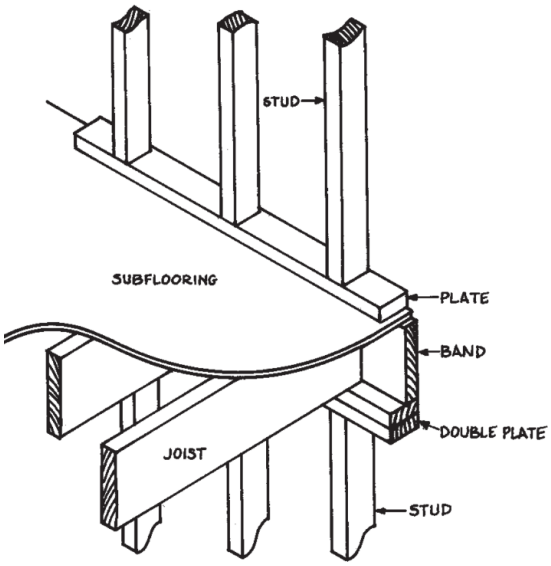
Obr. 5 Varianty řešení překladů ve stěnovém rámu (Thallon 2008)

3.4.3 Hrubá konstrukce stropu

Hrubá konstrukce stropu rámových staveb je tvořena dřevěnými štíhlými prvky – nosníky. Nosníky jsou kladeny, pokud možno rovnoměrně v obvyklé rozteči 600–700 mm, v závislosti na vlastním a užitném zatížení, rozměrů ztužujících desek,

kterými se nosná konstrukce zaklopí, a rozponem stropní konstrukce. V místech prostupů komínových těles, šachet a schodišť lze využít tzv. výměn, které jsou integrovány do stejné roviny jako průběžné nosníky a v místě přerušení stropu přenáší zatížení do ostatních průběžných trámů. Rám je na svém konci opatřen krajním trámem, který zajišťuje průběžné trámy proti klopení. Proti klopení je nutno zajišťovat všechny nosné prvky, jejichž výška je 2,5krát větší než jeho šířka.

Stropní rám je prvkem oddělujícím přízemní a nadzemní část domu, zároveň je prvkem, který zajištuje stabilitu celé konstrukce. Jak můžeme vidět na obr. 6 uložení stropního rámu se provádí na horní část (na zdvojený rám) spodní svislé konstrukce, která přebírá zatížení ze stopu a horní svislé konstrukce. Dále může být plocha stopu podepřena nosnými příčkami, průvlaky nebo sloupky.

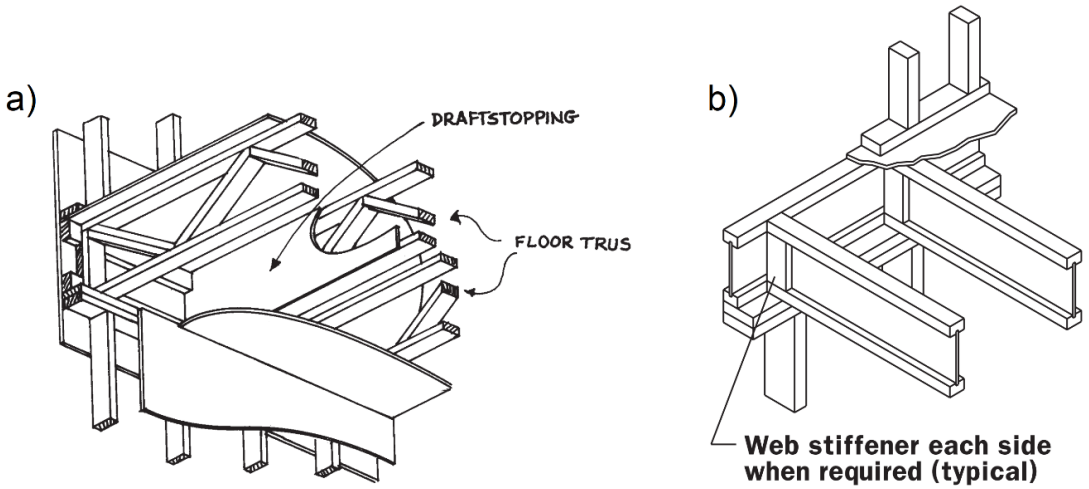


Obr. 6 Napojení stropního konstrukce (American Wood Counsil 2001)

Z hlediska výběru dřeva je nutné brát ohled na pevnost a neformovatelnost materiálu, s čímž souvisí jeho vstupní vlhkost. Obecně pro nosné konstrukční prvky se má výhradně používat dřevo s minimální třídou pevnosti C24. Dále by měl výběr dřeva záviset na kvalitě povrchu anebo v závislostí požadavků protipožární ochrany (Kolb 2011; Růžička 2014; Steiger 2017).

Mimo klasických trámových nosníků lze využít ke konstrukci stopu i jiné varianty nosníků. Konkrétně na obr. 7a můžeme vidět strop tvořený příhradovými nosníky a na obr. 7b strop konstruovaný z I–nosníků. Další variantou použití můžou být tzv. POSI nosníky, které vycházejí z konstrukce klasických příhradových nosníků, více

viz. kap. 3.2.1.



Obr. 7 Napojení stopní konstrukce z příhradových a I–nosníků (American Wood Counsil 2001; 2015)

3.4.4 Konstrukce střech

Střešní konstrukce rámových staveb mohou být řešeny jako strmé (nad 45° sklonu), šikmé (do 45° sklonu) nebo ploché konstrukce (do 5° sklonu), dle požadovaného tvaru střechy. Nejzákladnějšími tvary střech pro rodinné domy jsou sedlové, valbové, pultové nebo ploché střechy. Každý z těchto typů střech má stejný úkol, a to přenášet zatížení z vrstev střešní plochy do svislých nosných stěn. Jedná se o zatížení vlastní tíhou, zatížení sněhem a větrem, z tohoto hlediska jako jiné nosné konstrukce musí splňovat požadavky na únosnost a použitelnost.

Nosné střešní systému mohou být řešeny jako prutové nebo prostorové soustavy. do prutových soustav řadíme prosté krokvové, hambálkové a vaznicové soustavy. Do prostorových soustav spadají soustavy vazníkových konstrukce.

Krokvové a hambálkové soustavy

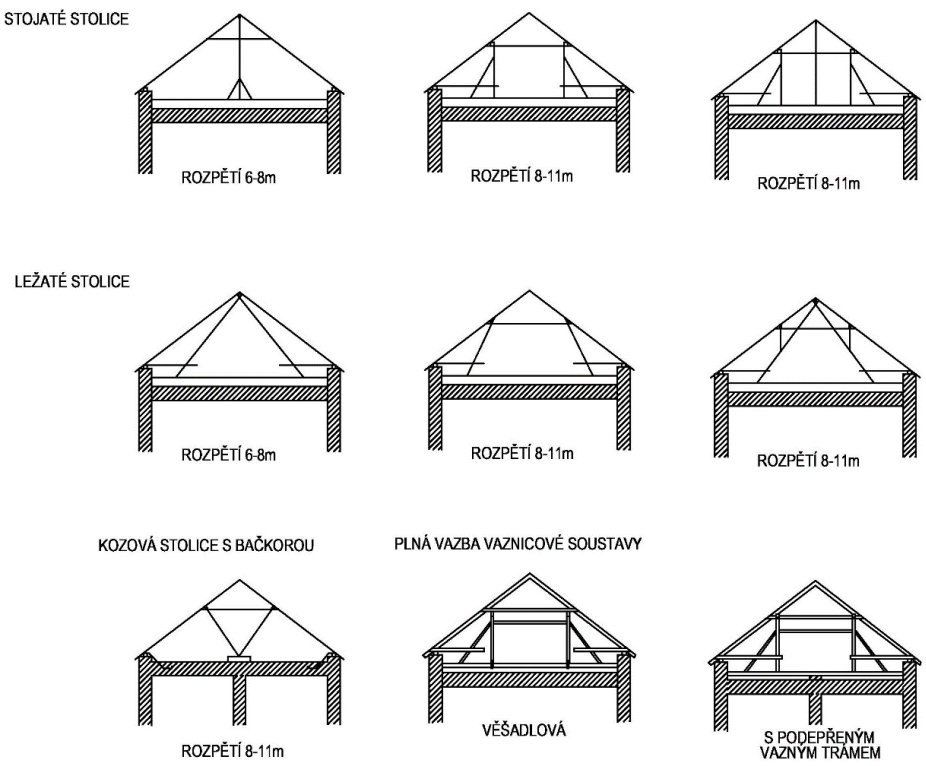
V obou případech jsou základními nosnými prvky krokve, tedy pár šikmých nosníků nakloněné podle sklonu střechy. U prosté krokevní soustavy je dvojice nosníků ve svém vrcholu vzájemně podepřena. Vzájemné spojení je kloubového typu, např. přeplátováním. V místě okapové hrany jsou podepřeny pozednicemi nebo vaznými trámy. Tato příčná vazba působí ze statického hlediska jako trojkloubový lomený nosník, ve kterém jsou krokve namáhány nejen ohybem ale i podélným osovým zatížením, které se v místě podepření rozkládá na vodorovné a svislé složky. Krokvové soustavy se hodí pro sedlové střechy do 30° sklonu s menším rozpětím. Pokud bychom chtěli dosáhnou většího rozpětí (až 12 m), lze tuto příčnou vazbu doplnit o hambálek, který zmenšuje

rozpětí krokví a zajišťuje příčné ztužení vazby. Hambálek lze do vazby připevnit buďto posuvně nebo napevno. Při posuvném hambálku je při zatížení umožněno vodorovnému posunu v jeho ose. U pevných hambálků je horní plocha zajištěna výztužným plnostěnným nebo příhradovým nosníkem, který se pevně spojí se štítovými nebo vnitřními stěnami. Také lze pro vytvoření výztužného nosníku použít deskový materiál (Kolb 2011; Straka 2013).

Soustava s posuvným hambálkem zajištuje menší namáhání krokví a deformaci soustavy. Ve vazbách, kde délka hambálku překračuje 6 m, lze využít jeho podepření sloupy nebo příčkami. Také lze využít podepření za pomocí diagonál které podpírají soustavu ve vrcholovém styčníku. V tomto případě se nám značně omezuje podkrovní prostor nad hambálky (Straka 2013).

Vaznicové soustavy

V této soustavě je pár krokví usazen na podélné nosníky – vaznice (pozednice, středové vaznice a vrcholové). Tyto nosníky přednášení svislá zatížení do svých pevných podpor – stěn, příček, sloupků nebo průvlaků. Krokve jsou spojeny s vaznicemi osedláním. Vaznicové soustavy mohou mít vazby s různým uspořádáním prutů – sloupků, vzpěr, roztěr nebo kleštin. Přidáním těchto prutů nám vnikají nové vazby, nejčastěji využívané jsou vazby podepřené stojatou nebo ležatou stolicí, vazby kozové, věšadlové, vzpěradlové nebo jejich kombinace. Na obr. 8 je uvedeno několik typů vazeb s použitím výše zmiňovaných prutů plných vazeb (Straka 2013).

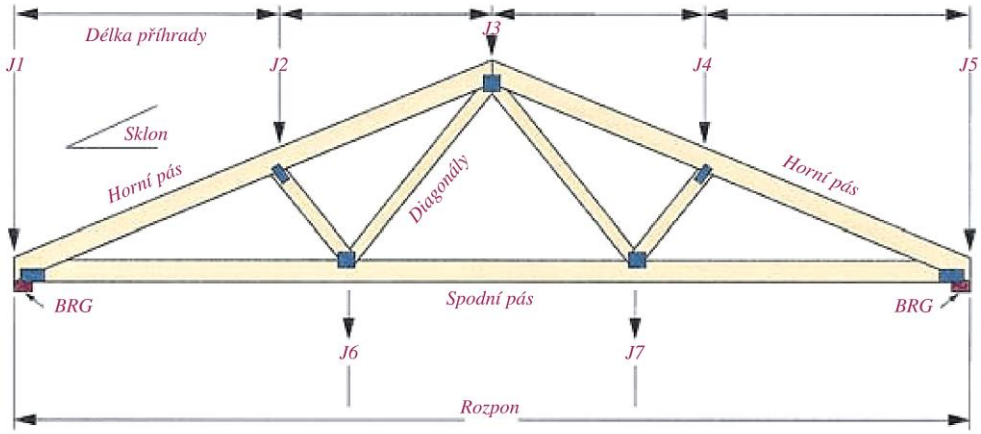


Obr. 8 Druhy provedení vaznicové soustavy (SPŠ stavební Opava 2012)

Vazníkové soustavy

V případě rodinných domů jsou vaznicové soustavy čím dál tím častěji využívanější alternativou tradičním dřevěným krovům. Jsou výhodné především z hlediska úpory materiálu, příznivé ceně, menší hmotnosti a rychlosti montáže. Nejčastější variantou vazníkové střechy pro obytné stavby jsou vazníky příhradové. Jsou velmi variabilní, co se tvarů, provedení a rozponu týče. Tímto nám vzniká nespočet možností konstrukce střechy s ohledem na typ krytiny, sklon, druh podhledu a dispoziční a architektonické požadavky. Hodí se pro konstrukci nejen šikmých a plochých střech, ale také stropů. Za hlavní nevýhodu lze považovat omezení ve vytvoření podkrovního prostoru, který lze ve vazníkovém krovu realizovat, ale nikdy ne v plnohodnotném rozsahu. V případě sedlových a valbových střech se nejvíce setkáme s tvarem vazníku do trojúhelníku nebo s tvarem lichoběžníku (Straka 2013).

