



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ

INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

SROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA VÝSTAVBU BUDOV Z HLEDISKA JEJICH PLÁŠTĚ A ZPŮSOBU VYTÁPĚNÍ

COMPARISON OF COSTS FOR THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS IN TERMS
OF THEIR CLADDING AND METHOD OF HEATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Szturc

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV VÝSKALA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T038 Management stavebnictví
Pracoviště	Ústav stavební ekonomiky a řízení

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jakub Szturc
Název	Srovnání nákladů na výstavbu budov z hlediska jejich pláště a způsobu vytápění
Vedoucí práce	Ing. Miloslav Výskala, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2021
Datum odevzdání	14. 1. 2022

V Brně dne 31. 3. 2021

doc. Ing. Jana Korytářová, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Srubové domy z kulatiny, Dalibor Houdek, Otakar Koudelka (MM Publishing, 2011, ISBN 978-80-904414-4-6)

Dřevěné stavby, Jozef Štefko, Ladislav Reinprecht, Petr Kuklík (Jaga group, 2006, ISBN 978-80-8076-080-9)

Moderní dřevostavby, Pavel Horák (Computer press, 2011, ISBN 978-80-251356-8-6)

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce je srovnání nákladů na výstavbu dřevěného dvojdomku z hlediska jeho obvodového pláště a způsobu vytápění.

Předpokládaná osnova diplomové práce:

1. základy oceňování stavebních prací a dodávek,
2. definice použitelných materiálů a prvků pro konstrukční řešení,
3. volba konstrukčních variant a možných substitucí,
4. vyhodnocení konstrukčních variant,
5. porovnání vybraných materiálů a konstrukčních prvků.

Předpokládaným výstupem práce bude srovnání cenových nákladů vybraných konstrukčních řešení na konkrétním příkladu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Miloslav Výskala, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na porovnání nákladů skladeb obvodového pláště pasivní dřevostavby v závislosti na typu použité tepelné izolace a typu skladby obvodového pláště. V praktické části jsou navrženy difúzně uzavřené a difúzně otevřené skladby obvodových plášťů s různými druhy tepelných izolací. Navržené skladby jsou oceněny směrnými cenami a porovnány. Okrajově je řešen také způsob vytápění a jeho náklady.

KLÍČOVÁ SLOVA

Dřevostavba, obvodový plášť, pasivní dřevostavba, součinitel prostupu tepla, difúzně otevřené konstrukce, difúzně uzavřené konstrukce, položkový rozpočet, tepelná izolace, cena

ABSTRACT

The thesis focuses on the cost comparison of the envelope compositions of a passive wood building depending on the type of thermal insulation used and the type of envelope composition. In the practical part, diffusion closed and diffusion open envelope compositions with different types of thermal insulation are proposed. The proposed compositions are priced and compared. The heating method and its costs are also marginally addressed.

KEYWORDS

Timber building, building envelope, passive timber building, heat transfer coefficient, diffuse open construction, diffuse closed construction, item budget, thermal insulation, price

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jakub Szturc *Srovnání nákladů na výstavbu budov z hlediska jejich pláště a způsobu vytápění*. Brno, 2022. 72 s., 90 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení. Vedoucí práce Ing. Miloslav Výskala, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Srovnání nákladů na výstavbu budov z hlediska jejich pláště a způsobu vytápění* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 14. 1. 2022

Bc. Jakub Szturc
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Miloslavu Výskalovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce za konzultace a pomoc při zpracování této práce a za přátelský přístup.

Poděkování patří hlavně také mé rodině, která mě při studiu plně podporovala.

OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Dřevostavby obecně.....	11
2.1	Výhody výstavby objektů ze dřeva	12
2.2	Nevýhody výstavby objektů ze dřeva	12
3	Ekologické aspekty dřevostaveb.....	13
3.1	Trvale udržitelná výstavba	14
4	Konstrukční systémy dřevostaveb	16
4.1	Srubové a trámové konstrukce	16
4.2	Příhradové, hrázděné konstrukce	17
4.3	Systém z prostorových buněk.....	17
4.4	Systém z prefabrikovaných tvarovek	18
4.5	Panelové konstrukce.....	19
4.6	Skeletové konstrukce.....	19
4.7	Sloupkové / rámové konstrukce	20
5	Difúzně uzavřené a otevřené konstrukce	22
5.1	Difúzně uzavřené konstrukce (DUK).....	22
5.2	Difúzně otevřené konstrukce (DOK).....	24
6	Skladby obvodových stěn dodavatelů dřevostaveb	25
7	Tepelně izolační materiály.....	30
7.1	Minerální izolace	30
7.1.1	Kamenná vlna.....	30
7.1.2	Skelná vlna	31
7.1.2	Pěnové sklo	32
7.2	Přírodní izolace.....	33
7.2.1	Tepelná izolace ze slámy	33
7.2.2	Tepelná izolace z ovčí vlny.....	34
7.2.3	Konopné tepelné izolace	34
7.2.4	Dřevovláknité tepelné izolace	35
7.3	Syntetické izolace.....	36
7.3.1	EPS.....	36
7.3.2	XPS	36
7.3.3	PUR, PIR.....	37
8	Ceny ve stavebnictví.....	38
8.1	Nákladově orientovaná cena	38

8.2	Poptávkově orientovaná cena	38
8.3	Konkurenčně orientovaná cena	39
9	Oceňování stavebnictví produkce	40
9.1	Ocenění pomocí rozpočtových ukazatelů.....	41
9.2	Ocenění pomocí stavebního rozpočtu	41
10	Energetická náročnost dřevostaveb.....	42
10.1	Pasivní stavění.....	42
10.2	Součinitel prostupu tepla U	42
11	Praktická část	46
11.1	Popis posuzovaného objektu	46
11.2	Postup výpočtů a skladby obvodových plášťů	49
11.2.1	STN 1 – DUK s kamennou vlna	52
11.2.2	STN 2 – DUK se skelnou vlnou.....	53
11.2.3	STN 3 – DUK s konopnou izolací	54
11.2.4	STN 4 – DUK s dřevovláknitou izolací	55
11.2.5	STN 5 – DOK s kamennou vlnou	56
11.2.6	STN 6 – DOK se skelnou vlnou.....	57
11.2.7	STN 7 – DOK s konopnou izolací	58
11.2.8	STN 8 – DOK s dřevovláknitou izolací	59
11.3	Vyhodnocení skladeb	60
11.3.1	Tepelné izolace.....	60
11.3.2	DUK a DOK.....	61
11.3.3	Celkové zhodnocení skladeb.....	62
11.4	Náklady a způsob vytápění.....	64
12	Závěr	66
	Seznam použité literatury.....	67
	Seznam obrázků	70
	Seznam tabulek	71
	Seznam zkratk	72

1 Úvod

Tato práce má čtenáři, jako budoucímu staviteli poskytnout možnost částečně nahlédnout do problematiky pasivních dřevostaveb. V současné době velmi aktuální témata jako energie, šetření energie, ekologické parametry budov, byly motivem ke zpracování této práce zaměřené na dřevostavby.

Teoretická část práce rozebírá dřevostavby z obecných hledisek, jako jsou jejich výhody a nevýhody, ekologické aspekty, trvale udržitelnou výstavbu, či konstrukční systémy dřevostaveb. Vysvětluje systémy difúzně uzavřených a difúzně otevřených konstrukcí, které se poté promítají i do praktické části. Dále teoretická část řeší skladby obvodových plášťů dodavatelů dřevostaveb na českém trhu, tepelné izolace dřevostaveb, ceny ve stavebnictví, oceňování stavební produkce a energetickou náročnost staveb dřevostaveb.

Praktická část této práce se zaměřuje zejména výběr konstrukčních materiálů pro skladbu obvodového pláště na základě hodnoty součinitele prostupu tepla pro obvodovou konstrukci dle normy ČSN, dále pak na vyčíslení cenových nákladů pomocí tvorby položkových rozpočtů těchto skladeb, porovnání vypočtených hodnot součinitelů prostupů jednotlivých skladeb. Okrajově také řeší způsob a náklady na vytápění objektu.

2 Dřevostavby obecně

Současné moderní stavitelství stále více využívá dřevo jako stavební a konstrukční materiál. Vzhledem k širokým možnostem nových konstrukčních metod a komplexnosti prvků na bázi dřeva, které mají lepší vlastnosti, než původní prvky z rostlého dřeva se nabízejí architektonické možnosti řešit dřevostavby odborně a koordinovat problematiku statiky, akustiky, požární ochrany a stavební fyziky. [1]

Tabulka 1 - Dokončené domy pro bydlení podle svíslé nosné konstrukce [vlastní zpracování dle: Český statistický úřad, 2021]

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	1. až 3. čtvrtletí 2021*
Bytové domy											
Počet domů celkem	298	312	244	209	272	278	303	373	481	410	276
zdivné (cihly, tvárnice)	231	229	184	137	196	189	212	293	365	315	191
panely a monolity (mimo dřevo)	7	11	5	9	40	48	61	41	64	82	62
dřevěné	5	4	1	5	7	3	5	3	9	3	2
Rodinné domy											
Počet domů celkem	16 849	16 929	15 013	13 510	13 412	14 015	14 548	18 287	18 390	18 127	12 913
zdivné (cihly, tvárnice)	14 678	14 340	12 839	11 514	11 212	11 560	11 900	14 837	15 288	14 868	10 716
panely a monolity (mimo dřevo)	334	514	403	303	326	279	394	352	216	277	219
dřevěné	1 465	1 699	1 285	1 281	1 791	2 013	2 159	2 945	2 749	2 836	1 891
Neurčeno	.	.	.	.	92	1	0	0	0	0	.
Sruby a roubenky	.	.	.	.	222	233	169	263	217	234	.
Lehký rámový skelet (panelová montáž)	.	.	.	.	623	963	1 075	1 303	1 188	1 205	.
Lehký rámový skelet (staveništní montáž)	.	.	.	.	537	671	803	1 185	1 131	1 148	.
Těžký skelet	.	.	.	.	52	31	49	79	61	31	.
Panely z masivního dřeva	.	.	.	.	92	79	55	82	116	218	.
Ostatní	.	.	.	.	173	35	8	33	36	0	.

Tabulka 2 - Podíl dřevostaveb na trhu RD v ČR za posledních 10 let [vlastní zpracování dle: Český statistický úřad, 2021]

Podíl dřevostaveb na trhu RD v ČR (%)	8,69	10,04	8,56	9,48	13,35	14,36	14,84	16,10	14,95	15,65	14,64
---------------------------------------	------	-------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

V tabulce 1 je viditelné srovnání dokončených staveb pro bydlení podle svíslých nosných konstrukcí za posledních 10 let. Do roku 2018 u RD je vidět meziroční nárůst dřevostaveb na českém trhu, v roce 2019 a 2020 ovšem mírně klesl.

Tabulka 2 poukazuje na podíl dřevěných rodinných domů se v České republice, který se drží v posledních pěti letech v průměru zhruba na 15 %.

2.1 Výhody výstavby objektů ze dřeva

- Šetrnost dřevostaveb k životnímu prostředí vzhledem k energetické bilanci na výrobu a transport dřeva.
- Minimální energetická náročnost dřevostaveb a s tím spojená úspora energie s ochranou tepla.
- Variabilita tloušťky obvodových stěn a s tím i spojená úspora prostoru oproti plynosilikátovým nebo cihlovým blokům.
- Rychlost instalace jednotlivých prvků na zhotovenou základovou desku trvá velmi krátkou dobu, řádově 3 až 8 týdnů, při větších odchylkách od projektu do třech měsíců.
- Suchá forma výstavby u dřevostaveb umožňuje stavebníkovi stavět celoročně a není tak závislý na příznivé počasí, teploty a další faktory.
- Nižší náklady na přepravu materiálu z hlediska nižší hmotnosti dřeva a dřevěných prvků.
- Nízké náklady na likvidaci stavebního odpadu.
- Estetické hledisko a příjemný čichový vjem.
- Případná likvidace dřevostaveb je energeticky nenáročná a šetrná k životnímu prostředí. [1; 2; 3]

2.2 Nevýhody výstavby objektů ze dřeva

- Životnost dřevostaveb je v porovnání se stavbami z kamene nebo cihel nižší.
- Lehké dřevěné konstrukce mají nižší tepelně akumulční schopnosti.
- Objemové a tvarové změny vlivem vlhkosti.
- Požární odolnost nenabývá hodnot jako u cihlových objektů.
- Anizotropnost dřeva, možné přítomnosti chyb materiálu, např. suků, trhlin.
- Dodatečné dotvarování, tečení dřeva vlivem reologických vlastností.
- Dřevostavby jsou více náchylné na plísně v místech s vyšší vlhkostí.
- V případě povodní jsou dřevostavby oproti zděným domům méně stabilní. [1; 2; 4]

3 Ekologické aspekty dřevostaveb

Dřevo jako stavební materiál v porovnání s ostatními stavebními materiály jako beton, ocel nebo cihla nemá z hlediska environmentálních parametrů konkurenta. Mezi hlavní environmentální parametry stavebních materiálů patří:

- **Spotřeba primární energie** – *PEI (Primary Energy Input)* – svázaná energie, která udává celkovou spotřebu přírodních zdrojů energie během životního cyklu výrobku. [5]
- **Potenciál globálního oteplování** – *GWP (Global Warming Potential)* – svázané emise CO_2 , udávající emise vyprodukované během celého životního cyklu daného výrobku, které způsobují skleníkový efekt. [6]
- **Potenciál acidifikace prostředí** – *AP (Acidification Potential)* – svázané emise SO_2 udávající emise výrobku během celého jeho životního cyklu, které způsobují okyselování (acidifikaci) půdy. [6]

Svázanou energií se rozumí množství primární energie z neobnovitelných zdrojů, která je zapotřebí celému procesu, počínaje vytěžením suroviny přes její zpracování do konkrétního stavebního výrobku, přepravu výrobku, zabudování do stavby a jeho likvidaci včetně recyklace. U svázaných emisí se posuzuje produkce SO_2 a CO_2 také za celou existenci od výroby po recyklaci. [7]

Mezi ekologické aspekty dřeva patří:

- **Obnovitelnost** – po vytěžení dřeva lze za minimální vložené energie na stejném místě vysadit novou surovinu, která vyrostе za kratší dobu, než je životnost správně postavené dřevostavby. [7]
- **Zpracovatelnost** – dřevní odpad se dále zpracovává a vylučuje se tvorba nezpracovatelného odpadu. [3]
- **Energie** – dřevo je významný nosič energie, výroba a spotřeba dřevěných výrobků vede ke snížení spotřeby energie a tím spojené zátěže životního prostředí. [3]

- **Pasivní bilance emisí CO₂** – dřevo zpracuje více emisí CO₂ během životního cyklu růstu, než kolik emisí je uvolněno při jeho zpracování. Využívání dřeva tak vede ke snížení skleníkového plynu CO₂ v ovzduší. [3; 7]

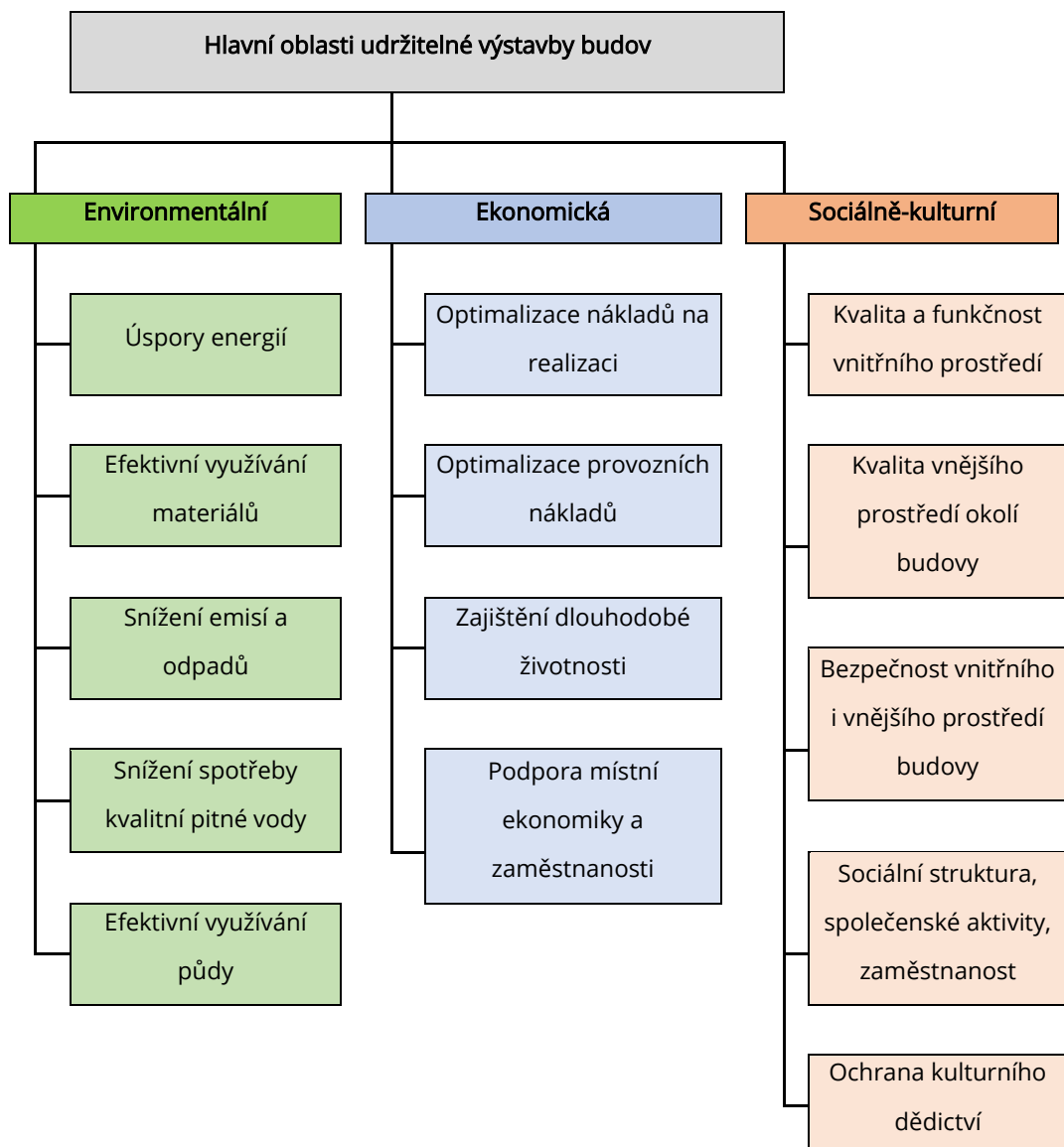
Stavebnictví představuje obecně pro životní prostředí obrovskou zátěž. Hospodárnější zacházení s energetickými zdroji a menší produkce skleníkových plynů je cestou, jak částečně chránit životní prostředí.

3.1 Trvale udržitelná výstavba

Vychází z obecného pojmu trvale udržitelného rozvoje, jehož definice se nachází v zákoně o životním prostředí.