Vazník tvoří horní a spodní pás, který vytvoří základní pevný trojúhelník viz. obr. 9. Ten je vypleten pomocí diagonál a svislic, které jsou vzájemně spojeny nejčastěji za pomocí styčníkových plechů s vystouplými trny, které jsou hydraulicky zalisované do dřeva. Je zde varianta jiných lisovacích plechů (hmoždinek), dále lepených spojů nebo spojů za pomocí hřebíků.



Obr. 9 Schéma příhradového vazníku (MiTek 2007)

Pro konstrukci vazníků se využívá hraněné řezivo měkkého dřeva, které je buďto v surovém stavu ošetřeno impregnací, nebo se může jednat o sušené hraněné řezivo, které ale značně zvedá finální cenu krovu. Nejčastější tloušťky prutů jsou 50–60 mm v běžných šířkách 80, 100, 120, 160, 180 mm s ohledem na funkci prutu, osové vzdálenosti vazníků, počtu podpor a zatížení. Je nutno neopomenout zatížení na spodním pásu, který často tvoří v rodinných domech nosný systém pro stropní pohledy. Vazníky se v této souvislosti běžně kladou v osových vzdálenostech 700–1250 mm, jsou kotveny ke zdvojenému hornímu pásu rámové stěny, nejčastěji za pomocí úhelníkových svorek, kotvících pásovin atd. V případě vzájemného napojování vazníků se používají kovové závěsy různých typů (MiTek 2007; Kolb 2011).

3.5 Skladby a uspořádání vrstev

Návrh skladeb je jedním z nejdůležitějších kritérii, které určují funkčnost stavby z dlouhodobější perspektivy. Se správnou skladbou, vhodnými materiály a celkovým provedením obvodových i vnitřních skladeb zajistíme příznivé vnitřní klima a podmínky pro bydlení, dlouholetou životnost a finančně nenáročný provoz budovy.

Tyto podmínky hlavně ovlivňují skladby obvodových plášťů, tedy střech, vnějších stěn, popřípadě podlah. Aby se zajistil správný vlhkostní režim konstrukce je nutné rozmístit jednotlivé vrstvy ve správném pořadí. Soustava obvodového pláště, by měla zajistit, aby se difuzní odpor směrem k exteriéru zmenšoval. V situaci nedodržení této zásady může při difuzi vodí páry konstrukcí dojít k nahromadění vlhkosti a její následné kondenzaci uvnitř pláště. To obecně může vést k tvorbě plísním, poklesu účinnosti tepelných izolací, k objemovým změnám nosných prvků až finálně ke ztrátě stability stavby. Pozornost je také třeba věnovat tepelným izolacím a jejich tloušťkám

a schopnosti izolovat. Provedení této izolační vrstvy ovlivňuje teplotu vnitřních povrchů obvodových konstrukcí, kde může docházet ke hromadění vlhkosti a vzniku povrchových plísní.

Z hlediska propustnosti vodních par konstrukcí rozlišujeme dva typy skladeb: difuzně uzavřenou a difuzně otevřenou. V obou případech je z hlediska vzniku vlhkostních defektů stěžejní provedení vzduchotěsné a parotěsnící vrstvy, o kterých je spolu s ostatními vrstvami pojednáno níže.

3.5.1 Difuzně uzavřená skladba

Je skladba konstrukce, při které je zabráněno difuzi vodních par (obecně vlhkosti) pronikat z interiéru do skladby konstrukce, kde by v případě rozdílné teploty došlo ke kondenzaci. Proniknutí je zabráněno celistvou vrstvou s vysokým difuzním odporem (μ), tzv. parotěsnou vrstvou, v praxi též nazývanou parozábranou, která je v konstrukci umístěna na straně interiéru viz. obr č. 10. Z toho důvodu se nutné zajistit dřevěný nosný rám konstrukční deskou z vnější strany, dojde ke ztužení rámu a celá stavba se v rané fázi stavby uzavře a ochrání se nosné prvky konstrukce. Vnější zateplení je většinou provedeno z polystyrenových desek as fasádní vrstvou omítky.

Difuzně uzavřená konstrukce má zajistit 100% uzavřenost vůči přechodu vodní páry, čehož v praxi lze jen těžko docílit. Vychází to především z velké náročnosti na provedení parotěsné vrstvy jako celistvé vrstvy bez přerušení. Vznikají tak veliké nároky na kvalitu provedení veškerých mechanických spojů, především u napojení obvodové stěny – strop, stěny – střecha apod. S uzavřeností obálky se váže nehybnost vzduchu vnitřního prostředí, proto se v těchto konstrukcích obecně doporučuje využití nuceného řízeného větrání (Růžička 2014).

Obr. 10 Příklad difuzně uzavřené skladby (vlastní zpracování)
1 – silikátová omítka, 2 – fasádní polystyren, 3 – OSB deska, 4 - nosný rám s minerální izolací, 5 – reflexní parotěsná fólie, 7 – instalační předstěna, 8 – sádrokartonová deska

Parozábrana

Mezi parozábrany se řadí takové materiály, které do jisté míry zajišťují těsnost vůči prostupu vlhkosti a zajišťují vzduchotěsnost obálky. Obvykle se jedná o plastové fólie s tkanou výztuží (mřížkou), které mají hodnotu ekvivalentní difuzní tloušťky $S_d \geq 1500$ m. Obecně je při výběru rozhodující faktor difuzního odporu, jehož hodnoty jsou od 100 000 až přes hodnoty 500 000. Existují fólie s hliníkovým povrchem, které patří mezi parozábrany s extrémní parotěsností. Hliníkový povrch má schopnost odrážet sálavé teplo reflektovat ho zpět do místnosti, ale pouze za přítomnosti vzduchové uzavřené dutiny o tloušťce alespoň 40 mm (Centrum pasivního domu 2020; Růžička 2014).

Parozábrana se instaluje mezi pohledovou část a nosnou část s izolací. Při její aplikaci se musí dbát na pečlivé napojení jednotlivých vrstev přeplátováním s min. překrytím 10 cm, pokud možno bez zbytečného pnutí. K zabezpečení plošné celistvosti se používá přelepení jednotlivých spojů parotěsnícími jednostranně nebo oboustranně lepícími páskami, které se využívají i v případě výskytu trhlin nebo v místech mechanických spojů, průchodek a v místech napojení oken a dveří v obvodovém plášti. Při napojování jednotlivých konstrukčních částí např. stěna – příčka, se doporučuje použít širších pásů, které se aplikují ještě před jejich mechanickým

spojením. Pro maximální ochranu parotěsné vrstvy je výhodné z hlediska ponechání její celistvosti, doplnit skladbu stěny o instalační předstěnou (viz. kap.3.5.4).

Skladba difuzně otevřená

Jedná se o skladbu konstrukce umožňující částečný přechod vodních par mezi interiérem a okolním prostředím. Tento prostup je regulován parobrzdou, která se nejčastěji v difuzně otevřených dřevostavbách vyskytuje v podobě vrstvy OSB desek (viz. obr), které jsou na vnitřní straně nosné konstrukce. Plní funkci ztužující, a stejně jako u parozábran by měli plnit funkci vzduchotěsnící. Správná funkce této skladby je podmíněna správným uspořádáním materiálu jednotlivých vrstev. Materiály by směrem k exteriéru měly mít hodnotu difuzního odporu klesající charakteru. Z tohoto důvodu se nejčastěji využívají prodyšné tepelné izolace jako minerální vata, dřevovláknité desky, celulóza apod. Jako výhodný fasádní systém se z hlediska zachování maximální difuzní otevřenosti jeví vnější fasádní prvky s provětrávanou mezerou (viz. kapitola 3.5.4).

Obr. 11 Příklad difuzně otevřené skladby (vlastní zpracování)
1 – dřevěný fasádní obklad, 2 – provětrávaná mezera s dřevěným roštem, 3 – hydroizolace s nízkým difuzním odporem, 4 – dřevovláknitá deska, 5 – nosný rám s minerální izolací, 6 – OSB deska (parobrzdná vrstva), 7 – instalační předstěna s minerální izolací, 8 – sádrokartonová deska

Parobrzda

Parobrzdy jsou materiály, které umožňují částečný prostup vodních par skrze konstrukci. Spadají sem materiály s nižší hodnou ekvivalentní difuzní tloušťky (hodnoty s_d<1500). Parobrzda, stejně jako parozábrana, se aplikuje do vnitřní části nosné konstrukce a měla by zajistit vzduchotěsnost obálky budovy.

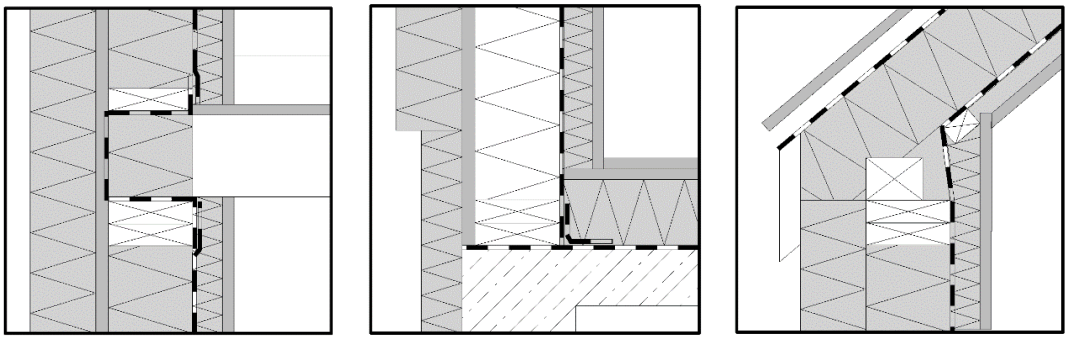
U rámových konstrukcí plní funkci parobrzdy nejčastěji deskové materiály jako jsou OSB desky, popř. MDF s hodnotami difuzního odporu 100–300 v závislosti na typu a tloušťky desky. Pro zajištění vzduchotěsnosti je výhodné použít desky s vyhotovením na pero a drážku, které se v místě spoje lepí trvale pružným tmelem a následně přelepují parotěsnou páskou. Stejně jako u použití fólie se musí dbát na precizní provedení, které zajistí plnou funkčnost této vrstvy. Narozdíl od použití fólií jsou deskové materiály odolnější vůči mechanickému poškození a z hlediska defektů jsou lépe kontrolovatelné (Hazura 2016; Slanina 2004).

3.5.2 Vzduchotěsné vrstvy

Vzduchotěsnost vyjadřuje schopnost obálky budovy nebo její částí propouštět vzduch, tedy čím méně vzduchu projde skrze konstrukci, tím je vzduchotěsnější. Vzduchotěsnost je důležitá především z pohledů šíření vlhkosti a tepelných ztrát, což obvykle vede k vlhkostním poruchám. Vzduch proniká konstrukci na základě tlakového rozdílu dvou odlišných prostředí (interiéru a exteriéru). Tyto tlakové rozdíly mohou být vyvolané na základě rozdílu teplot vnitřního a vnějšího prostředí, účinkem větru nebo větracího zařízení. Čím větší vzniká tlakový rozdíl, tím více vzduchu konstrukcí proniká.

Většina úniků vychází z netěsností, vznikajících z chyb a nedůslednosti kontroly v průběhu stavby. Zpravidla je jedná o netěsnosti v místě napojení spáry oken a dveří, spoje konstrukční částí strop – stěna, stěna – podlaha, stěna – střecha (viz. obr. 12), elektroinstalace a jiné prostupy, např. komínových těles. Na únik vzduchu může mít částečně vliv výběr špatného materiálu, který nezajišťuje v ploše požadovanou vzduchotěsnost, což lze v případě desek vyřešit dodatečnými nátěry.

Je nutné navrhnout systém vzduchotěsných opatření, které zahrnují hlavní vzduchotěsnou vrstvu (parozábrany nebo parobrzdy viz. kap) a dalších pomocná opatření, při kterých se využívají vzduchotěsné lepící nebo těsnící pásky, tmely a pro zajištění prostupů přechodky, manžety (Novák 2008).



Obr. 12 Napojení parotěsných vrstev konstrukcí (vlastní zpracování)

Testování a doporučené hodnoty

Vzduchotěsnost obvodového pláště se v ČR zjišťuje nejčastěji za pomocí Blowerdoor testu, jehož principem je umělé vytvoření tlakového rozdílu 50 Pa mezi vnitřním a vnějším prostředím, který zhruba odpovídá síle větru 10–13 m/s. Výsledkem tohoto testu je celková intenzita výměny vzduchu n_{50} [h^{-1}]. Doporučuje se splňovat podmínku $n_{50} \leq n_{50,N}$, tedy menší hodnoty než jsou doporučené viz tab. 1 (Centrum pasivního domu 2020).

Tab. 2: Doporučené hodnoty intenzity výměny vzduchu

Typ větrání budovy	$n_{50,N}$ [h^{-1}] úroveň 1	$n_{50,N}$ [h^{-1}] úroveň 2
Přirozené	4,5	3
Nucené	1,5	1,2
Nucené se zpětným získáváním tepla	1	0,8
Nucené se zpětným získáváním tepla, pasivní domy	0,6	0,4

Doporučené hodnoty jsou stanoveny na základě typu větrání budovy. U pasivních domů je to hodnota 0,6, což odpovídá maximální 60% výměně celkového objemu vzduchu za hodinu. Jedná se o hodnotu úrovně 1, která by měla být vždy splněna, přičemž hodnota úrovně 2 by se měla plnit přednostně. Přestože jsou tyto doporučené podmínky splněny, nelze v této souvislosti úplně vyloučit lokální nepříznivé situace.