Trvale udržitelný rozvoj společnosti je takový rozvoj, který současným i budoucím generacím zachovává možnost uspokojovat jejich základní životní potřeby, a přitom nesnižuje rozmanitost přírody a zachovává přirozené funkce ekosystémů. [8, § 6]

Udržitelnou výstavbou je tak efektivně a funkčně navržená a vystavěná budova, která je velikostně přiměřená danému účelu s malou zátěží na vnější prostředí po celou dobu své existence a s kvalitním vnitřním prostředím pro své uživatele. Je to aplikace komplexního přístupu, jehož technické řešení skloubí optimálně a vyváženě aspekty z oblasti environmentální, sociální i ekonomické. [5]



Obrázek 1 - Hlavní oblasti udržitelné výstavby budov [autor dle: 9, s. 1]

4 Konstrukční systémy dřevostaveb

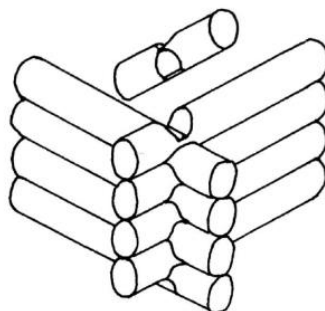
Konstrukční systémy dřevostaveb se odvozují od hlavních svislých a vodorovných konstrukčních prvků, které se vyznačují různým stupněm prefabrikace a následně staveništní pracností. Podle základní typů nosných konstrukčních systému se dřevostavby dělí na:

- srubové / trémové,
- hrázdné / příhradové,
- systém z prostorových buněk,
- systém z prefabrikovaných tvarovek,
- panelové,
- skeletové,
- rámové (sloupové). [11]

4.1 Srubové a trémové konstrukce

Systém novodobé srubové výstavby bývá tvořený z kuláčů, dvoustraně a čtyřstranně hraněných, případně profilovaných trémů, jež vytvářejí masivní stěny. Trémy jsou kladeny vodorovně na sebe a jsou spojovány pomocí dřevěných kolíků, vloženými péry, případně na pero a drážku, která musí být vyfrézovaná v ložných plochách trémů. Pro srubovou konstrukci je typické nárožní provedení stěn budovy, kde se jednotlivé trémy překládají a spojují na přeplátování. [1; 3; 12]

Srubové stavby potřebují ze všech dřevěných staveb nejvíce dřevní hmoty na 1 m². Pro srovnání je to zhruba osmkrát až patnáctkrát více než u subtilních sloupkových konstrukcí. Odpad při výrobě nosných trému srubových staveb minimální. Akustické vlastnosti a akumulace tepla jsou u těchto typů staveb velmi dobré. [7]



Obrázek 2 - Spoj s přeplátováním při přesahujícím zhlaví srubu [3, s. 27]

U trémových stěn se přeplátování nepoužívá, ale vodorovné trámy bývají ukončeny kolmým řezem, případně čepem a vkládají se do drážek svislých sloupů. Konstruktivní prvky u trémových konstrukčních systémů se skládají z vodorovných a svislých sloupků čtyřstranně hraněných. [1; 3; 12]

4.2 Příhradové, hrázděné konstrukce

Tyto konstrukční systémy tvoří tesařsky vázaná kostra z hraněného řeziva vyplněná různými druhy vyzdívek. Nosná kostra musí být tvořena staticky dimenzovanými profily tloušťky 100×160 až 160×180 mm, musí být vyztužena uhlopříčně orientovanými vzpěrami a stěnovými rozpěrami. U hrázděných budov zahrnuje kostra i vázaný strop a sedlovou střechu. [1; 12]

Dnešním stavebně technologickým a tepelně technickým požadavkům už tento typ klasického konstrukčního řešení nevyhovuje. V případě realizace tohoto systému v dnešní době by bylo z důvodů estetických a výrazových v návaznosti zakomponování stavby do krajiny či okolí výstavby. [1]

4.3 Systém z prostorových buněk

Jedná se o konstrukční systém využívající kompletně sestavených prostorových buněk z výroby, jejichž provedení stěn obsahuje kompletní skladbu včetně opláštění, finálních povrchových úprav a instalací vždy v konkrétní prostorové buňce. Na základě předem stanoveného postupu při návrhu probíhá na staveništi montáž do

finální podoby. Provedení tohoto systému bývá na základě ekonomické analýzy, účelností objektu, dispozičním řešením konkrétního objektu a přihlédnutím k možnostem dopravy a montáže na místě objektu. [1]

4.4 Systém z prefabrikovaných tvarovek

Tento systém je odvozený z vyzdívání stěn z velkoformátových cihel ovšem s rozdílem, že se jedná o suchý způsob montáže, založený na jednoduché modulové výstavbě ze standardizovaných a průmyslově vyráběných dřevěných modulů. Standardní kus má rozměry š. 600 × v. 300 mm o hmotnosti 5 až 10 kg a je vyroben z vysušených desek spojených ekologickým lepidlem. Dutiny jsou vyplněny tepelnou izolací na bázi recyklovaného papíru, korku nebo perlitu. Montáž probíhá systémem pero drážka nebo kolíkovými spoji. Kromě základních modulů se vyrábějí také poloviční, čtvrtinové a doplňkové moduly. [3]



Obrázek 3 - Stěna z prefabrikovaných tvarovek pro pasivní dům [3, s. 38]

4.5 Panelové konstrukce

V evropských zemích nejrozšířenější forma stavebně-konstrukčních systému při výstavbě dřevěných rodinných domů. Základem konstrukce panelů je dřevěný rám, který odpovídá provedením zhruba sloupkovému konstrukčnímu systému, ale zhotovuje se sbíjením svislých sloupků s vodorovnými prvky pomocí specializovaných strojů a pomůcek předem ve výrobních závodech. Tento způsob montáže zajišťuje přesnost stavebních dílců, které jsou ve výrobních halách oplášťovány konstrukčními deskami. Z vnitřních stran se do panelů instalují rozvody pro instalace a kabeláž. Vzhledem k dokonalejšímu utěsnění problémových detailů a snadnějšímu provedení jsou ve výrobnách do panelů osazovány okna a dveře. Základním konstrukčním prvkem tohoto systému je pak hotový nosný panel obvodového pláště, panel vnitřních nosných a dělicích stěn. Po převezení z výroby následuje velmi rychlý způsob výstavby. Obvyklý čas montáže vrchní stavby nad základovou deskou do finální podoby je 3 až 10 dnů. Rozměry panelů se pohybují v modulu od šířky 1,2 metru s hmotností do 80 kg, kdy není potřeba zdvihacích mechanismů až po celostěnové panely dlouhé až 12 metrů. [1; 12; 13, s. 90-92]

4.6 Skeletové konstrukce

Jedná o prostorový nosný systém, který využívá svislé sloupky a vodorovné nosné prvky, a to průvlaky, které jsou ukládané nejčastěji v jednom směru a ztužidla ukládaná kolmo. Na průvlaky jsou pak ukládány stropní trámy nebo desky. Tato rámová konstrukce je typická pro výraz architektury s přiznanými nosnými prvky z masivního dřeva. Skeletové konstrukční systémy jsou charakteristické svou architektonicky půdorysnou dispoziční volností. Průvlaky nebo ztužidla mohou být zdvojeny a mohou tak tvořit tuhý rámový spoj. U více podlažních objektů je však kvůli prostorové tuhosti nutné uvažovat o výztužných stěnách. Nosné sloupky a jednotlivé rámy bývají od sebe ve vzdálenosti několika řádech metrů, přenášejí tak větší zatížení a jsou více namáhány. Výplně obvodových stěn a dělicí příčky neplní nosnou funkci. [1; 13, s. 92-94]

Konstrukce dřevěného skeletu se zhotovují jako:

- **Těžký dřevěný skelet**, zkr. TDS (anglicky „Heavy timber constructions“), který se využívá pro výstavbu větších rozsahů a vícepodlažních dřevostaveb. Konstrukčními prvky jsou svislé (sloupy) a vodorovné (průvlaky, ztužidla, trámy). Systém připomíná např. skeletů ocelový. Materiálem bývá nejčastěji:
 - Rostlé řezivo – jehož, výhodou bývá nízká cena, snadné zpracování, dostupnost a nevýhodou omezená únosnost, dotvarování, horší požární odolnost a biologické napadení.
 - KVH řezivo (pozn. autora „z německého slova *Konstruktionsvollholz*, překlad běžné řezivo, [14]), dále lepené lamelové dřevo – LLD, lepené vrstvené lamelové dřevo – LVL, lepené vrstvené hranoly – BSH. Výhodou těchto materiálů je rozměrová přesnost jednotlivých prvků s možností jejich dimenze na velká rozpětí, velkou výhodou je možnost výroby zakřivených prvků. Nevýhodou je cena, která je oproti prvkům z rostlého řeziva mnohonásobně vyšší.
- **Lehký dřevěný skelet**, zkr. LDS (anglicky „Platform frame systém“), který je typický pro výstavbu rodinných domů a objektů s menšími rozpony u nosných svislých konstrukcí do dvou nadzemních podlaží. Nosnou svislou konstrukci tvoří rámy, které jsou z vodorovných prvků (základový práh, pozední věnec) a svislých sloupků. Nejvíce zastoupeným materiálem u těchto konstrukčních prvků je KVH řezivo. Na stavebním trhu se také objevují prvky ve tvaru I nebo také žebříkové nosníky. [11]

4.7 Sloupkové / rámové konstrukce

Konstrukční systém obvodových a vnitřních stěn je tvořen hraněnými profily, u kterých je jejich šířky dvou až tří násobkem jejich tloušťky. Jde o rámový způsob výstavby ze sloupků, které jsou ovlivněny statickými a technickými požadavky. Ztužení stěn v rovině stěny je zabezpečeno konstrukčními deskami, které jsou voleny na nosnou kostru tak, aby zabezpečovaly i spolupůsobení s dřevěným roštem. Připevňovány jsou na základě jejich tloušťky hřebíky nebo sponkami. Na vnitřní straně obvodových stěn či stropu bývá umístována parozábrana nebo parobrzdá. Rozvody inženýrských sítí je možno vést v konstrukci předstěny zavěšenou na pomocném roštu.

Shodný profil jako mají svislé sloupky se používá v celém půdorysu každého podlaží k horizontálnímu ztužení. K obvodovým stěnám je spojován pomocí hřebíků, tak že v rozích stěn vytváření přeplátování jednotlivých konstrukcí. Tento konstrukční systém je velice přizpůsobivý pro snadnou a přehlednou montáž stavby. [1; 13]

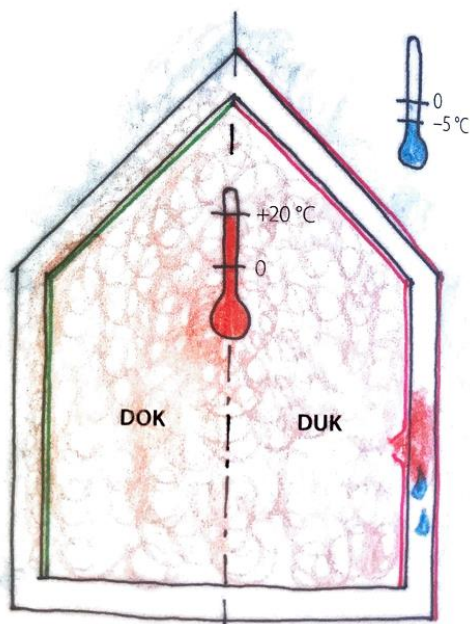
V současné době řešení obvodových pláštů na českém se naskytuje ve dvou konstrukčních a materiálových variantách včetně jejich kombinací. Označení pro tyto dva základní zástupce vychází z americké a evropské verze provedení obvodového pláště.

- **Americká verze** je odvozená od systému „*Two by Four*“, pro který je typické odvození průměru 2×4 palce pro základní dimenzi sloupkových prvky nosné stěnové konstrukce. V metrické míře tomu odpovídá sloupek o průřezu 50×100 mm. Při této dimenzi nelze dle ČSN dosáhnout požadovaných hodnot tepelného odporu, kvůli tomu se pro český trh používá dimenze 2×6 palce, která odpovídá hodnotám 50×150 mm u neopracovaných prvků z rostlého dřeva, případně profilů 45×140 mm u čtyřstranně hoblovaných prvků. U této verze se používá ke ztužení stěn velkoformátové OSB desky určené do vlhkého prostředí.
- **Evropská verze** vychází z průřezu sloupků 60×100 a 120×150 mm. Ke ztužení stěn v rovině se nejčastěji používají cementotřískové desky. [1; 3; 12]

Dokončení obvodové stěny z exteriéru je nejčastěji zateplovacím systémem z polystyrénu, nebo desek na bázi minerálních vláken a dřevěných vláken, na kterých je příslušná omítka. Následně po dokončených rozvodech instalací a vyplnění prostoru mezi konstrukčními prvky nosného rámu tepelnou izolací ze skelných nebo minerálních vláken je z vnitřní strany provedena parozábrana. Na základě požárního odolnosti je vnitřní povrch obvodových stěn obložen sádkartonovými nebo sádrovláknitými deskami. Případně je dále konstrukce obvodových stěn z vnější strany doplněna tepelně izolačními deskami osazenými mezi vodorovné latě a zakryta difúzní kontaktní folií. Na svislý odvětrávaný rošt je pak možné provést fasádní obklad z palubek. [1; 13]

5 Difúzně uzavřené a otevřené konstrukce

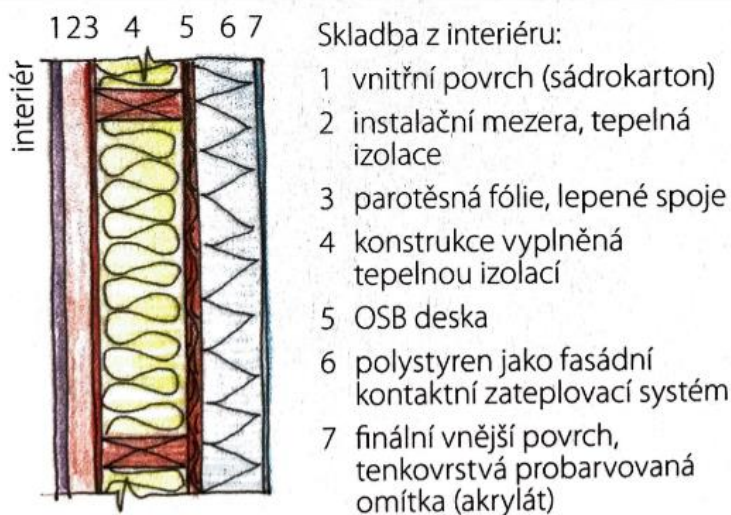
V rámci dřevostaveb a jejich skladeb obvodových plášťů se z hlediska prostupu vlhkosti těmito skladbami rozlišují dva základní typy konstrukcí, a to difúzně otevřené konstrukce (dále DOK) a difúzně uzavřené konstrukce (dále DUK).



Obrázek 4 - DOK umožňují prostup suchého vzduchu a vodní páry mechanismem difúze, naopak difúzně uzavřené konstrukce (DUK) tento efekt neumožňují. [15, s. 112]

5.1 Difúzně uzavřené konstrukce (DUK)

Tento systém konstrukce využívá ve skladbě obvodového pláště parotěsnou vrstvu, která zabraňuje v prostupu vodních par do konstrukce a předchází tím možné kondenzaci. Bez této vrstvy vlhkost nebo v místě jejího porušení se v rosném bodě zkondenzuje na kapalnou vodu a hromadí se v konstrukci. Tím se pak vytváří lepší podmínky pro vznik a růst dřevokazných hub, čemu může nastat porušení samotné statiky konstrukce celé stavby. [1]



Obrázek 5 - Příklad skladby DUK [15, s. 115]

Pro difúzně uzavřené konstrukce je typická rámová nosná konstrukce vyplněná minerální izolací, která je doplněná o fasádní exteriérovou izolaci, která uzavře vlhkost v konstrukci. Parotěsná vrstva se klade zpravidla mezi dřevěný rám a instalační předstěnu, která slouží proti porušení parotěsné fólie v případě např. montáže poličky pomocí vrutů. Instalační předstěna bývá složena z tepelné izolace a desek na bázi sádkartonu. [1]

Mezi výhody DUK patří:

- osvědčený způsob montáže – dlouholetá tradiční metoda,
- možnost různé tloušťky exteriérové tepelné izolace,
- možnost dosáhnout vyšších tepelně izolačních vlastností,
- levnější provedení konstrukce. [1]

Mezi nevýhody patří DUK:

- nutnost řešit odvod par pomocí přirozeného větrání, případně nuceného větrání,
- důkladná kontrola provedení parozábrany v průběhu realizace
- vnitřní klima objektu dřevostavby s nižší vzdušnou vlhkostí. [1]

5.2 Difúzně otevřené konstrukce (DOK)

Nejsou na stavebním trhu v tak dlouhém působení jako DUK, souvisí to s mnoha novými technologiemi a konstrukčně-izolačními materiály na bázi dřevěných a minerální vláken. Difúzně otevřená konstrukce oproti DUK umožňuje vodní páře, která je vytvořena běžnými denními činnostmi, (sušení prádla, vaření, mytí nádobí, hygiena) prostupovat skrze obvodovou skladbu konstrukce zejména v zimních obdobích směrem do exteriéru. DOK nevyužívá parotěsnou zábranu, která tento proces znemožňuje. [1; 15]

Výhody DOK:

- konstrukce přirozeně umožňuje proudění plynů a par, interiér a exteriér jsou spolu vzájemně efektem difuze propojeny,
- dosažení lepších užitných vlastností, příjemnější vnitřní klima objektu,
- autoregulace vlhkosti vnitřního prostředí podle vnějšího prostředí probíhá přímo skladbou stěny. [1; 15]

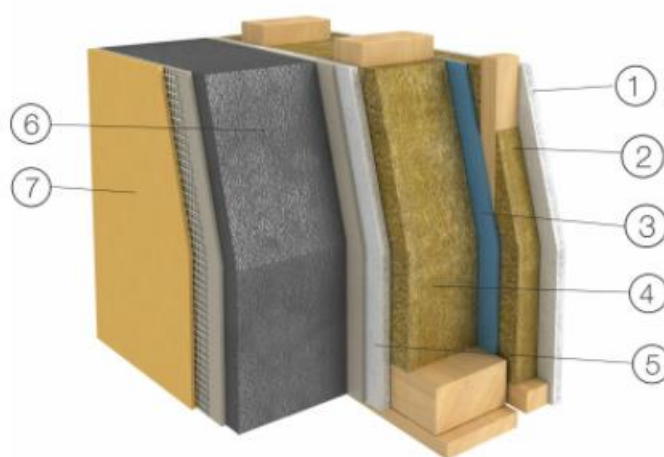
Nevýhody DOK:

- vyšší náročnost při návrhu skladby, výběru vhodných materiálů, jejich potřebných difúzních vlastností a jejich vzájemného propojení,
- vyšší nároky na provedení celé skladby konstrukce,
- finančně náročnější než DUK. [1; 15]

6 Skladby obvodových stěn dodavatelů dřevostaveb

Difúzně uzavřené konstrukce:

Dodavatel: **RD Rýmařov s.r.o. (Rýmařov)**
Typ konstrukce: **Obvodová stěna s izolační předstěnou**
Tloušťka stěny: 347 mm [16]