Během testování a zjišťování lokálních defektů se doporučuje využít metody termodiagnostiky, kdy v kombinaci s Bloowerdoor testem dokáže získat kompletně tepelně technické informace a kvalitu provedení konstrukce (Mařík et al. 2014; Centrum pasivního domu 2020).

3.5.3 Provětrávané vzduchové mezery

Provětrávané vzduchové mezery se využívají v pláštích difuzně otevřených konstrukcí. Vzduchová mezera je ve formě dutiny mezi tepelnou izolací a vnějším opláštěním – fasádou. Je doplněna o nosné rošty, které jsou podkladem pro aplikaci fasádních prvků. Vzduchovou mezeru a tepelnou izolaci by měla dělit tenká vrstva fólie, která omezuje difuzi vodních par. V mezeře vzniká komínový efekt, který zabezpečuje odvod případné vlhkosti po obou plochách dutiny (z opláštění i izolace). V letních měsících provětrávaná mezera chrání objekt před nadměrným přehříváním postupným odváděním ohřátého vzduchu. Naopak v zimních měsících zlepšuje tepelně izolační vlastnosti izolačních vrstev. Obecně při správném provedení zajišťuje tepelnou pohodu v prostředí.

Účinnost provětrávaných mezer ovlivňuje rychlost proudění vzduchu, která je závislá především na šířce a délce provětrávané mezery, dále teplota ve vzduchové mezeře a poměr ploch přivádějících nebo odváděních otvorů k celkovému průřezu tloušťky větrané mezery. Negativní vliv na rychlost proudění vzduchu v mezeře má lokální zúžení průřezu mezery po její délce, přičemž se zvyšuje s šířkou vzduchové mezery. Optimální šířkou mezery s největší rychlostí prodění vzduchu je tloušťka 40 mm, přičemž by se mělo apelovat na zachování její šířky v celé její výšce (Šagát et al. 2013; ISOVER.cz 2023).

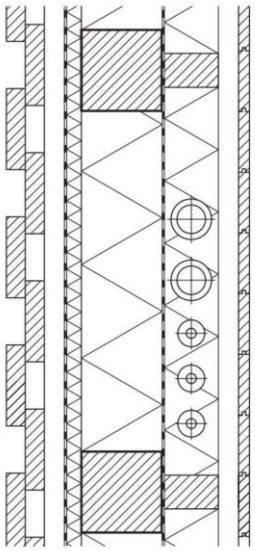
Také výběr fasádních obkladů může mít zásadní vliv na rychlosti proudění a teplotu vzduchu v dutině. V situaci, kdy použijeme menší fasádní prvky, vznikají mezi nimi otevřené mezery, je nutné počítat s narušením komínového efektu a zvýšením teploty v provětrávané mezeře. Se stejným efektem lze počítat použití velkoformátových fasádních panelů s perforacemi (Plachý et al. 2014).

3.5.4 Instalační předstěny

Obvodové stěny mohou v závislosti na typu použití vrstvy s difuzním odporem doplněny o instalační předstěnu. Ta slouží jako vrstva pro rozvod vodovodního, odpadního potrubí, elektroinstalačních kabelů a krabic. Nachází se v konstrukci stěny na straně interiéru hned za vrstvou s difuzním odporem, tedy vrstvou parotěsnou nebo parobrzdnou. Bývá zhotovena v dřevěného roštu – latí, které je z hlediska instalace potrubí výhodnější vést vodorovně, ale možnost vedení je i svisle. Tloušťka vrstvy je dána tloušťkou latí, respektive největší šířkou potrubí, která bývá 30, 40 nebo 60 mm. Prostory mezi latěmi mohou být doplněny o další vrstvu izolace, přičemž u stěn je ekonomičtější variantou nechat mezeru bez izolace a posílit izolaci v místě nosné konstrukce. Nosný rošt se pravidla zaklopen sádrovláknitou nebo sádrovláknitou

deskou, přičemž jednotlivé latě roštu by měly být v rozestupech s ohledem na formáty desek.

Zásadní výhodou použití instalační předstěny je eliminace prostupů vzduchotěsnou rovinou konstrukce. Za nevýhodu lze považovat zmenšení vnitřního prostoru a větší finanční náklady, které s přibývajícím materiálem narůstají (Kolb 2011; Růžička 2014).



Obr. 13 Řez instalační rovinou stěnové konstrukce (Steiger 2017)

3.5.5 Tepelněizolační vrstva

U rámových staveb se hlavní izolační vrstva nachází mezi dřevěnými prvky hlavních nosných konstrukcí. Za účelem zlepšení tepelněizolačních vlastností obálky je konstrukce obohacena ještě doplňkovou izolační vrstvou, která se nachází na vnější straně konstrukce, většinou ve směru kolmém na hlavní izolační vrstvu. Doplňková izolace je důležitá především kvůli rozdílné tepelné vodivosti izolačních a nosných materiálů, kdy dřevo je přibližně 4x větším vodičem tepla než izolace. Přidáním této vrstvy zamezíme tepleným ztrátám skrze slabá místa obálky – tepelné mosty. Doplňkové izolační vrstvy je třeba z vnější strany doplnit o ochranou vrstvou, která tepelnou izolaci ochrání před promočením a kompletně uzavírá tuto vrstvu. Ta může být ve formě folií nebo desek, jejichž vlastnosti musí korespondovat se skladbou obálky. Tato vrstva by měla mít nejmenší hodnotu difuzního odporu (Kolb 2011).

U tepelných izolací je stěžejní vlastností jejich tepelná vodivost, tedy schopnost vést teplo z vnitřního teplého prostředí do chladného vnějšího prostředí. Tuto schopnost vyjadřuje tzv. součinitel tepelné vodivosti λ, který odpovídá nejlepším izolačním vlastnostem při svých nízkých hodnotách. Tedy čím méně materiál je schopný vést teplo,

tím lepším je izolantem. Na schopnost izolovat má také vliv objemová hmotnost, pórovitost a vlhkost materiálu, kdy za zvyšování vlhkosti materiálu se izolační schopnost zhoršuje. Nejčastěji se tepelné izolace v rámových stavbách vyskytují ve formě desek, rohoží nebo ve formě vloček. Je nutno dbát na vyplnění všech prostor bez spár, což může být problémem u tužších desek, ale také u pružných rohoží a foukaných izolací, které mají tendenci časem sesedat. Pro zajištění funkčnosti je tedy, ostatně jako u všech vrstev obálky, nutné kvalitní provedení (Kolb 2011; Růžička 2014).

Druhy tepelných izolací

Již bylo zmíněno, že tepelné izolace se využívají ve formě desek, rohoží nebo sypkých vloček, granulátů apod. Z hlediska materiálů je můžeme rozdělit na pěno plastické materiály (polystyreny a polyuretanové pěny), pěněné silikáty (pěnové sklo), vláknité materiály (minerální, skelná nebo ovčí vlna), minerální materiály (expandovaný perlit, vermikulit), organické materiály (dřevovláknité desky, celulóza) (Janíček 2017). Níže je uvedeno použití jednotlivých materiálů a jejich vlastností.

EPS

Izolace expandované polystyrenu se nabízí ve formě desek, různých velikostí a tlouštěk. Odolávají teplotám až 100 °C, bez statického zatížení s krátkodobém působením. s dlouhodobějším zatížením odolávají teplotám 75–80 °C a zároveň jsou odolné vůči extrémním mrazům. Při objemových hodnotách 15–30 kg/m3 se faktor difuzního odporu (μ) *se* pohybuje v hodnotách 20–100. Na hodnotách objemové hmotnosti závisí i součinitel tepelné vodivosti (λ), který má nejlepší hodnotu 0,028 W/mK při 30–5 kg/m3. EPS spadá do kategorie těžce hořlavých materiálu, přesto že je doplněn o retardéry hoření. Proto se používá do konstrukcí bez speciálních požárních požadavků.

Používá se jako kontaktní zateplení vnějších stěn, pro šikmé i rovné střechy, izolaci půdních prostor a stropů. Z hlediska UV stability je nutné tuto izolaci používat s krycími vrstvami, který ochrání povrch izolace před degradací (EPS ČR 2012).

XPS

Extrudovaný polystyren se v zásadě liší od EPS polystyrenu uzavřenou buněčnou strukturou, je homogenní a má jinou barvu. Také má lepší mechanické vlastnosti především v pevnosti v tlaku. Jedná se o minimálně nasáklivý materiál, který se hodí do trvale vlhkých prostředí. Disponují ale horšími požárními a akustickými vlastnostmi a oproti EPS mají vyšší cenu.

Používají se ve formě desek s hladkým nebo drážkovaným povrchem, opatřeny po obvodě polodrážkou. Desky o objemové hmotnosti 33 kg/m^3, při faktoru difuzního odporu 80 až 200. Hodnoty λ se pohybují od 0,035–0,038 W/mK. Nejčastěji si u dřevostaveb vyskytují jako izolace spodních staveb, nebo inverzních a šikmých střech (Chaloupka a Svoboda 2009; Růžička 2014).

PUR a PIR

Polyuretanové a polyisokianurátová izolace jsou používané buďto ve formě desek, nebo stříkaných nebo litých vrstev. Polyuretanové izolace mohou být buďto měkké s objemovou hmotností 6-10 kg/m^3 s menším difuzním odporem (μ=3) nebo tvrdé s objemovou hmotností 40–65 kg/m^3 s vyšším difuzním odporem μ>100. Odolávají vysokému tlaku i vysokým teplotním výkyvům. Při své nízké hmotnosti vykazují i při menších vrstvách dobrých tepelně izolačních vlastností. Součinitel tepelné vodivosti je 0,020–0,036 W/mK. Mají vysokou pevnost v tlaku, při vzniku požáru se netaví (netečou) a díky uzavřené struktuře není schopný nasávat vlhkost. Stříkaná forma této izolace dobře přiléhává k podkladu a vyplňuje veškeré spáry, což zamezuje vzniku tepelným mostům.

Lze použít k lokálnímu vyplnění, špatně dostupných prostor, stropů a střech, stěn apod. Výhodné jsou z hlediska rekonstrukcí, kde nezatěžují nosnou konstrukci (Vaverka et al. 2008; Houška 2015).

Pěnové sklo

Pěnové sklo je vyráběné ze skla a uhlíku, Pěnové sklo najdeme ve formě desek nebo sypkého granulátu různých frakcí, které bývají stejné jako u běžného kamenného štěrku. Deskové materiály jsou v objemových hmotnostech 120–190 kg/m3 se Součinitel tepelné vodivosti je 0,020–0,036 W/mK. Deskový materiál je nenasáklivý, nehořlavý a téměř nestlačitelný a snadno opracovatelný běžnými nástroji na dřevo. Vzniká tedy příležitost snadného přizpůsobení specifických tvarů, např. snadno utvořit spádové desky. Granulát oproti deskám má nízký difuzní odpor, a jeho součinitel tepelné vodivosti dle frakce se pohybuje 0,077–0,08 W/mK.

Kvůli velké odolnosti v tlaku se používá pro místa nutná zateplení s trvalým velkým zatížením, např. bazény, pakovací místa. Také ale pro zateplení podlah, spodních základových konstrukcí suterénů. Granulát se využívá jako podloží tzv. plovoucích základových desek (PITTSBURGH CORNING EUROP 2008; DEK a.s 2023).

Skelné a kamenné vaty

Jedná se o kategorii vláknitých minerálních izolací, které jsou vhodné pro dřevostavby svou stálostí, nehořlavostí, nižším difuzním odporem a svou snadnou aplikací. Aktuálně jsou nejpoužívanějšími osvědčenými izolacemi rámových staveb. Mají dobré uplatnění nejen jako tepelně a požárně ochranné izolace, ale také jako akustické. Zhotovují se ve formě tužších nebo měkčích desek. Lze je najít ale i v rolích nebo rozvlákněné. Skelné a čedičové vaty se používají jako izolace stěn, příček, stropů a střech neb jako izolace rozvodů a potrubí. Nejsou vhodné pro použití s trvalým výskytem vysoké vlhkosti a neměla by se aplikovat do míst, kde dochází k přímému kontaktu se zeminou. Skelné vaty mají menší objemovou hmotnost (8–20 kg/m3) oproti čedičovým (20–200 kg/m3), proto disponují horšími akustickými vlastnostmi. Oproti čedičovým vláknům mají skelná vlákna menší teplotu tání a obsahují více organických přísad, díky čemuž se nepoužívá jako protipožární prvek (Vaverka et al. 2008).

Celulóza

Celulóza je izolace vyráběná drcením recyklovaného papíru, se kterým se mísí chemické přísady, které plní odpuzující prvek pro hlodavce a hmyz. Součinitel tepelné vodivosti je 0,037 W/mK. Celulóza má nízkou hodnotu difuzního odporu (μ = 3), proto umí dobře distribuovat vlhkost a hodí se zejména jako hlavní izolace difuzně otevřených konstrukcí. Tam plní i optimální protihlukovou vrstvu s vyšší úrovní protipožární ochrany. Aplikuje se sypáním nebo foukáním do vodorovných a svislých konstrukčních částí. T jsou oboustranně uzavřeny, aby utvořily uzavřenou dutinu, která je opatřena aplikačními otvory. Skrze ně se aplikuje izolace do všech potřebných dutin a ploch, přičemž lze lokálně korigovat v průběhu její objemovou hmotnost. Oproti ostatním běžně používaným materiálům, nevznikají v době aplikace žádné zbytkové odřezky nebo podobný odpad. Při nesprávném provedení vzniká riziko sesedání izolace a s tím nutnost dofoukání, pro takové případy je lepší mít aplikační otvory snadno přístupné. Také v případě vystavení kapalné vodě se izolace plně nasytí, nabobtná a už se po vyschnutí nevrátí do původního stavu, takovou část je nutné zcela vyměnit (Růžička 2014; ISOCELL GmbH & Co KG 2023).