Obrázek 6 – Skladba difúzně uzavřené obvodové stěny RD Rýmařov s.r.o. [zdroj: 16]

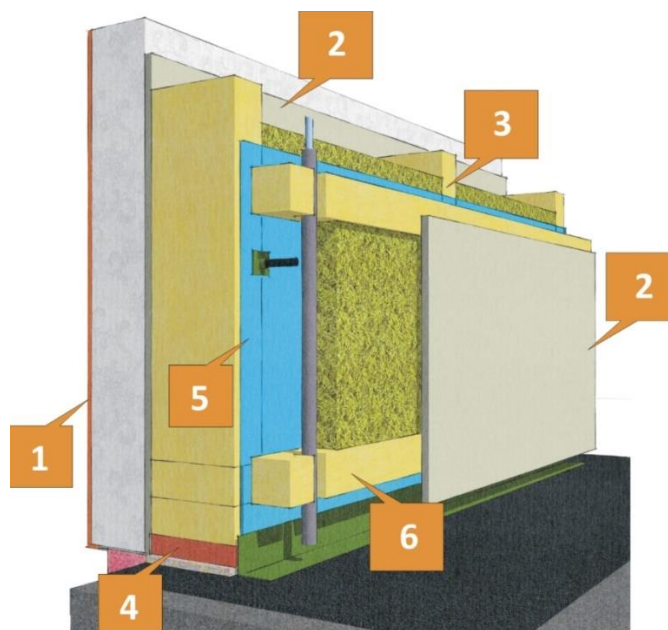
Skladba stěny: (z interiéru)

1. Fermacell – sádrovláknitá deska 15 mm
2. Hranol 60x40 mm, 40 mm skelná izolace (ISOVER PIANO)
3. Folie parozábrana
4. Hranol 60x120 mm, 120 mm minerální izolace (ISOVER Akustik TP)
5. Fermacell – sádrovláknitá deska 15 mm
6. 150 mm fasádní polystyren grafitový (šedý)
7. 7 mm malta, síťovina, omítka

[1; 16]

Dodavatel: **Bajulus s.r.o. (Letonice)**
Typ konstrukce: **Obvodová stěna standartní**
Tloušťka stěny: 335 mm

[21]



Obrázek 7 – Skladba difúzně uzavřené obvodové stěny Bajulus s.r.o. [zdroj:21].

Skladba stěny: (z exteriéru)

1. Silikonová omítka, fasádní systém z EPS
2. Vnitřní a vnější opláštění deskami Rigistabil tl. 15 mm
3. Nosná konstrukce z KVH hranolů, čedičová izolace ISOVER WOODSIL
4. Spodní práh z modřínového dřeva
5. Vzduchotěsná (parotěsná) vrstva
6. Instalační předstěna tl. 60 mm s čedičovou izolací ISOVER AKU

[21]

Dodavatel: **VEXTA a.s. (Bořanovice)**
Typ konstrukce: **Obvodová stěna OW1-160 PLUS**
Tloušťka stěny: 360 mm [17]



Obrázek 8 - Skladba difúzně uzavřené obvodové zdi VEXTA a.s. [zdroj: 17]

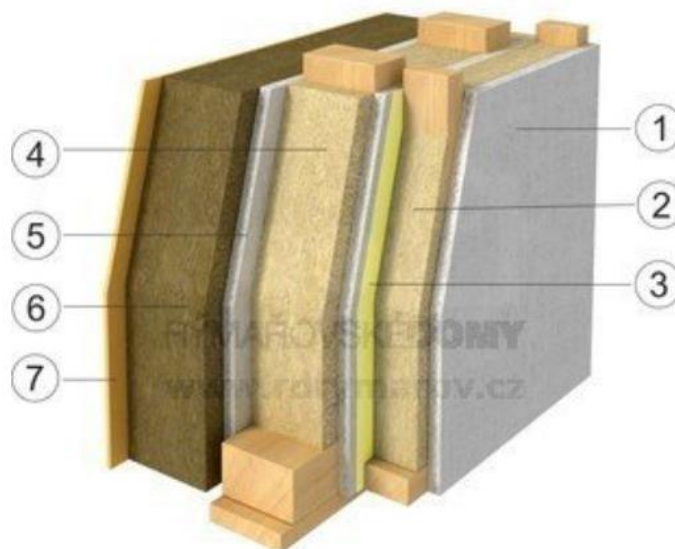
Skladba stěny: (z exteriéru)

1. Silikonová omítka, zrnitost 1,5 mm, penetrace, sklotextilní síťovina, lepicí stěrka
2. Polystyren EPS (70F GREY) tl. 160 mm, lepicí stěrka
3. Fermacell – sádrovláknitá deska tl. 12,5 mm
4. Nosný rám, sklovláknitá izolace (URSA PUREONE 34) tl. 120 mm
5. Parozábrana
6. Instalační předstěna tl. 40 mm
7. Fermacell – sádrovláknitá deska tl. 12,5 mm
8. Malba / obklad

[17]

Difúzně otevřené konstrukce:

Dodavatel: **RD Rýmařov s.r.o. (Rýmařov)**
Typ konstrukce: **Difúzně otevřená obvodová stěna**
Tloušťka stěny: 370 mm [16]



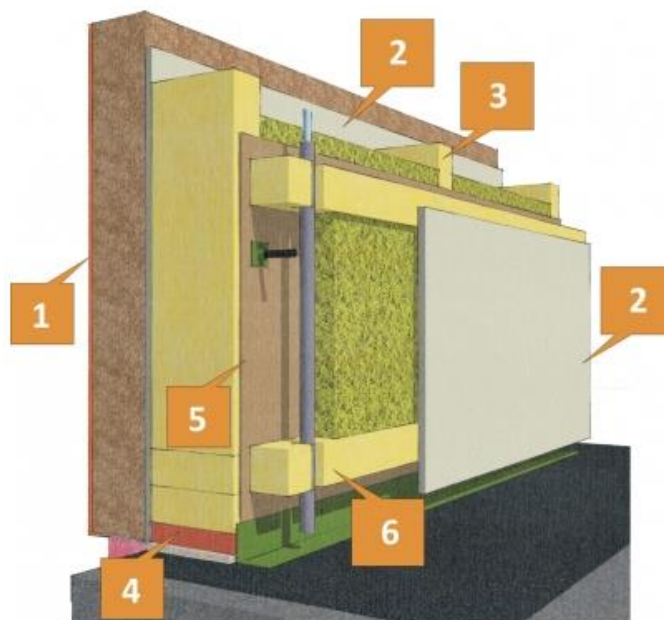
Obrázek 9 – Skladba difúzně otevřené obvodové stěny RD Rýmařov s.r.o. [zdroj: 16]

Składba stěny: (z interiéru)

1. Fermacell – sádrovláknitá deska 15 mm
2. Montážní předstěna, minerální vlna (ISOVER Domo) tl. 40 mm
3. Fermacell (Vapor) – sádrovláknitá deska s parobrzdou tl. 13 mm
4. Nosný rám, minerální vlna (ISOVER Akustik TP3) tl. 120 mm
5. Fermacell – sádrovláknitá deska 15 mm
6. Minerální vlna (ROCKWOOL FrontRock MAX E) tl. 2 x 80 mm
7. Difúzně otevřený fasádní systém 7 mm

[16]

Dodavatel: **Bajulus s.r.o. (Letonice)**
Typ konstrukce: **Obvodová stěna difúzně otevřená**
Tloušťka stěny: 335 mm [21]



Obrázek 10 – Skladba difúzně otevřené obvodové stěny Bajulus s.r.o. [zdroj:21]

Skladba stěny: (z exteriéru)

1. Silikátová omítka, fasádní systém STEICO s dřevovláknitou izolací
2. Vnitřní a vnější opláštění deskami Rigistabil tl. 15 mm
3. Nosná konstrukce z KVH hranolů, čedičová izolace ISOVER WOODSIL
4. Spodní práh z modřínového dřeva
5. Vzduchotěsná (parotěsná) vrstva
6. Instalační předstěna tl. 60 mm s čedičovou izolací ISOVER AKU [21]

7 Tepelně izolační materiály

Dříve byly tepelné izolace ve stavebnictví používány v tloušťkách jen několika centimetrů. V dnešní době není neobvyklé konstrukce tepelně izolovat i půl metrem izolace. Tepelné izolace šetří energii na vytápění i chlazení, jejich použití se zvyšuje požární odolnost, slouží k zajištění lepších akustických vlastností objektu a celkovému komfortu bydlení. Existuje mnoho kategorií tepelných izolací, např. podle pevnosti v tlaku na tuhé desky, měkké a rohože. Dále jako přírodní tepelné izolace, kam patří sláma, dřevo-vlákno, ovčí vlna, konopné vlákno apod. Opakem přírodních izolací jsou průmyslově vyráběné izolace, jako polystyren, izolace z kamenné či skelné vlny, PUR pěna. Další rozdělení je podle způsobu aplikace, a to na izolace klasické, tedy vkládané do konstrukce, foukané a stříkané. Kritérii při volbě tepelných izolací jsou zejména tepelně technické parametry, požární vlastnosti, akustické parametry, cena a také jejich energetická náročnost a vliv na životní prostředí. [11]

7.1 Minerální izolace

Vyrábějí se z křemičitanové taveniny v kombinaci s pojivem ze syntetické pryskyřice a vytvářejí tak pevné vláknité pletivo. Rozdělují se na kamenné (čedič, diabas) a skelné (písek, sklo). Speciální druh pak tvoří pěnová skla. [11; 17]