Dřevovláknitá izolace

Spadají do obdobné kategorie jako celulóza – izolace z přírodních obnovitelných materiálů. Jsou vyráběny rozvlákněním dřevní hmoty a lisovány do desek nebo rohoží, v průběhu mokrého nebo suchého procesu výroby. V závislosti na využití jsou k dispozici v různých provedením a objemových hmotností. Objemová hmotnost rohoží se pohybuje v rozmezí 50–60 kg/m3 a u pevnějších desek je to 140–160 kg/m3.

Podobně jako celulóza umí tento materiál dobře zacházet s vlhkostí, proto je také vhodná pro difuzně otevřené skladby. Mimo dobré tepelněizolační schopnosti (λ = 0,036–0,048 W/mK) má i příznivé akustické vlastnosti. Za nevýhody lze považovat složitější práci při instalaci desek a jejich vyšší cena (STEICO 2023). Tyto desky společně s celulózou jsou běžně představovány jako šetrné k životnímu prostředí, ekologické, o tom by se ale vhledem k jejich energetiky náročné výrobě dalo polemizovat. Jako ekologický materiál bychom je měli brát spíše ze strany zdravotní nezávadnosti a výsledné úspoře energie během užívání stavby, do které byly aplikovány.

Alternativní přírodní izolace

Dnes trh nabízí řadu přírodních izolací z konopí, slámy, lnu, bavlny nebo například ovčí vlny. Tyto izolace jsou ve formě lisovaných bloků, desek nebo plstí. Mají sami o sobě dobré tepelně izolační vlastnosti, ale aby splňovali běžné požadavky na protipožární ochranu a ochranu proti hmyzu, jsou k těmto materiálům doplňovány chemické přísady jako retardéry hoření a odpuzovače hmyzu a hlodavců (jak je tomu např. u celulózy). Řada z vyjmenovaných materiálu má ale řádově vyšší cenu, než je tomu např. u polystyrenu. Cenově nejvýhodnější je izolace ze slámy, která je odpadem zemědělské produkce. Tu je ale pro dosažení lepších tepelněizolačních vlastností lisovat pod větším tlakem a ve větších tloušťkách. Taková izolace má běžně velké objemové hmotnosti, je s ní horší manipulace a zvětšuje nám tloušťku obvodové zdi (tedy zmenšuje obytný prostor) (Růžička 2014; Narrative Media s.r.o. 2023).

3.6 Rámové lehké konstrukce z hlediska výroby

Výroba dřevostaveb může probíhat různými způsoby, přičemž se odvíjí od zvoleného konstrukčního systému, výrobních možností a montážních prostorů. V případě absence výrobních prostor se samotná výroba zahajuje přímo na místě stavby. Další možností je zahájení výroby dřevostavby ve výrobních halách, kde je možnost využití určité předvýroby neboli prefabrikace stavebních dílů, stavebních prvků stavby, či objemových částí domu. Výrobu z tohoto hlediska lze rozdělit na:

- Prvkovou výrobu
- Panelovou výrobu
- Modulární výrobu

3.6.1 Prvková výroba

Zahrnuje výrobu jednotlivých prvků konstrukce, které jsou následně kráceny, opracovány a smontovány do požadovaných konstrukčních celků – stěn, podlah, stropů. Jedná se o základní princip výroby bez využití jakékoliv prefabrikace, u kterého počíná výroba přímo v místě stavby, kde dochází ke všem výše zmiňovaným úkonům až po finální dokončení stavby. Jednotlivé spoje se realizují natupo za pomocí hřebíků. Ke smontování rámu dochází ze vodorovné poloze na základové desce. Celý rám se poté vztyčí do svislé polohy a dočasně se zavětruje Výroba je časově náročná, ovlivňována klimatickými podmínkami a náročná na uskladnění a zabezpečení materiálů na stavbě. S dlouhým časem výroby se vážou i větší náklady na montážní práce.

Pro zvýšení efektivnosti prvkové výroby, lze využit tzv. PRECUT systém, který spočívá v přípravě jednotlivých dílců ve výrobním závodě (pokud je k dispozici), kde se strojně krátí na požadované délky dle projektové dokumentace a následně jsou prvky převezeny na stavbu, kde dochází k jejich kompletaci na základové desce. Tyto prvky mohou být ve výrobě předem i doplněné o případné vrtání, dlaby či čepy v závislosti na možnosti využití technologií. Využitím PRE-CUT systému lze docílit větší efektivnosti práce na stavbě, kam mohou být dopravené, pro větší přehlednost, v roztřízených balících označené např. dle místa jejich použití – stěny, stropu nebo střechy apod (Nyrud et al. 2011).

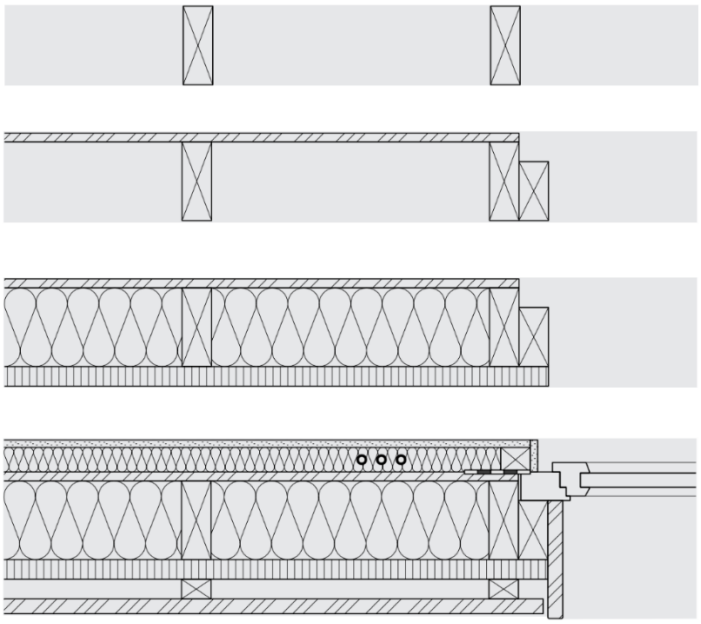
3.6.2 Panelová výroba

Jedná se o způsob výroby, kde dochází k přípravě minimálně jedné plošné části nosného celku (stěny, podlah, stropu, střechy) ve výrobní hale. Nejprve dojde k nařezání jednotlivých prvků na požadované délky s opracováním, které se montují dle výrobní dokumentace na montážních stolech ve vodorovné poloze do celých konstrukčních prvků – panelů – s připraveným vyrámováním v místě oken a dveří. V tomto případě se jedná o nižší stupeň prefabrikace, kde jsou přepravené na staveniště celé rámy, které se usazují na připravené základové prahy a nadále se vzájemně spojují, oplášťují a izolují.

V případě panelové výroby s vyšší stupněm prefabrikace jsou dále rámové panelové prvky doplněny o další vrstvy konstrukce, v prvotní řádě o konstrukční desky, které zajišťují celkovou tuhost rámové konstrukce. Rámy jsou na montážních stolech na jedné své ploše doplněny o naformátované desky s požadovanými přesahy a otvory. V tomto stavu mohou být již dopraveny na místo stavby, kde se pokračuje s dalšími pracemi až do fáze dokončení stavby.

V těch nejvyšších stupních prefabrikace panelů jsou rámy ve výrobě oboustranně uzavřeny a doplněny o další vrstvy konstrukce dle požadovaných skladeb, zahrnující tepelně izolační vrstvy, folie, rošty atd. V takové podobě kompletně vybavené panely s již integrovanými okny a dveřmi, přípravami na technické vybavení budovy a finální fasádou viz. poslední panel obr. 14. Výrobu opouští kompletní panelové prvky, které se na stavbě usazují na připravené základové prahy a spojují se k sobě. Je nutné dbát na přesnost předvýrobních a výrobních plánů, kde je nadále ve výrobě zapotřebí dodržet předurčené pozice a rozměry otvorů, délky přesahů vrstev sendviče, aby byla na staveništi zabezpečena plynulá montáž stavby. Případné nepřesnosti vedou, ke zdržení samotné montáže a mnoho z nich už v téhle fázi lze jen těžko opravit.

S použitím vyššího stupně prefabrikace se zkracuje doba montáže na staveništi, ale zvyšuje se potřeba těžké techniky. Je nutné v případě spojování panelů pečlivě provádět napojení vzduchotěsných vrstev, přestože je to v tomto stupni dokončení stěny značně problematické (Kolb 2011; Nyrud et al. 2011).



Obr. 14 Varianty zhotovení panelové konstrukce v různých fázích dokončení (Kolb a Koželouh 2011)

3.6.3 Modulová výroba

Modulová výroba spočívá ve výrobě prefabrikovaných částí domu, které se na výrobních halách smontují do jednoho celku. Většinou se jedná o hotové domky nebo části domu, jejich součástí jsou instalované rozvody elektřiny a vody, popř. topné zařízení. Bývají zhotoveny s finálními vnějšími i vnitřními povrchy, podlahovou krytinou

a vybavené kuchyní a sanitárním zařízením. V této formě jsou následně převezeny na stavbu a usazovány na připraven základy, zpravidla betonových patek.

Moduly jsou zhotovovány ve výrobním závodě ve formě rozměrově omezených celků většinou obdélníkového tvaru. Za ekonomicky výhodné rozměry z hlediska manipulace a dopravy lze považovat moduly šířek do 4 m s délkou do 20 m. Rodinné domy sestávají z několika takových modulů, které jsou kladeny vedle sebe nebo případě vytvoření dalšího nadzemního podlaží se pokládají na sebe. Dispoziční a rozměrové řešení rodinných staveb je značně omezené kvůli častému unifikování modulů, které ještě více urychluje výrobní procesy, ale neumožňují rozsáhlou realizaci individuálních požadavků.

Stejně tak jako panelová výroba se výroba modulů neobejde bez prostorného zázemí s nutností větších manipulačních prostor, s použitím speciálních dopravních a zdvihacích prostředků. Před přepravou na stavbu je nutné si stanovit způsob napojování modulů, aby se v průběhu výroby doplnil o případné přepravní vzpěry nebo i celé stěny a kapsy pro uchycení (Nyrud et al. 2011; Svoboda 2023; pro Holz Austria 2013).

4 Shrnutí

Z literární části vyplývá, že u výstavby nosných částí rámových konstrukcí dřevostaveb, je stěžejní rozmisťování jednotlivých sloupků, jejichž vzdálenost se odvíjí od míry zatěžování konstrukce, formátů navazujících vrstev a výskytu výplňových otvorů. Správný návrh nosné konstrukce je do jisté míry zaručen, při dodržování osvědčených postupů při navrhování dimenzí, konstrukčních spojů, řešení rohů a napojování navazujících podlaží, kdy musí být zajištěna celistvost a stabilita konstrukce.

Do návrhu konstrukce je nutné dále zahrnout i návrh jednotlivých skladeb, které by měly být řešeny s ohledem na to, jestli je zvolena skladba difuzně otevřená nebo uzavřená. Především u řešení obvodových plášťů je důležitá volba materiálů a jejich pořadí. Primárně je ale správné fungování podmíněno precizností provedení jednotlivých vrstev, kdy je nutné z hlediska vlhkostních defektů a tepelných ztrát zajistit vzduchotěsné napojeni jednotlivých konstrukčních částí.

5 Metodika

Tato práce se zabývá primárně návrhem rodinného domu pro celoroční užívání. Součástí návrhu bylo vypracování realizační dokumentace stavby včetně technické zprávy. Na základě projektové dokumentace byla vytvořena výrobní dokumentace konstrukčních částí domu. Součástí je také tepelně technické posouzení konstrukčních skladeb z hlediska stavební fyziky a statické posouzení konstrukčního prvku a jeho spojů.

Návrh stavby byl vytvořen na základě požadavků investora, podle kterých bylo uzpůsobené dispoziční a materiálové řešení stavby. Dokumentace návrhu byla zpracována v programu ArchiCad (Graphisoft SE), ve kterém byly zpracovány situační výkresy a Architektonicko-stavební řešení, včetně vypracování konstrukčních detailů. Návrh byl vypracován v souladu s obecnými požadavky obytných budov.

Realizační dokumentace nadále sloužila jako podklad pro vypracování dílčí výrobní dokumentace, která byla zpracována v softwaru SEMA verze 2022 (Sema Software GmbH, SRN), kde se postupovalo od spodních části stavby, základových prahů, přes stěny až po rovinu pozednic. Byl vytvořen ucelený model nosné konstrukce, ze kterých byly vytvořené výrobní půdorysy těchto tří rovin a pohledové výkresy jednotlivých stěn. Při projektování této výrobní části bylo využito automatického přepočítávání jednotlivých stěnových prvků, kterému předcházelo nastavení stěnových elementů, jejich opracování, rozteče a jiné. Výstupem programu je mimo výrobních výkresů také souhrnný seznam dílců, ze kterého byla utvořen výstup pro CNC vybraného prvku.