7.1.1 Kamenná vlna

Jedná se o nejčastěji používaný izolační materiál do konstrukcí dřevostaveb. Vstupními materiály na výrobu jsou čedič, vysokopevnostní struska a diabas, dále se ke směsi přidávají brikety, vyrobené z recyklovaných výrobků. Po roztavení (1600 °C) se do tekuté hmoty přidávají impregnační oleje, které zlepšují stabilitu a odolnost vláken vůči vodě. Materiál je možné zpětně recyklovat. Dle hustoty desek se dělí na měkkí výplňové desky a na tuhé desky fasádní či podlahové. [11]

Tabulka 3 – Základní vlastnosti kamenné vlny [vlastní zpracování dle: 11, s. 45]

	základní vlastnosti	
	rozměry [mm]	tloušťka [mm]
Měkčí výplňové desky	600×1200 625×1000	40 – 200
Tuhé desky po podlah, střech a fasád	600×1200 600×1000	30 – 300



Obrázek 11 – Příklad tuhých desek z kamenné vlny tloušťky 140 mm při použití jako tepelná izolace ve skladbě střechy [autor]

7.1.2 Skelná vlna

Skelná vlna podobně jako minerální vlna se vyrábí tavením hornin při vysokých teplotách, a to písku a skla. Skelná vlna je měkčí a jemnější než vlna minerální. Menší velikost vlákna umožňuje teoreticky dosáhnout lepších parametrů tepelné vodivosti, nicméně nejběžnější velmi měkké skelné vlny se kamenným vlnám vyrovnávají. Skelná vlna má menší požární odolnost než kamenná. Pro výrobu se ve velké míře využívá sklo ze sběru druhotných surovin, např. i sklo ze starých CRT monitorů a televizí. Možnost recyklace je podobně jako u kamenného vlákna do formy drcené minerální izolace, která se může uložit volně do prostoru půdy nebo je „foukaná“ do dřevěných dutin. Skelná vlna se vyrábí ve formě měkkých výplňových rolí a tuhých desek do podlah a fasád. Do střešních konstrukcí dřevostaveb se používají měkké skelné vlny, do stěn dřevostaveb se používají hustší role, které mají větší pevnost i

lepší tepelné parametry. Do roštových konstrukcí provětrávaných stěn či akustických plovoucích podlah se používá skelná vlna ve formě tuhých desek. [11]

Tabulka 4 – Základní vlastnosti skelné vlny [vlastní zpracování dle: 11, s. 47]

	základní vlastnosti	
	rozměry [mm]	tloušťka [mm]
Měkčí výplňové role	Role v šířkách 1200 nebo 1300	50 – 300
Tuhé desky po podlah a fasád	600×1200	30 – 140



Obrázek 12 - Příklad měkké skelné vlny při použití jako tepelné izolace stěny atiky [autor]

7.1.2 Pěnové sklo

Výrobními surovinami jsou jemný uhlíkový prach a směs skleněné moučky, kde při zahřátí okolo 1000 °C dochází k natavení skleněného prášku a k oxidaci uhlíkových mikročástic. Při výrobě se používá staré a nové sklo ze sběrných dvorů. Hotový výrobek je znovu plně recyklovatelný. Pěnové sklo má vysokou pevnost a absolutní difúzní uzavřenost čistého materiálu. U dřevostaveb lze využít např. k izolování základových konstrukcí, případně u speciálních detailů, kde je nutná vysoká pevnost a voděodolnost. Je odolné proti biologickým vlivům a většině chemických vlivů. Nejčastější formy pěnového skla jsou vysokopevnostní desky nebo šterk. [11]



Obrázek 10 - Štěrk z pěnového skla [zdroj: 11]



Obrázek 10.1 - Deska pěnového skla [zdroj: 11]

7.2 Přírodní izolace

Rozdíl mezi přírodními a nepřírodními (průmyslovými, syntetickými) materiály je ve své podstatě v tom, jakým způsobem je prvotní surovina materiálu upravována. Přírodní materiály zůstávají téměř ve stejné nebo málo upravené podobě, což je v některých případech výhodou i nevýhodou. [11]

7.2.1 Tepelná izolace ze slámy

Sláma je i v dnešní době stále považována za netradiční stavební materiál. Je to přírodní materiál, který je plně recyklovatelný a má zápornou bilanci produkce emisí CO₂. Pro investory je nejdůležitější vlastností slámy její nízká cena. Ve stavebnictví bývá sláma využívána ve formě malých slaměných balíků, které lze použít jako tepelnou izolaci vkládanou mezi sloupky lehkého dřevěného skeletu. Ze slaměných balíků lze stavět i svislé nosné konstrukce „Loadbearing straw“. Problémem je dostupnost malých slaměných balíků v dobré kvalitě. Sláma bývá zemědělci balíkována do velkých balíků. Doprava materiálu se při větších vzdálenostech může výrazně zvýšit. Zabudování do konstrukce je většinou pracné a časově náročné. Jako alternativa balíků je sláma drcená (rozvlákněná), která se ale v současné době ve stavebnictví na českém trhu nevyužívá. [11]

7.2.2 Tepelná izolace z ovčí vlny

Dlouhodobě známý tepelně izolační materiál. Ovčí vlna patří mezi obnovitelné a recyklovatelné přírodní materiály, jejíž výhodou je trvalá pružnost, která se dá využít v řadě těsnění stavebních detailů, např. připojovacích spár oken a dveří. Ovčí vlna je zdravotně nezávadná se schopností aktivně čistit vzduch v interiérech budov od některých škodlivin. Má schopnost regulovat vzdušnou vlhkost, váže na sebe vodu a je propustná pro vodní páru. Mezi její další vlastnosti patří její nehořlavost a nepřispívá k šíření požáru. Ve stavebnictví je obvyklá čištěná vlna, opatřená ochranou proti biologickému napadení nebo retardéry hoření. Dodává se jako měkké rohože nebo desky ve tloušťkách 35 až 400 mm. Pro řešení technických detailů se využívá těsnící provazce nebo volná ovčí vlna. [11]



Obrázek 13 - Tepelně izolační rohož z ovčí vlny [zdroj: www.isolena.cz]

7.2.3 Konopné tepelné izolace

Konopné pazdeří jsou vlákna z technického konopí, které se využívají ve stavebnictví. Jejich využití se uplatňuje kromě tepelné izolace i jako rozptýlená výztuž v silikátových vrstvách, podobně jako u vlákno-betonu. Tepelná izolace z konopí má dobré tepelné i akustické parametry, odpuzuje vodu a dokáže propouštět vodní páry. Konopí je trvanlivé, plně recyklovatelné, zdraví neškodné, odolné proti napadení hmyzu a nepodléhá hnilobě. Ve stavebnictví se využívá především při zateplení střech, stěn, i plovoucích podlah jako tepelně nebo zvukově izolační materiál. Na trhu je konopná tepelná izolace dostupná ve formě tuhých desek, pásků nebo rohoží. Lze se

setkat i s drceným konopným pazdeřím, které je možno aplikovat z formy foukáním, nebo je dodáváno v pytlích. [11]

7.2.4 Dřevovláknité tepelné izolace

Vyrábí se rozvlákněním štěpků nebo odřezků z vláken dřeva nebo jiných lignocelulózových vláken při vysokých teplotách nebo tlaku. Při zvýšené teplotě vlákna díky termoplastickým schopnostem změknou, přeskládají se a slepí v nové formě. Podle hustoty materiálu se dřevovláknité desky dělí na tvrdé desky (HDF), polotvrdé desky (MDF), které se například používají v nábytkářském průmyslu jako záda skříní, záda zásuvek apod. a na měkké desky (LDF). Vyrábí se z plně obnovitelných surovin s krátkým vegetačním obdobím z lesů pěstovaných dle FSC (pozn. autora, *Forest Stewardship Council, mezinárodní nezisková organizace pro zásady udržovaného lesního hospodářství, [19]*). Desky mají dobré tepelné i akustické parametry, jsou paropropustné a eliminují tepelné mosty. Dobře akumulují a regulují vlhkost a její přenos uvnitř konstrukcí, tím nedochází k tvorbě hub a plísní. Vysoká tepelná akumulace má za výsledek v létě nepřehřívání interiéru, teplo je převáděno s časovým gázovým posunem cca 12 až 16 hodin. V zimě se tímto snižují podstatně ztráty tepla. Pro tepelnou izolaci se používají měkké dřevovláknité desky (LDF), jejichž hustota je menší než 400 kg/m^3 . U málo slisovaných měkkých dřevěných desek s hustotou kolem 50 kg/m^3 se tyto výrobky používají jako výplňový nebo izolační materiál připevněný k nosné konstrukci stěn ve formě měkkých výplňových desek. Tužší desky (160 až 270 kg/m^3) se používají do podlah, střech, stropů a na fasády. [11]



Obrázek 14 - Dřevovláknitá izolace [zdroj: web.steico.com]

7.3 Syntetické izolace

Do zpracování formy tepelných izolací musí syntetické výrobky projít složitým chemickým procesem a patří mezi izolace z neobnovitelných zdrojů. Základem těchto izolací je ropa. [11]

7.3.1 EPS

Expandovaný polystyrén (EPS) patří mezi rozšířený a variabilní druh izolačního materiálu. Primární surovinou je krupice kopolenu, která vodní parou expanduje a vyplňuje tak prostor forem. Vyrábí se i ve složitějších tvarech s polodrážkou nebo profilovaným povrchem např. u perimetrických soklových desek. EPS lze vyrobit i s přídavkem grafitu pro lepší tepelně izolační vlastnosti nebo je možná následná perforace pro lepší paropropustnost. Při výrobě je možno využít čistý namletý recyklát, běžně se využívá okolo 5 % recyklátu nejvhodněji z obalů bílé techniky (lednice, TV apod.). Pěnový polystyrén se v dřevostavbách využívá nejčastěji v podlahách a fasádách. [11]