Konstrukční část střechy a její výrobní výkresy byly zpracovány v programu MiTek Pamir verze 2022.1c (MITEK INDUSTRIES, spol. s r.o., CZE), který mimo návrhu konstrukce umožňuje i jejich statické zhodnocení dle podmínek stanovených na základě charakteru stavby a jejího umístění. Dle půdorysných rozměrů a sklonů byly vytvořené střešní roviny, do kterých byly navrhnuty vazníky různých druhů, dle jejich pozice. Po rozměrovém návrhu vazníků byl proveden návrh jednotlivých styčníkových desek. Střešní konstrukce byla doplněna o ztužující prvky střechy v různých rovinách střechy. Jeden vazník střešní soustavy, byl v závislosti na zadaných datech staticky posouzen, včetně jeho spojů v souladu s platnými normami Eurokódu 5.

Pro komplexnější provedení návrhu stavby byl také proveden tepelně technický posudek navrhovaných skladeb obvodových plášťů. Posouzení bylo provedeno v programu Teplo, kam byly zaneseny data jednotlivých vrstev s uvedenými tloušťkami, pozicí ve skladbě a stanoveny okrajové podmínky. Posudek byl v rámci této práce

vypracován pro tři skladby obvodových plášťů. Vyhodnocení bylo provedené dle normy ČSN 73 0540-2 a výsledné protokoly budou součástí příloh.

V rámci práce byl vypracován předběžný rozpočet na základě vypracované projektové dokumentace. Pro výpočet ocenění byl využit modul KUBIX prostřednictvím přístupu programu DEKSOFT – rychlé ocenění ÚRS. Výpočet byl proveden na základě informací o konstrukčních systému budovy, obestavěného prostoru, materiálového řešení, podílu prosklených ploch, energetického standardu, technického vybavení apod. Do rozpočtu jsou započteny i základní rozpočtové náklady stavby.

5.1 Návrh rodinného domu pro celoroční užívání

Na základě požadavků investora byla navržena dřevostavba s konstrukčním systémem rámové sloupkové konstrukce se založením na základové desce. Konstrukce je navržena s difuzně otevřenou skladbou v nízkoenergetickém standardu. Stavba bude sloužit čtyřčlenné rodině, která stavbu budou trvale využívat. Investor zvláště požadoval zřízení pracovního odděleného zázemí, společné obývací části spojené s jídelnou a kuchyní a přítomnost dvou záchodových mís. Dalšími požadavky byly větší prosklené plochy, ze kterých bude umožněn přímý vstup do zahrady. Objekt je navržen jako bungalov do tvaru L se sedlovou střechou, která je řešena z příhradových vazníků. Podstřeší není trvale ani přechodně vytápěno a není zde vytvořen užitný půdní prostor.

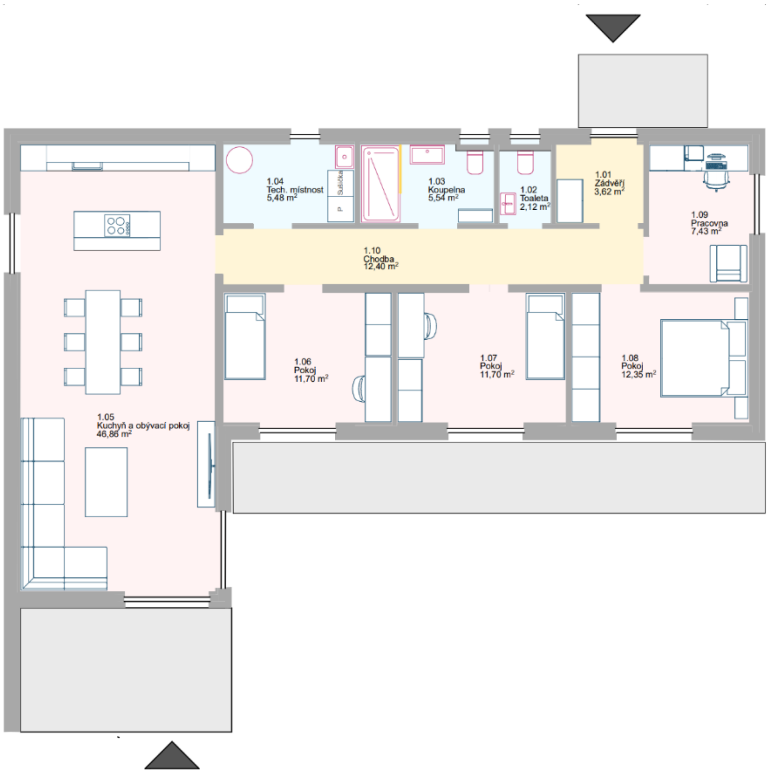
Obr. 15 Umístění objektu na pozemku (vlastní zpracování)

Objekt se nachází na pozemku č. 275/2, v obci Hlubany, katastrální území Podbořany. Umístění stavby a její orientace se odvíjela od světových stran a možnosti zřízení přístupů z dosavadní komunikace a s přihlédnutím na požadované rozestupy od hranic pozemku. Proto byl objekt umístěn do severní části pozemku,

5.1.1 Dispoziční řešení stavby

Objekt je řešen jako přízemní v dispozici 5+1. Hlavní vstup do budovy je umožněn ze severní části budovy přímo do zádveří. Další přístupy jsou umožněny skrze francouzské dveře v jižní části objektu, které přednostně umožňují vstup do obytný pokojů. Společná obytná část se nachází v západní části objektu, ze které je přímý vstup na zastřešenou terasu. V severní části se nachází technická místnost, koupelna s toaletou a oddělená toaleta. NA severní část je situovaná také pracovna, která bude sloužit i pro osobní schůzky. Nedílnou součástí objektu je chodba nacházející se přímo v jeho středu a je y ní umožněn vstup do všech místností.

K domu jsou zamýšleny dvě terasy v jižní části objektu, ze kterých bude umožněn vstup do zahrady, přičemž jedna z teras bude zastřešena. Konstrukce terasy není řešena v rámci této dokumentace a není součástí dodávky domu. Na obr. 16 je vyobrazena dispozice objektu.



Obr. 16 Dispoziční návrh rodinného domu

5.1.2 Konstrukční řešení a montáž

Objekt je řešen jako rámová sloupková konstrukce z konstrukčních KVH hranolů se zastřešením z příhradových vazníků, které budou z rostlého impregnovaného řeziva min. pevnosti C24. Konstrukce a její výroba bude uzpůsobena montáži, která bude částečně probíhat ve výrobních hale a na staveništi. Ve výrobní hale dojde k opracování

konstrukčních prvků, následně smontování střešních vazníků a jednotlivých konstrukčních rámů stěn. Na staveništi dojde k usazení základových prahů, na které budou za pomocí zdvihací techniky usazovány celistvé stěnové rámy. Na ty nadále budou jednotlivě usazeny věncové fošny, na které budou usazené příhradové vazníky. Ostatní práce na konstrukci budou probíhat na místě stavby až do fáze jejího dokončení.

5.1.3 Navrhované skladby

Dřevostavba je z hlediska difuzní propustnosti navržena jako difuzně otevřená v nízkoenergetickém standardu, kdy dosažení hodnot pasivního standardu by bylo výhodou.

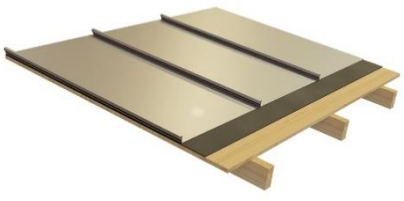
Investor chtěl volit kompaktnější vzhled budovy, proto byl navržen ucelený fasádní a střešní systém Prefalz od výrobce Prefa (PREFA Aluminiumprodukte GmbH, AT) s kombinací dřevěné fasády. Celkově v rámci stavby bylo navrženo osm skladeb, které jsou blíže definovány v této kapitole.

Střešní skladba

S ohledem na charakter střešního podkroví, které je nevytápěné, neužitné a odvětrávané, byla zvolena jednoduchá skladba střechy. Tu tvoří pouze horní pásnice příhradových vazníků, na které je položen záklop z prken min. tloušťky 24 mm a max. vlhkostí 20 %, který slouží jako hlavní podklad pro kotvení krytiny. Nadále je položena vrstva pojistné hydroizolační vrstvy, která zajistí, aby nedošlo ke kontaktu případné vody s prkenným záklopem, vyrovnala drobné nerovnosti povrchu a zabránit případnému škodlivému vlivu impregnačních prostředků prken na hliníkovou krytinu. Na hydroizolační vrstvu je položena falcovaná plechová krytina systému Prefalz. Krytina bude ze svitkových plechů šířky 500 mm, tloušťky 0,7 mm, v odstínu RAL7043.

Tab. 3 Navrhovaná skladba střešní konstrukce (vlastní zpracování)

Vrstva (směr exteriér – půda)	Tloušťka [mm]
Svitkový plech PREFALZ	0,7
Doplňková hydroizolační vrstva	–
Prkenný záklop	24
Horní pás příhradového vazníku	120
Celkem	**145**



Skladby svislých konstrukcí

Svislé konstrukce zahrnují obvodové nosné stěny a vnitřní nenosné i nosné stěny. S ohledem na zvolený konstrukční systém a charakter stavby byly zvoleny skladby zabezpečující správný vlhkostní režim, dostatečnou tepelnou ochranu a tepelnou pohodu uvnitř konstrukce.

Skladby obvodových stěn

Byly navrženy dvě skladby obvodových stěn tvořící ochranou obálku budovy. Tyto skladby se liší od vrstvy za vnější doplňkovou izolací. V jednom případě je použit fasádní falcovaný plech s provětrávanou mezerou a v druhém případě dřevěný obklad s rozestupy max. 30 mm mezi sebou na dřevěném přiznaném roštu.

Obě skladby se sestávají z hlavní nosného rámu, který je v dutinách doplněn o vrstvu hlavní izolační vrstvy z čedičové izolace Isover Uni. Směrem k interiéru je tato vrstva opatřena vrstvou OSB desek, které svislé kladeny na nosné sloupky stěnového rámu. Spáry jsou přelepeny vzduchotěsnou páskou, aby bylo dosaženo vzduchotěsnosti. Tato vrstva slouží i jako vrstva regulující prostup vodních par z vnitřního prostředí do vnějšího. Pro zachování celistvosti této vrstvy byla dále zvolena instalační předstěna, kterou tvoří laťový vodorovný rošt s dodatečnou izolační vrstvou Isover Aku (Saint-Gobain Construction Products, CZ). V této vrstvě budou vedeny rozvody vody, odpadu a elektroinstalace s využitím dalších izolačních materiálu potrubí. Instalační předstěna je zaklopena sádrovláknitou deskou Fermacell (James Hardie Europe GmbH), jejíž povrch bude přetmelen, broušen a natřen bílou malbou. Od nosného roštu směrem k exteriéru je rám opatřen doplňkovou izolací Isover Fassil, který je kladen na vodorovný nosný rošt. Tato vrstva bude zajištěna difuzní fólií.

U fasády s dřevěným obkladem bude použita černá difuzní fólie, která bude tvořit kontrast s dřevěnými prvky. Dřevěný obklad bude připevněn na dřevěné latě, které budou natřeny černou barvou, pro jejich minimální viditelnost.

V případě plechové fasády, je využito provětrávané mezery, která má zabezpečit nepřehřívání obálky budovy a odvod případné vlhkosti a vody tvořící se na povrchu fólie. V provětrávané mezeře je veden svislý rošt z latí. Ten je opatřen záklopem z prken, který jako v případě střechy, tvoří podklad pro svitkové fasádní plechy. Ty jsou spojované dvojitou stojatou drážkou a jsou ve stejném odstínu jako střešní systém.

Tab. 4 Navrhovaná skladba vnější stěny s dřevěnou fasádou (vlastní zpracování)

Vrstva (směr interiér – exteriér)	Tloušťka [mm]	
Sádrovláknitá deska Fermacell	12,5	
Instalační předstěna na roštu z latí s izolací	60	
OSD 3 Egger	15	
Konstrukční rám z KVH 60/160 s izolací	160	
Vodorovný rošt z fošen 60/80 s izolací	80	
Hydroizolační vrstva – difuzní fólie	–	
Vodorovný rošt z latí 50/30	30	
Modřínová prkna	22	
Celkem	**380**	

Tab. 5 Navrhovaná skladba vnější střechy a plechovou fasádou (vlastní zpracování)

Vrstva (směr interiér – exteriér)	Tloušťka [mm]	
Sádrovláknitá deska Fermacell	12,5	
Instalační předstěna na roštu z latí doplněna izolací	40	
OSD 3 Egger	15	
Konstrukční rám z KVH 60/160 s izolací	160	
Vodorovný rošt z fošen 60/80 s izolací	80	
Hydroizolační vrstva – difuzní fólie	-	
Svislý rošt z latí 60/40	40	
Prkenný záklop	24	
Svitkový plech PREFALZ	0,7	
Celkem	**392**	

V rámci svislých konstrukcí byla navržena skladba vnější stěny, která není součástí obvodového pláště budovy, ale slouží jako nosná stěna pro konstrukci střechy v místě terasy. Jedná se tedy o zástěně, která mimo jiné zajišťuje bariéru proti větru, slunci a více soukromí. Z vnější strany je zachována skladba s plechovou fasádou a ze strany terasy je opatřena OSB deskou, která tuto skladbu celistvě uzavírá. Ta směrem do exteriéru nese skladbu stejné dřevěné fasády, která byla použita v předchozích vrstvách.

Tab. 6 Navrhovaná skladba vnější zástěny (vlastní zpracování)

Vrstva (směr exteriér – exteriér)	Tloušťka [mm]
Svitkový plech PREFALZ	0,7
Prkenný záklop	24
Provětrávaná mezera se svislým roštem z latí 60/40	40
Vodorovný rošt z fošen 60/80	80
Konstrukční rám z KVH 60/160	160
OSB 3 Egger	15
Hydroizolační vrstva – difuzní fólie	–
Vodorovný rošt z latí 50/30	30
Modřínová prkna	22
Celkem	**372**

Skladby příček

Vnitřní stěny v objektu jsou řešené ve dvou tloušťkách dřevěných sloupků. Nosné příčky jsou tvořeny nosným rámem tl. 160 mm. Nenosné příčky jsou v tloušťce 100 mm rámu. Materiálově jsou nadále řešeny stejně. Dřevěný rám je v celé tloušťce vyplněn čedičovou izolací Isover Aku, zaklopen oboustranně OSB deskou a následně oboustranně sádrovláknitou deskou Fermacell.

Tab. 7 Navrhovaná skladby vnitřních příček (vlastní zpracování)

Vrstva (směr interiér – interiér)	Tloušťka [mm]
Sádrovláknitá deska Fermacell	12,5
OSB 3 Egger	15
Čedičová izolace Isover Uni	100/160
OSB 3 Egger	15
Sádrovláknitá deska Fermacell	12,5
Celkem	**155 a 215**

Skladby vodorovných konstrukcí

Skladby vodorovných konstrukcí zahrnují stopní konstrukci a podlahu založenou na základové desce.

Skladba stropu

Strop v tomto případě tvoří obálku budovy a tvoří ho hlavní nosná část, kterou tvoří spodní pásy příhradových vazníků. Ty jsou ke straně interiéru zaklopeny OSB deskou, která jako v případě stěn je v místě spojů a napojení stěn lepena vzduchotěsnou páskou. Na této konstrukci je připevněn podhled ze sádrovláknité desky, který je připevněn pomocí dvojitého dřevěného roštu a doplněn o vrstvu izolace Isover Aku. V půdní části nad vzduchotěsnou vrstvou je aplikována izolace ve výšce spodních pasů příhradové konstrukce. Na tuto vrstvu je aplikována ještě jedna vrstva izolace.

Tab. 8 Navrhovaná skladba stropní konstrukce (vlastní zpracování)

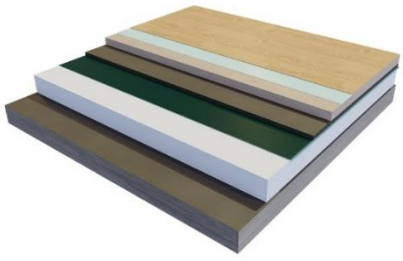
Vrstva (směr půda– interiér)	**Tloušťka [mm]**
Čedičová izolace	180
Spodní pás příhradového vazníku s izolací	120
OSD 3 Egger	22
Rošt z latí 60/40 s izolací	40
Rošt z latí 60/40	80
Podhled ze sádrovláknité desky	15
Celkem	**417**

Skladba podlahy

Skladba podlahy začíná hydroizolační vrstvou s hydroizolačním asfaltovým nátěrem desky. Na něm je vrstva EPS polystyrenu, na který je položena separační vrstva PVC fólie. Na ní budou systémové desky podlahového topení, s rozvedenými hadicemi. Vrstva nadále bude zalita litým potěrem Cemflow, před zalitím nutné obvod stěn opatřit dilatační páskou. Po vysušení bude položena vinylová podlaha s příslušnou podkladní vrstvou.

Tab. 9 Navrhovaná skladba podlahy (vlastní zpracování **)**

Vrstva (směr interiér – základ. deska)	**Tloušťka [mm]**
Nášlapná vrstva	10
Cementový litý potěr	60
Systémová deska podlah. vytápění	30
Separační vrstva – PVC fólie	-
Podlahový polystyren EPS	140
Hydroizolační vrstva	-
Asfaltový podkladový nátěr	-
Celkem	**240**



6 Výsledky

V této části budou uvedeny výsledky práce v podobě konkrétních hodnot se slovním vyhodnocením nebo ztvárněné grafické výstupy.

6.1 Projektová dokumentace

Výstupem projektové dokumentace jsou dva situační výkresy a výkresy architektonicko– stavebního řešení, kdy v rámci podrobností byly vypracované výkresy šesti detailů a výpis výplňových otvorů. Veškerá projektová dokumentace je součástí příloh.

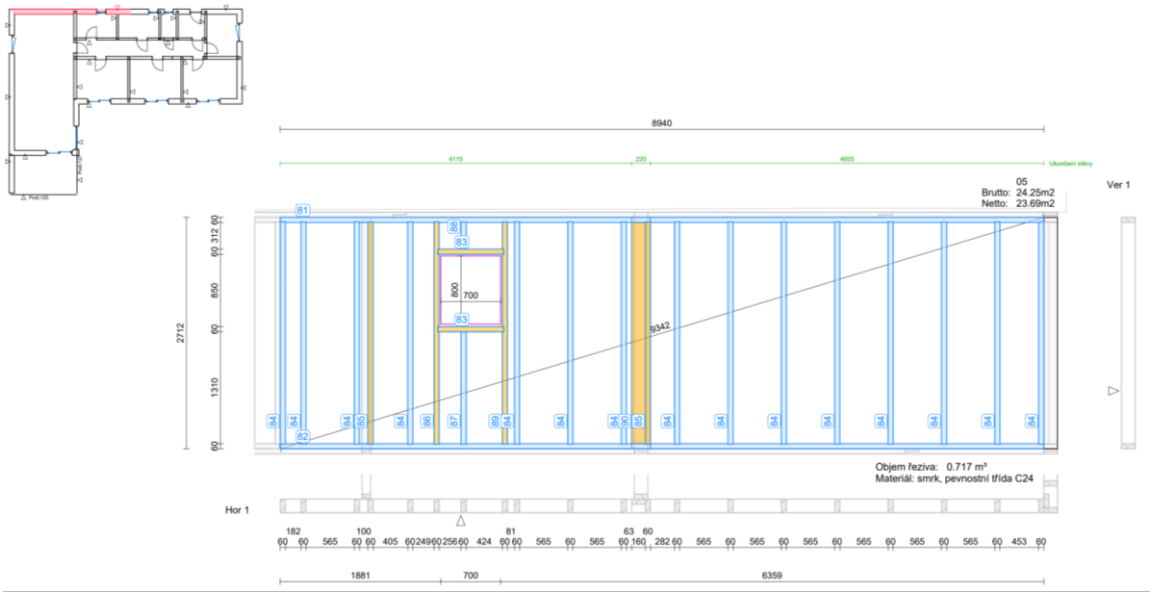
6.2 Výrobní dokumentace

Na základě návrhu byla vypracována realizační dokumentace nosných částí objektu. Dokumentace byla zpracována v softwaru SEMA, jehož výstupem jsou výrobní výkresy jednotlivých konstrukčních částí objektu. Tato výrobní dokumentace vzešla z vypracovaného 3D modelu, který byl vypracován na základě dokumentace stavební části. Model obsahuje jednotlivé konstrukční prvky, kterým je přidělena příslušná pozice, opracování a identifikační číslo. Software nadále umožnuje tyto data exportovat do pořezového CNC centra, kdy v tomto případě je konstrukce uzpůsobena k exportu do pořezového centra Hundegger SC (Hans Hundegger AG).

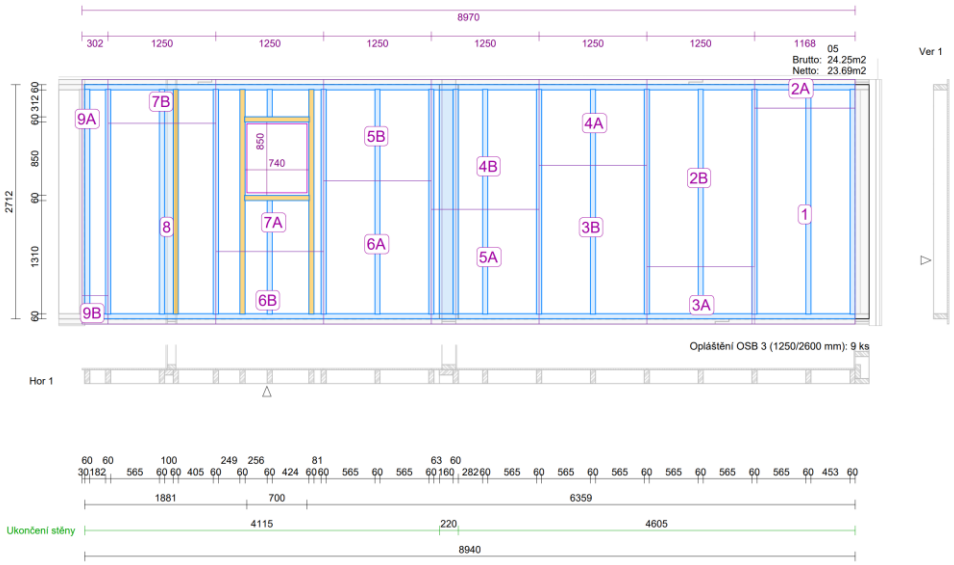
Obr. 17 Trojrozměrný model nosné konstrukce navrhovaného domu (vlastní zpracování)

V rámci výrobní dokumentace jsou zpracovány výrobní výkresy základových prahů, rozmístění stěn a věncových fošen a překladů. Nadále byly v rozsahu celého objektu vypracované pohledové výkresy pro výrobu stěnových rámů, přičemž u stěny č. 5 byl vypracován i výkres vnitřního opláštění OSB deskami.

Dimenze stěnových rámů je navržena s ohledem na jejich manipulaci na stavbě, proto žádná ze stěn není navržena s délkou větší než 9 m.

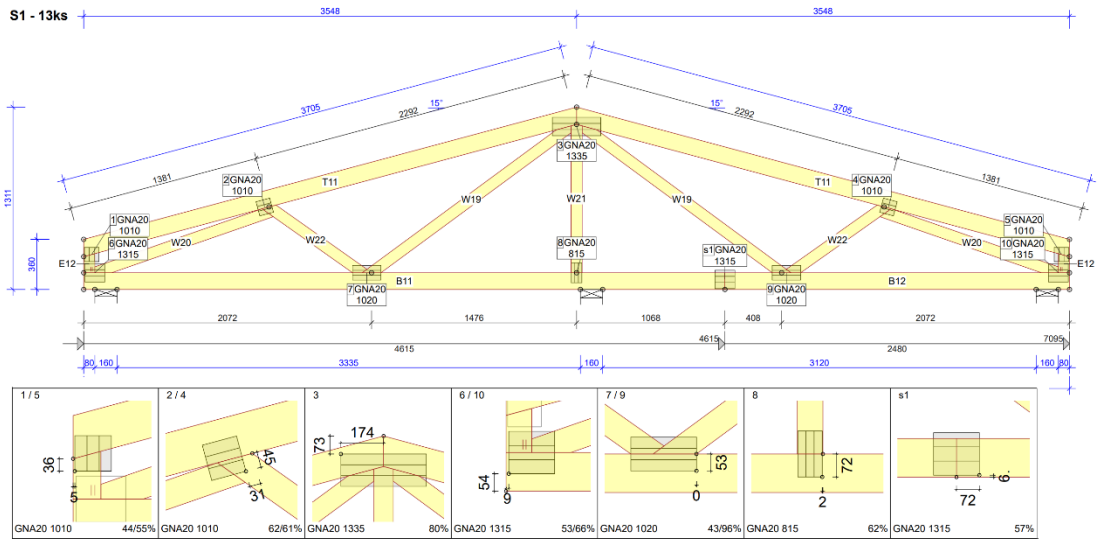


Obr. 18 Výrobní výkres rámu stěny č. 5 (vlastní zpracování)



Obr. 19 Kladecí výkres opláštění rámu steny č. 5 (vlastní zpracování)

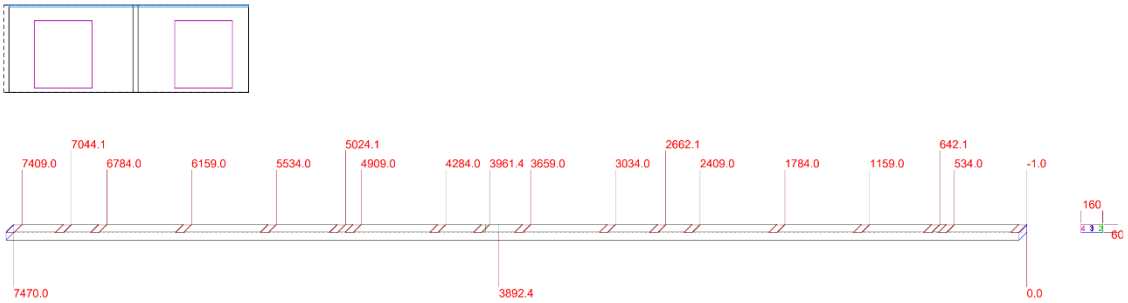
Výrobní dokumentace střešní konstrukce byla navržena zvlášť v softwaru MiTek Pamir. Výstupem programu je kladecí výkres vazníků, s jejich výrobním výkresem včetně umístění spojovacích desek. Střešní konstrukce se sestává z různých tvarů vazníků, kdy většina je klasického trojúhelníkového tvaru. V místě zlomu sedlové střechy se již nachází vazníky pultového tvaru a jiné. Součástí této práce je výrobní výkres s označením S1, který byl nadále i předmětem statického posudku.