Tabulka 5 - Základní vlastnosti polystyrenu [vlastní zpracování dle: 11, s. 59]

	základní vlastnosti	
	rozměry [mm]	tloušťka [mm]
Bílé EPS	500×1000 2500×1000	20 – 300
Grafitové EPS	500×1000 2500×1000	20 – 300

7.3.2 XPS

Extrudovaný polystyren (XPS) se vyrábí pěněním kopolenové krupice stejně jako pěnově expandovaný polystyren (EPS) s rozdílem ve pění a dotvarování desek. Různě barevné desky XPS, které jsou běžně dostupné na stavebním trhu jsou pouze marketingovou záležitostí, která nemá vliv na kvalitu. Struktura expandované ho polystyrenu je nehomogenní narozdíl od EPS, vzduchové dutiny uprostřed desky jsou rozdílné ve velikosti a tvaru v porovnání s místy při povrchu. U dřevostaveb nachází

XPS uplatnění jen zřídka, a to v případech izolace soklu, případně na inverzní plochou střechu, pochozí terasu či zelenou střechu. [11]

7.3.3 PUR, PIR

Polyuretanové a polyisokyanurátové pěny patří mezi tepelné izolace s dobrými vlastnostmi s velkým uplatněním ve stavebnictví. Jejich tepelná účinnost spočívá ve výměně vzduchu v buňkách izolace za pentan a CO₂. Na rozdíl např. od XPS se tento plyn drží v buňkách izolace déle, proto se jeho tepelně izolační vlastnosti v deskách chrání hliníkovou folií. Na trhu jsou PUR a PIR izolační materiály dostupné ve formě desek, nebo volně stříkané pěny. [11]

8 Ceny ve stavebnictví

K tvorbě ceny ve stavebnictví existují tři základní přístupy:

- nákladově orientovaný,
- poptávkově orientovaný,
- konkurenčně orientovaný. [20]

8.1 Nákladově orientovaná cena

Pro vytvoření ceny nejjednodušší metoda, která kalkuluje se všemi náklady na výrobek a přičtením zisku. Při tomto postupu vychází podnik ze svých účetních a finančních údajů a nesleduje faktory jako jsou tržní poptávka a vliv konkurence. V případě vyšší ceny, než cenová úroveň konkurence se tak může negativně ovlivnit objem prodeje, za předpokladu, že nenabízí větší užitek nebo zcela nový produkt. V případě nižší ceny může být zpochybněna kvalita výrobků či vyvolat opatření konkurence. Cena stanovená pod úrovní, kterou by šlo dosáhnout v tržním prostředí přináší ztráty z ušlých příležitostí. [20]

8.2 Poptávkově orientovaná cena

Nevychází pouze z nákladů na materiál, práci, režie a dalších faktorů. Důležitějším faktorem je intenzita poptávky po stavební produkci. Vychází ze znalosti struktury poptávky a představy o objemech stavební produkce při určitých cenových úrovních. Vzájemnou interakcí průběhu nákladů a očekávaných výnosů je pak nejvýhodnější cena. Stanovení optimální ceny vyžaduje odhad reakce na cenové změny a tržních sil, které mají vliv na objem prodeje výrobku. [20]

8.3 Konkurenčně orientovaná cena

Je založená na znalosti cen výrobků konkurenčních firem. Běžná tržní cena vlastní produkce je upravována na základě analýzy konkurenceschopnosti – analýza zvláštních rysů výrobku, relativních předností a slabin a odhadu reakce konkurence. Cenové změny vedou k okamžité reakci konkurence. U tvorby ceny tímto způsobem jsou prováděny analýzy, zda tato výše postačuje ke krytí nákladů a požadovaného zisku. Pokud cena nepokrývá náklady a zisk, tak výsledkem pak může být krátkodobá ztráta, čekání na posílení pozice výrobku, snížení nákladů na výrobu či zastavení výroby. [20]

9 Oceňování stavebnictví produkce

Hlavním podkladem pro oceňování stavební produkce je projektová dokumentace, v níž jsou obsaženy všechny informace o předmětu ocenění, množství jednotlivých konstrukcí a prací, které jsou nezbytné pro realizaci.

Tabulka 6 – Struktura nákladů stavebního objektu [vlastní zpracování dle: 20, s. 10]

CELKOVÁ CENA STAVBY								
Základní rozpočtové náklady					Vedlejší rozpočtové náklady			
Přímé náklady			Hrubé rozpětí		Inženýrská a projektová činnost	Náklady spojené s umístěním stavby (NUS)	Finanční a ostatní náklady	
Hmoty	Zpracovací náklady				Zisk dodavatele	Průzkumné, geodetické, projektové práce Dozory, zkoušky, revize Kompletační činnost	Příprava a zařízení staveniště Přeložky konstrukcí Územní vlivy, provozní vlivy	Pojistné, rezerva, záruky, kauce, náklady spojené s pozemkem
Hmoty	Přímé zpracovací náklady			Nepřímé náklady				
Hmoty	Mzdy	Stroje	OPN	Režie výrobní					Režie správní
náklady na přímý materiál	náklady na přímé mzdy	náklady na provoz stavebních strojů a zařízení	odvody z mezd	náklady spojené s provozem stavby	náklady spojené se správou firmy			DPH

Základní rozpočtové náklady bývají zpravidla stejné bez ohledu na umístění stavby a dalších vlivů okolí, provozu, dodavatelů apod. Vedlejší rozpočtové náklady jsou spojeny s umístěním stavby. Výše vedlejších rozpočtových nákladů spojených s umístěním stavby bývá např. na základě dohod investora a dodavatele, nebo procentní sazbou z nákladů stavebních objektů uváděných v odborných periodikách či literatuře. Pro stanovení nákladů na inženýrskou a projektovou činnost se využívají např. Sazebníky od společnosti UNIKA, nebo Výkonový a honorářový řád ČKA a ČAIT. [20]

9.1 Ocenění pomocí rozpočtových ukazatelů

V předinvestiční fázi, kdy není k dispozici podrobná projektová dokumentace a není tak i podrobný položkový rozpočet, se využívají různé cenové nebo rozpočtové ukazatele, které se vztahují k měrné nebo účelové jednotce objektu (m³ obestavěného prostoru,

m² užitné plochy, m² zastavěné plochy, 1 žák, 1 lůžko, 1 parkovací stání apod.). Tento způsob ocenění slouží zejména k prvotnímu propočtu ceny stavby. Tato cena jako informativní materiál je odvozena z minima údajů o konkrétní stavbě. Základním kritériem pro stanovení nákladů je konstrukčně materiálová charakteristika objektu, kde lze určit rozsah a typ konstrukce. Odhadnuté ceny pomocí ukazatelů je nutno objektivizovat v případě odlišného řešení, kvality, množství vybavení nebo v případě odlišné zastavěné plochy či výšky podlaží. [20]

9.2 Ocenění pomocí stavebního rozpočtu

Jedná se o přesnější odhad ceny budoucího stavebního objektu, který se zpracovává na základě projektové dokumentace ve stupni DSP (dokumentace pro stavební povolení) nebo v podrobnějším stupni DPS (dokumentace pro provádění stavby). Oceňovacím podkladem jsou databáze jednotkových cen stavebních konstrukcí a prací. Na základě soupisu prací s výkazem výměr, resp. slepého rozpočtu se pak rozlišuje:

- **kontrolní rozpočet investora** – oceněný zpravidla průměrnými a směrnými cenami projektantem,
- **nabídkový rozpočet stavebního podniku** – předkládaný dodavatelem a oceněný na základě firemních nákladů. [20]

10 Energetická náročnost dřevostaveb

10.1 Pasivní stavění

Pasivní budovy: jsou charakterizovány minimalizovanou potřebou energie na zajištění požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na jejich provoz díky optimalizovanému stavebnímu řešení a dalším opatřením. Pasivní budova je budova s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění nepřekračující v **případě rodinných domů 20 kWh/(m²·a) a v ostatních případech nepřekračující 15 kWh/(m²·a)**. [22, s.5]

Dalšími parametry, které musí pasivní budovy splňovat jsou:

- celková průvzdušnost stavby n_{50} měřená *Blower-door-testem* musí být nižší než 0,6 hod⁻¹,
- maximální roční celková měrná spotřeba primární energie (vytápění, teplá voda, pomocná energie, domácí spotřebiče, osvětlení) musí být nižší než 120 kWh/(m²·a). Potřeba energie na vytápění je z toho tak 12,5 %. [15, s. 78,79]

10.2 Součinitel prostupu tepla U

Součinitel prostupu tepla U [W/m²·K] udává množství tepelného toku, který se šíří z vnitřního prostředí do venkovního prostředí přes 1 m² konstrukce při teplotním rozdílu prostředí 1 K. Hodnota součinitele prostupu tepla závisí na součiniteli tepelné vodivosti λ [W/(m·K)] při dané tloušťce konstrukce a hodnotě odporu prostupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce. [1, s. 12]

U součinitele prostupu tepla U pro pasivní budovy, platí vzorec:

$$U \leq U_{pas,20}$$

U ... součinitel prostupu [W/m²·K],

$U_{pas,20}$... doporučená hodnota součinitele prostupu tepla [W/m²·K]. [24]

Pro výpočet prostupu tepla skrze ochlazovanou konstrukci se využije následující vzorec:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_T}$$

R_{si} ... odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$],

R_{se} ... odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$],

R_T ... odpor konstrukce při prostupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$],

R ... tepelný odpor konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$] dle:

$$R = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i}$$

d_i ... tloušťka i -té vrstvy [m],

λ_i ... součinitel tepelné vodivosti [$\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}$]. [24]

Čím menší je hodnota součinitele prostupu tepla U , tím méně tepla konstrukcí uniká a tím jsou lepší tepelněizolační schopnosti konstrukce. U tepelného odporu R je tomu naopak, čím větší je hodnota tepelného odporu, tím větší je tepelněizolační schopnost konstrukce. [9, s. 43]

Tabulka 7 – Výčet hodnot součinitelů prostupu tepla konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011 [vlastní zpracování dle: 23]

Požadované hodnoty, doporučené hodnoty a doporučené hodnoty pro pasivní domy součinitelů prostupu tepla některých konstrukcí podle ČSN 73 0540-2:2011			
Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Dop. hodnoty pro pasivní domy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45°	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Stěna mezi sousedními budovami	1,05	0,70	0,50
Výplň otvorů ve vnější stěně a strmé střeše z vytápěného prostoru do venkovního prostoru, kromě dveří	1,50	1,20	0,80 až 0,60
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,40	1,10	0,90
Dveřní výplň otvorů z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,70	1,20	0,90

Tabulka 7 je převzata z technické normy ČSN 73 0540-2:2011 (Tepelná ochrana budov) a uvádí část konstrukcí budov a jejich hodnoty pro jednotlivé standardy. Pro tuto práci je směrodatný první zeleně označené buňky pro doporučené hodnoty vnějších stěn pasivních domů.