Obr. 20 Výrobní výkres vazníku S1 (vlastní zpracování)

6.3 Předloha CNC

Na základě vytvoření výrobní konstrukční části byla vytvořena výkresová předloha pro CNC stroj. Předloha graficky znázorňuje přenesená data ze softwaru SEMA, které po exportu přebírá pořezové centrum Hundegger SC. Před samotným exportem lze v softwaru nahlédnout na opracování jednotlivých dílců a případně provést délkovou optimalizaci v rozsahu celého seznamů prvku. Soubor je následně exportován ve formátu BVX, ve kterém lze číst jednotlivé operace na základě geometrických informací prvku. Do CNC je pak jen nutností vložit požadovaný rozměr řeziva, přednastavit prořezy a spustit proces opracování, které probíhá automaticky dle převzatých informací s maximální přesností.

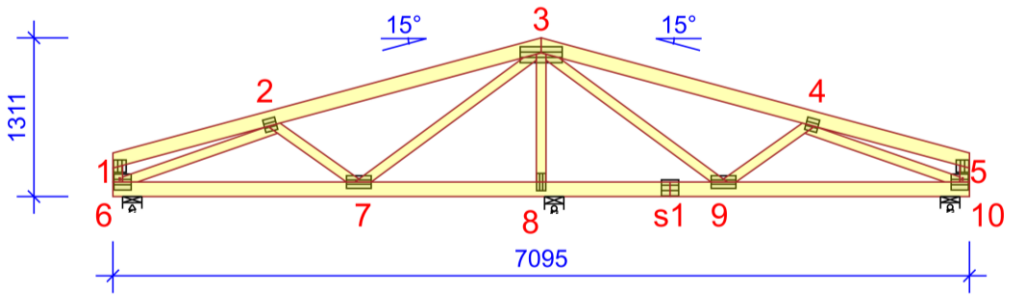


Obr. 21 Výsledek exportu do CNC stroje (vlastní zpracování)

Pro předlohu CNC byl zvolen prvek stěny č.1. Jedná se o horní pásnici stěnového rámu dané délky, do které je v ploše vyfrézované 5 mm zahloubení v požadované rozteči. Zahloubení bude sloužit k částečnému zapuštění sloupků, a především bude sloužit k urychlení montáže rámu, jelikož předběžně určuje pozici sloupků bez odměřování.

6.4 Statické posouzení

Po návrhu geometrie vazníku dle výrobní dokumentace, bylo provedeno individuální posouzení jednotlivých vazníků, které jsou v kladené v osové vzdálenosti do 1000 mm. Ke spojování jednotlivých prutů byly použity styčníkové ocelové desky s prolisovanými trny od výrobce MiTek. Na základě navržených podmínek byl skrze software vazník posouzen výpočtem v souladu s Eurokódem 5. Posouzení proběhlo u vazníku s označením S1 a jeho všech spojů.



Obr. 22 Geometrie posuzovaného příhradového vazníku

Do výpočtu vstupoval výpočet stálého zatížení skladeb (tab. 10 a 11) zvlášť pro jednotlivé části vazníku. Také byloa na základě umístění stavby zadána třída zatížení sněhem a větrem s přidaným uvažovaným montážním a užitným zatížením pro případnou údržbu střechy. V softwaru Pamir byly na základě těchto hodnot a materiálových pevností posouzeny pruty a jejich průřezu z hlediska únosnosti. Taktéž byly posouzeny jednotlivé spoje, respektive mezní únosnost ocelových desek na přetržení a únosnost trnů proti vytažení. Na základě výsledných hodnot protokolu, který je přiložen v příloze byl vazník z hlediska splnění požadavků na bezpečnou únosnost zhodnocen jako vyhovující.

Tab. 10 Výpočet zatížení vlastní tíhy stropní konstrukce (vlastní zpracování)

Stropní konstrukce	Tloušťka [m]	Objemová tíha [kN/m^3]	Charakteristické zatížení [kN/m^2]	
Minerální izolace	0,12	0,47	0,056	
Minerální izolace	0,18	0,47	0,085	
OSB	0,022	7,55	0,166	
Minerální izolace	0,08	0,47	0,038	
Latování		6	0,060	
Latování		6	0,060	
SDK pohled	0,015	12	0,180	
Zatížení celkem			0,645	**645 N/m2**

Tab. 11 Výpočet zatížení vlastní tíhy střešní konstrukce (vlastní zpracování)

Střešní konstrukce	Tloušťka [m]	Objemová tíha [kN/m^3]	Charakteristické zatížení [kN/m^2]	
Falcovaná krytina			0,03	
Pojistná hydroizolace			0,002	
Prkenné bednění	0,024	6	0,144	
Zatížení celkem			0,176	**176 N/m2**

Pozn.: Software k uvedeným hodnotám zatížení zahrne vlastní tíhy vazníku.

6.5 Posouzení skladeb konstrukce

Pro komplexnější informace o funkčnosti konstrukce a její potencionální energetické náročnosti, byl proveden posudek z hlediska tepelně technických vlastností, a to u obvodových plášťů stěn a stropu. Ty byly posouzeny z hlediska splnění požadavku na součinitel prostupu tepla, teplotní faktor a šíření vlhkosti. Dále byla konstrukce podlahy posouzena z hlediska požadavku na součinitel prostupu tepla a požadavku na pokles dotykové teploty. Posouzení bylo provedeno v programu Teplo verze 2017, kam vstupovaly informace o jednotlivých tloušťkách a vlastnostech použitých materiálů a jejich pořadí.

Z výsledků vyplývá, že všechny posuzované skladby splnily doporučené hodnoty pro pasivní domy.

6.5.1 Podlaha

Tab. 12 Posouzení požadavku na součinitel prostupu tepla podlahy (vlastní zpracování)

Požadavek na součinitel prostupu tepla – v porovnání s ČSN 73 0540-2				
Typ konstrukce	**Součinitel prostupu tepla (W.m^{-2}.K^{-1})**			
	Vypočtená hodnota U_T	**Požadovaná hodnota $U_{N,20}$**	**Doporučená hodnota $U_{rec,20}$**	**Doporuč. hodnota pro pasivní budovy $U_{pas,20}$**
Podlaha	0,22	0,45	0,30	0,22 – 0,15
		splněno	**splněno**	**splněno**
Pozn.: Požadavek na teplotní faktor a šíření vlhkosti konstrukcí podlahy – nehodnocen.				

Tab. 13 Zhodnocení požadavku poklesu dotykové teploty podlahy (vlastní zpracování)

Požadavek na pokles dotykové teploty – porovnání s ČSN 73 0540-2				
	Vypočtení hodnota dT10	**Požadovaná Hodnota dT10,N**	**Požadavek splněn / nesplněn**	**Kategorie podlahy**
	5,39 °C	5,5 °C	**splněno**	**II. teplá**

6.5.2 Strop

Tab. 14 Posouzení požadavku na součinitel prostupu tepla stropu (vlastní zpracování)

Požadavek na součinitel prostupu tepla – porovnání ČSN 73 0540-2				
Typ konstrukce	**Součinitel prostupu tepla ($W.m^{-2}.K^{-1}$)**			
	Vypočtená hodnota U_T	**Požadovaná hodnota $U_{N,20}$**	**Doporučená hodnota $U_{rec,20}$**	**Doporuč. hodnota pro pasivní budovy $U_{pas,20}$**
Strop	0,106	0,30	0,20	0,15 – 0,10
		splněno	**splněno**	**splněno**

Tab. 15 Posouzení požadavku na teplotní faktor skladby stropu (vlastní zpracování)

Požadavek na teplotní faktor – porovnání ČSN 73 0540-2			
Typ konstrukce	**Teplotní faktor (-)**		
	Vypočtená průměrná hodnota $f_{Rsi,\ m}$ (-)	**Požadovaná hodnota $f_{Rsi,\ N} = f_{Rsi,\ cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80 %**	
Strop	0,974	0,726	**splněno**

Tab. 16 Posouzení požadavku na šíření vlhkosti konstrukcí stropu (vlastní zpracování)

Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí – porovnání s ČSN 73 0540-2	
Požadavky	**Vyhodnocení požadavku**
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	**splněn**
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	**splněn**
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m^2.rok nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálů (nižší z hodnot)	**splněn**

6.5.3 Obvodová stěna

Tab. 17 Posouzení požadavku na součinitel prostupu tepla skladby obvodové stěny (vlastní zpracování)

Požadavek na součinitel prostupu tepla – porovnání ČSN 73 0540-2				
Typ konstrukce	**Součinitel prostupu tepla ($W.m^{-2}.K^{-1}$)**			
	Vypočtená hodnota U_T	**Požadovaná hodnota $U_{N,20}$**	**Doporučená hodnota $U_{rec,20}$**	**Doporuč. hodnota pro pasivní budovy $U_{pas,20}$**
Obvodová stěna	0,149	0,30	0,20	0,15 – 0,10
		splněno	**splněno**	**splněno**

Tab. 18 Posouzení požadavku na teplotní faktor skladby obvodové stěny (vlastní zpracování)

Požadavek na teplotní faktor – porovnání ČSN 73 0540-2			
Typ konstrukce	**Teplotní faktor (-)**		
	Vypočtená průměrná hodnota $f_{Rsi,\ m}$ (-)	**Požadovaná hodnota $f_{Rsi,\ N} = f_{Rsi,\ cr}$ (-) pro max. přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80 %**	
Strop	0,964	0,753	**splněno**

Tab. 19 Posouzení požadavku na šíření vlhkosti konstrukcí obvodové stěny (vlastní zpracování)

Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí – porovnání s ČSN 73 0540-2	
Požadavky	**Vyhodnocení požadavku**
1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce	**splněn**
2. Roční množství kondenzátu musí být nižší než roční kapacita odparu	**splněn**
3. Roční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m^2.rok nebo 3-6 % plošné hmotnosti materiálů (nižší z hodnot)	**splněn**

6.6 Ocenění stavby

Souhrnný protokol o výpočtu jsou součástí příloh této práce.

Tab. 20 Rozpočet rodinného domu

Základní informace objektu	
Název objektu	Rodinný dům Hlubany
Novostavba rodinného domu v pasivním standardu, samostatně stojící ve tvaru L, jednopodlažní bez obytného podkroví nepodsklepený se sedlovou lomenou střechu. Navržen v dispozici 5+1 pro 4 osoby na trvalé bydlení. Zastavěná plocha domu je 151,27 m^2. Užitná podlahová plocha je 119,2 m^2.	

Základní rozpočtové náklady stavby (ZRN)		**5 049 200 Kč**
Náklady na projektovou dokumentaci (PD)	3,70 %	186 800 Kč
Náklady na umístění stavby (NUS)	3,60 %	188 500 Kč
Rezerva rozpočtu	5,00 %	271 200 Kč
Vedlejší rozpočtové náklady (VRN)		**646 500 Kč**

Celková cena stavby bez DPH		**5 695 700 Kč**
Daň z přidané hodnoty	15 %	854 400 Kč
Celková cena stavby s DPH		**6 550 100 Kč**

7 Diskuse

Návrh a dispoziční řešení byly vypracovány dle požadavků investora. Tvarové a dispoziční řešení stavby bylo provedené s ohledem na světové stany a možností přístupu na pozemek z veřejné komunikace. Zamýšlené umístění dále umožňuje budoucí zřízení garáže nebo zastřešeného stání ve východní části pozemku s přístupem z ulice.

Pro daný návrh byl zvolen konstrukční systém na bázi dřeva, přičemž s ohledem na velikost a dispoziční řešení, je systém sloupkové rámové konstrukce nejvíce vhodný s ohledem na dostupnost, náročnost proveditelnosti spojů, manipulace a výsledné spotřeby materiálu, která je úzce spjatá s finální cenou. Taktéž řešení střechy, které bylo provedené za pomocí příhradových vazníků, je považováno za nejvíce vhodnou variantu, která vzhledem k jejímu nevyužitému půdnímu prostoru je nejekonomičtější možností, která rovnou vytvoří i stropní rovinu. I v závislosti na tvaru střechy, která je lomená, je nejsnadnější variantou bez nutných podpor, které by v tomto případě musely být prostupující do interiéru kuchyně. Dále s přihlédnutím na letní období mohla být jižní nezastřešená terasa opatřena stínícími prvky nad nebo u balkónových dveří. K tomu by mohlo být přihlídnuto již ve fázi návrhu, kdy mohly být navrženy stínící panely nebo slunolamy integrované do fasádního systému. Neinvazivním řešením, které by nenarušilo celistvost fasády, by mohlo být stínění pomocí plachet, u kterých je možnost variabilního umístění a také odejmutí v případě nutnosti.

Z hlediska konstrukčních skladeb byly voleny osvědčené materiály, takových vlastností, tlouštěk a v takovém pořadí, které zajišťují předpoklad správného vlhkostního režimu, který odpovídá zvolenému difuzně otevřenému systému. Skladba z hlediska tepelně technického posouzení vyhovuje hodnotám pro pasivní budovy, tudíž v tomto ohledu není nutné provádět zásadní změn v rámci optimalizace. Změna by z hlediska případných tepelných úniků na základě vodivosti materiálů, mohla být u vnějšího zateplení, kde je pro instalaci izolačních desek zvolen podpůrný vodorovný dřevěný rošť. Ten může být ve skladbě nejslabším místem z důvodů vyšší tepelné vodivosti dřeva než u použité čedičové izolace. Na základě toho by se mohlo od dřevěného roštu upustit a zvolit možnost kotvení pomocí držáků pro měkké MW izolace. Také u izolace stropu, respektive již izolace neobytné půdy mohla být zvolena forma sypké izolace např. celulózové, která by byla sice dražší variantou, ale předešlo by se případným neutěsněným spárám, jejichž pravděpodobnost vzniku je s použitím čedičové izolace větší.

Na základě statického posudku při navržených zatížení střechy vazník vyhověla proto není potřeba změn dimenzí řeziva. Popřípadě u spoje styčníkové desky v pozici 9,

mohla být styčníková deska GNA20, jejíž statické vytížení je vypočteno na 96 %, nahrazena deskou větších rozměrů, tedy deskou s více prolisovanými trny, která bude vycházet z hlediska únosnosti příznivěji.

Způsob výroby je přizpůsoben možnostem dodavatelské firmy, která disponuje prostory s montážními stoly, kde by mohly být jednotlivé stěny vyhotoveny s větším stupněm prefabrikace. Mohla být využita montáž jednotlivých rámů rovnou k zaklopení OSB deskami, čemuž by musela být přizpůsobena výrobní dokumentace s řešením jednotlivých přesahů na okraji desek vzhledem k budoucímu spojování. V této podobě by již zaklopené ztužené rámy, mohly být usazovány na základové prahy na staveništi. K vyšším stupňům prefabrikace by se v tomto případě nepřistupovalo, a to už důvodu výrobních, tak montážních. Celkově se tímto způsobem zajistí kontrolovatelnost jednotlivých vrstev v průběhu stavby, která finálně zaručí její správné fungování, tedy i co nejdelší životnost, která je samozřejmě po čas užívání mimo jiné podmíněna údržbou.

8 Závěr

Cílem této práce bylo vytvoření návrhu realizace rodinného domu pro celoroční užívání s vypracováním realizační a výrobní dokumentace s následným statickým posouzení vybraného konstrukčního prvku. Podařilo se vypracovat návrh rodinného domů, který byl tvarově a dispozičně řešen dle požadavků investora. Rodinný dům byl navržen jako bungalov s rámovým konstrukčním systémem se zastřešením z dřevěných příhradových vazníků, přičemž jeden ze střešních prvků, byl předmětem statického posudku, ve kterém byl včetně svých spojů zhodnocen jako vyhovující. Skladby konstrukcí byly navržené jako difuzně otevřené systémy, které byly následně posouzeny z hlediska stavební fyziky. Výsledkem bylo vyhodnocení obvodových plášťů, které odpovídá doporučeným hodnotám pro pasivní budovy. Ke zpracování jednotlivých výkresových i návrhových částí této práce, bylo využito několika softwarů, které se běžně využívají v projekčních, plánovacích a výrobní fázích dřevostaveb.

Celkový výsledek této práce představuje zajímavé řešení rodinného domu s konstrukčním systémem na bázi dřeva, lišící se od běžných realizací dřevostaveb řešením plechových fasádních a střešních systémů, které tvoří hlavní ochranou vrstvu celé budovy a dělají stavbu kompaktnější.

Na základě zpracování této práce lze potvrdit, že systém dřevěných rámových konstrukcí, lze považovat za vcelku jednoduché řešení pro využití staveb rodinných domů, přičemž celý tento proces pozitivně ovlivňuje využití moderních technologií s podporou softwarů, které přispívají k celkové efektivitě především ve fázi plánování a výroby.

9 Seznam literatury a použitých zdrojů

AMERICAN WOOD COUNSIL, 2001. *Details for Conventional Wood Frame Construktion*. Washington, DC 20036: American Forest ans Paper Association.

AMERICAN WOOD COUNSIL, 2015. *Wood Frame Construktion Manual for One- and Two-Family Dwelling*. Leesburg, VA 20175: Approved American National Standard. ISBN 978-1-940383-07-1.

BÖHM, Martin, Jan REISER a Jan BOMBA, 2012. *Materiály na bázi dřeva*. B.m.: Česká zemědělská univerziza v Praze. ISBN 978-80-213-2251-6.

CEMBRIT A.S., 2023. Cembrit Raw. *Cembrit.cz* [online]. Dostupné z: https://www.cembrit.cz/interier/interierovy-design/cembrit-raw

CENTRUM PASIVNÍHO DOMU, Jan, 2020. Neprůvzdušnost, zkouška kvality. *Centr* [online]. [vid. 2023-03-15]. Dostupné z: https://www.pasivnidomy.cz/nepruvzdusnost-zkouska-kvality/t4031

DEK A.S, 2023. Štěrk z pěnového skla REFAGLASS frakce 0-63 1 m3. *dek* [online]. Dostupné z: https://www.dek.cz/produkty/detail/1470113480-refaglass-pen-sklo-sterk-fr-0-63-1m3-big-bag

EGGER CZ S.R.O., 2016. *EGGER DHF* [online]. Dostupné z: https://www.egger.com/cs/building/product-detail/DHF?country=CZ

EGGER CZ S.R.O., 2018. *EGGER OSB 4 TOP* [online]. Dostupné z: https://www.egger.com/cs/building/product-detail/OSB4TOP?country=CZ

EPS ČR, 2012. Vlastnosti expandovaného pěnového polystyrenu (EPS). *TZB-info* [online]. [vid. 2023-03-19]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/8482-vlastnosti-expandovaneho-penoveho-polystyrenu-eps

FRÖBEL, Johan, 2016. *Limträhandbok: Fakta om limträ*. Stockholm: Föreningen Sveriges Skogsindustrier. Del 1. ISBN 978-91-983601-4-1.

HAZURA, Juraj, 2016. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy - Doporučení pro návrh a stavbu*. Praha: Grada Publishing, a.s. ISBN 978-80-271-9027-0.

HOLZ INFORMATIONSDIENST, 2023. Konstruktionsvollholz KVH®, Duobalken®, Triobalken®.

HOUŠKA, Petr, 2015. Izolace: 5 důvodů pro PIR a PUR pěnu. *Dřevo a stavby* [online]. Dostupné z: https://www.drevoastavby.cz/

CHALOUPKA, Karel a Zbyněk SVOBODA, 2009. *Plocé střechy*. B.m.: Grada Publishing, a.s. ISBN 978-80-247-6635-5.

ISOCELL GMBH & CO KG, 2023. *ISOCELL - CELUÓZOVÁ IZOLACE* [online]. Dostupné z: https://www.isocell.com/

ISOVER.CZ, 2023. Provětrávané fasády z pohledu tepelné izolace. *ISOVER blog – přehled důležitých informací o izolacích* [online]. [vid. 2023-03-05]. Dostupné z: https://www.isover.cz/blog/provetravane-fasady-z-pohledu-tepelne-izolace

JAMES HARDIE EUROPE GMBH, 2016. Technický list - sádrovláknité desky. *Fermacell* [online]. Dostupné z: https://www.fermacell.cz/cz/produkty/sadrovlaknite-desky/sadrovlaknite-desky

JAMES HARDIE EUROPE GMBH., 2018. „Konce s praskajícími stěnami v dřevostavbách aneb“? Správné napojení obvodové stěny dřevostavby na. *Ferma* [online]. [vid. 2023-03-14]. Dostupné z: https://www.fermacell.cz/Aktuality/Konce-s-praskajicimi-stenami-v-drevostavbach-aneb-Spravne-napojeni-obvodove-steny-drevostavby-na

JANÍČEK, Vít, 2017. Studium fyzikálních vlastností tepelně izolačních materiálů na bázi přírodních vláken [online]. [vid. 2023-03-19]. Dostupné z: http://dspace.vutbr.cz/handle/11012/68857

KOLB, Josef, 2011. *Dřevostavby: Systém nosných konstrukcí, obvodové pláště, 3., aktualizované vydání*. Praha: Grada Publishing a.s. ISBN 80-247-7115-2.

KRONOSPAN CR SPOL.S.R.O., 2020. *OSB Firestop System Solution* [online]. Dostupné z: https://kronospan.com/cs_CZ/products/view/kronobuild/osb/osb-firestop/osb-firestop-702

KUKLÍK, Petr, 2005. *Dřevěné konstrukce*. Vyd. 1. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT. ISBN 978-80-01-03310-4.

MAŘÍK, Ing. Radim, Ing. Lubomír ODEHNAL a Ing. Pavel ŠTAJNRT, 2014. *Návrh a posuzování staveb z hlediska stavební fyziky*. Opava. b.n.

MITEK, 2007. *Svět střešních konstrukcí*. Brno. MiTek Industries spol. s.r.o.

MITEK, 2012. Moderní technologie „POSI” pro pasivní a nízkoenergetické stavby. *Mitek industries spol* [online]. [vid. 2023-03-19]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/8579-moderni-technologie-posi-pro-pasivni-a-nizkoenergeticke-stavby

MORO, José Luis, 2019. Holzbau. In: *Baukonstruktion - vom Prinzip zum Detail*. Berlin: Springer Vieweg. ISBN 978-3-662-57399-0.

NARRATIVE MEDIA S.R.O., 2023. Nazeleno [online]. [vid. 2023-03-23]. ISSN ISSN 1803-4160. Dostupné z: https://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/cim-izolovat-zkuste-prirodni-alternativy.aspx

NOVÁK, Jiří, 2008. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. B.m.: Grada Publishing as. ISBN 80-247-1953-3.

NYRUD, Anders Q., Kristian BYSHEIM, Geir GLASØ a Tomas NORD, 2011. *Industrielt trebyggeri: Erfaringer fra norske prosjekter*. Linköping. Linköpings universitet.

PITTSBURGH CORNING EUROP, 2008. FOAMGLAS. Tepelné izolace. izolační pěnové sklo. [online]. Dostupné z: www.foamglas.cz

PLACHÝ, Jan, Petra BEDNÁŘOVÁ, Roman ŠUBRT a Tomáš PETŘÍČEK, 2014. Řešení problematiky proudění vzduchu v otevření vzduchové mezeře u dvouplášťových střech pasivních objektů.

PRO HOLZ AUSTRIA, 2013. Essay – Konfektionen in Holz Der andere Bauprozess. *pro Holz Austria* [online]. Dostupné z: https://www.proholz.at/zuschnitt/50/essay

PROVÁZEK, Jiří, 2013. Konstrukce dřevostaveb s různými deskovými materiály. In: *Dřevostavby v praxi*. B.m.: SAINT-GOBAIN CONSTRUKTION PRODUCTS CZ A.S.

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

SAINT-GOBAIN CONSTRUKTION PRODUCTS CZ A.S., 2023. *Konstrukční deska RigiStabil (DFRIEH2)* [online]. Dostupné z: https://www.rigips.cz/produkty/konstrukcni-deska-rigistabil-dfrieh2-activair/

SKŘÍPSKÝ, Jiří Ing., 2008. *DEKHOME D – montážní návod* [online]. B.m. [vid. 2020-11-03]. DEK a.s. Dostupné z: https://www.dek.cz/

SLANINA, Petr, 2004. Parotěsná vrstva-terminologie, rozdělení, navrhování. *Tepelná ochrana budov roč*. **7**(3).

SPŠ STAVEBNÍ OPAVA, 2012. *Schémata krovů vaznicové soustavy*. 2012.

STEICO, 2023. *web.steico* [online]. Dostupné z: https://web.steico.com/cz/steico-vyhody/stavebni-system-steico/

STEIGER, Ludwig, 2017. *Basics Holzbau*. 1. Berlin: Birkhäuser. ISBN 978-3-0356-1256-1.

STRAKA, Bohumil, 2013. *Konstrukce šikmých střech*. Praha: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-4205-2.

SVOBODA, Tomáš, 2023. výrobní technik Garde s.r.o. [ústní sdělení], Čejkovice, 6.2.2023.

ŠAGÁT, Erik, Jan PĚNČÍK a Libor MATĚJKA, 2013. Parametrická studie vlivu tloušťky vzduchové mezery provětrávané fasády.

THALLON, Rob, 2008. *Graphic guide to frame construction*. B.m.: Graphic guide to frame construction. ISBN 978-1-60085-023-3.

VAVERKA, Jiří, Zdeňka HAVÍŘOVÁ, Miroslav JINDRÁK a a KOLEKTIV, 2008. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-7014-7.

10 Seznam příloh

Situační výkresy

C.1 Situační výkres

C.2 Katastrální situační výkres

Architektonicko–stavební řešení

D.1.1.1.Technická zpráva

D.1.1.2 Základy

D.1.1.3 Půdorys 1.NP

D.1.1.4 Řez A-A', B-B'

D.1.1.5 Střecha

D.1.1.6 Pohledy

D.1.1.7_1 Detail rohu obvodových stěn

D.1.1.7_2 Detail napojení obvod. stěny a příčky

D.1.1.7_3 Detail nadpraží

D.1.1.7_4 Detail parapetu

D.1.1.7_5 Detail ukončení střechy

D.1.1.7_6 Detail soklu

D.1.1.8 Výpis skladeb konstrukcí

D.1.1.9 Výpis oken a dveří

Výrobní dokumentace

R_1 Umístění základových prahů

R_2 Půdorys stěn

R_3 Uložení pozednic

R_04 3D Model nosné konstrukce

Stěna č.1

Stěna č.2

Stěna č.3

Stěna č.4

Stěna č.5; Stěna č.5 opláštění stěn OSB

Stěna č.6

Stěna č.7

Stěna č.8

Stěna č.9

Stěna č.10

Stěna č.11

Stěna č.12

Stěna č.13

Stěna č.14

Stěna č.15

Stěna č.16

Stěna č.17

Stěna č.18

Stěna č.19

Stěna č.20

Stěna č.21

R_5 Předloha prvku pro CNC

Celkový výpis prvků 1NP

R_6 Vazníkový krov

R_7 3D pohled na krov

R_8 Výrobní výkres vazníku S1

R_9 Dávkový výkaz materiálu krovu

Statický posudek

ST_1 Oficiální výkres

ST_2 Výpočet

ST_3 Zatěžovací stavy

ST_4 Zatěžovací kombinace

ST_5 Vnitřní síly

Tepelně-technické posouzení skladeb

Protokoly z programu Teplo 2017

Ocenění stavby

Protokol URS