Druhá polovina této práce, která začíná názvem kapitoly 11 Praktická část částečně vychází z Obrázku 15, který se nachází níže. Obrázek 15 popisuje optimální návrh pasivního domu, který vychází právě ze zelených políček na sebe navazujících.



Obrázek 15 - Postup návrhu pasivního domu [vlastní zpracování dle: 15, s. 81]

Červeně vyznačený Návrh obvodového pláště bude předmětem následujících kapitol včetně orientačních výpočtů na náklady zdroje tepla a způsobu vytápění.

11 Praktická část

Druhá část této práce se zaměřuje na porovnání skladeb obvodových stěn dřevostaveb při použití rámové / sloupkové nosné konstrukce v pasivním standardu.

Specifikace je zejména na použití různých typů tepelných izolací za předpokladu dodržení doporučených hodnot součinitele prostupu tepla $U_{\text{pas},20}$, které jsou uvedeny v **Tabulce 7** pro celou navrženou skladbu obvodové konstrukce.

Tepelné izolace se ve skladbě stěny objevují hned několikrát, konkrétně jako:

1. instalační předstěna,
2. výplň nosné konstrukce,
3. fasádní izolace.

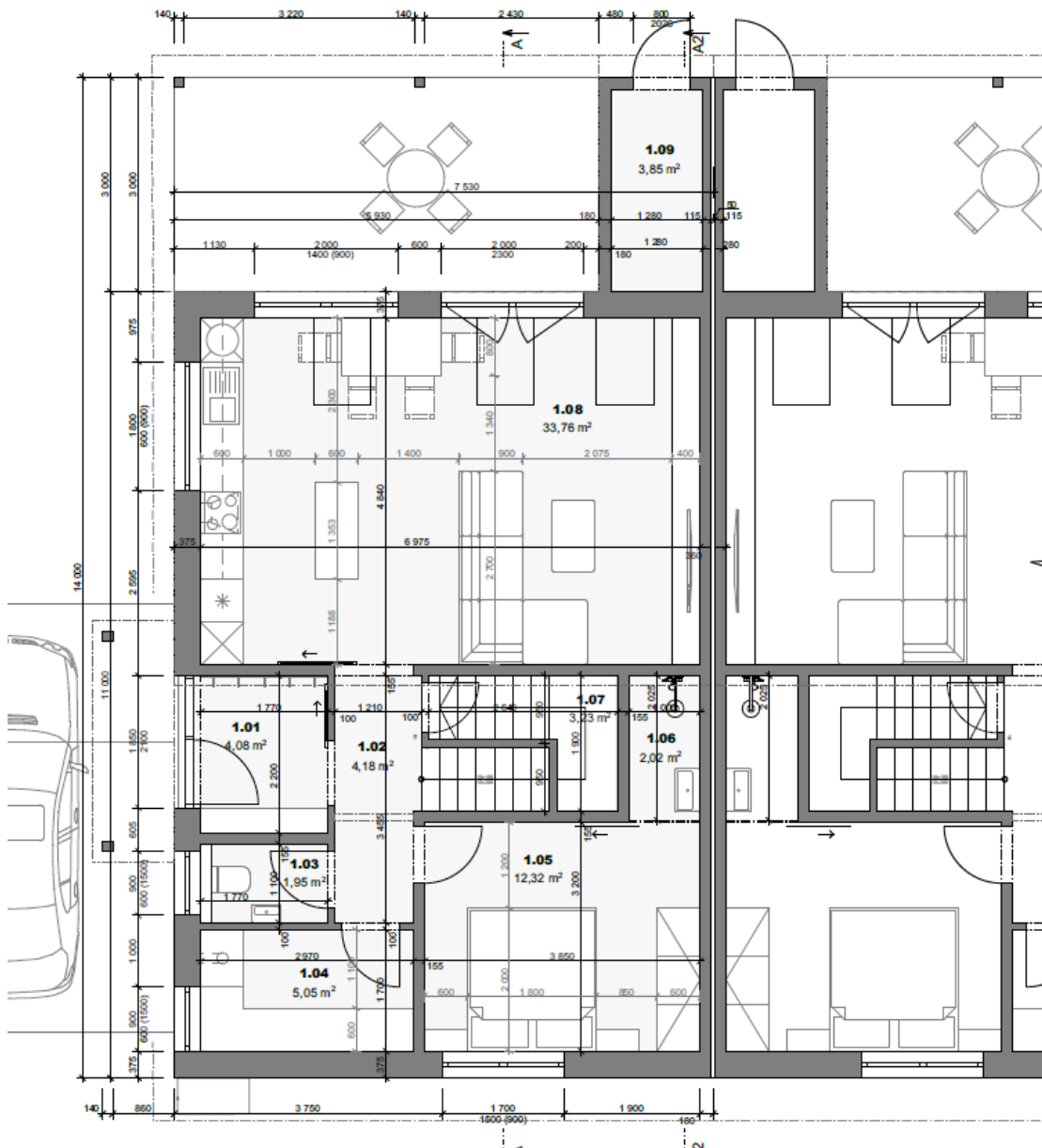
Právě toto zastoupení tepelných izolací nabízí prostor k jejich porovnání.

11.1 Popis posuzovaného objektu

Porovnání je provedeno na studii, resp. dokumentaci ve fázi pro územní rozhodnutí a stavební povolení **Novostavby dvou dvojdomů v Petřvaldu**, která je k dispozici v příloze č. 1 této práce. Výběr posuzovaného objektu byl záměrem možnosti nahlédnutí na různé možnosti skladeb obvodového pláště na tomto konkrétním případě. Jedná se o dva dvoupodlažní dvojdomky, které mají 2. NP řešeno jako podkrovní. Dvojdomky jsou rozděleny na stavební objekt 1 (SO01 Rodinný dům) a stavební objekt 2 (SO02 Rodinný dům), a dále SO03 a SO04, které jsou typologicky stejné, pouze zrcadlově obrácené. Zastavěná plocha každého stavebního objektu je $87,6 \text{ m}^2$, z čehož celková užitná plocha 1. NP a 2. NP je dohromady $133,3 \text{ m}^2$ ($70,43 \text{ m}^2 + 62,87 \text{ m}^2$) při zachování tloušťky 375 mm obvodové stěny z návrhu studie. Délka obvodové stěny rodinného domu SO01 ze severovýchodní a jihozápadní strany je 7,53 metru, ze strany jihovýchodní je délka stěny 11 metrů. Stěna oddělující oba rodinné domy je řešena jako dvojitá vnitřní nosná stěna s vloženou dilatací.



Obrázek 16 - Axonometrický pohled objektu [autor]



Obrázek 17 - Půdorys 1. NP [autor]

Výměra celkové plochy obvodového pláště jednoho rodinného domu po odečtení otvorů, jenž byla vypočtena z příslušných výkresů činí $109,5 \text{ m}^2$. Pro zjednodušení výpočtů bude po zbytek práce kalkulováno s výměrou $54,367 \text{ m}^2$, která se váže k **obvodové ploše 1. NP**. S touto výměrou je dále počítáno a kalkulováno jako s finální a váží se k této výměře veškeré další výpočty práce.

11.2 Postup výpočtů a skladby obvodových plášťů

V následujících kapitolách a podkapitolách jsou navrhovány a porovnávány jednotlivé druhy tepelných izolací, které lze použít jako výplňový materiál mezi nosnou konstrukci rámu obvodového pláště, tepelnou izolaci fasády, a také jako výplň instalační předstěny, včetně jejich kombinací.

Pro návrh a výpočty součinitelů prostupu tepla jednotlivých skladeb byl použit online software TEPELNÁ TECHNIKA 1D, který je přístupný z webovém portálu DEKSOFT. Všechny porovnávané skladby a jejich výpočtové údaje jsou k dispozici v příloze č. 2 této práce.

K ocenění porovnávaných skladeb včetně jejich následné realizace byl využit software KROS 4 od společnosti ÚRS CZ a.s. se směrnými cenami, které jsou platné pro druhé pololetí 2021 cenové soustavy ÚRS. Všechny rozpočty včetně jejich výkazů výměr jsou k dispozici v příloze č. 3 této práce. Vytvořené rozpočty byly konzultovány s vedoucím této práce panem Ing. Miloslavem Výskalou, Ph.D.

Konstrukční řešení

Všechny porovnávané obvodové stěny mají principiálně stejné konstrukční řešení, které je složeno z:

- podkladního tvrdšího řeziva jako základu pod nosnou rámovou konstrukci,
- konstrukčních lepených KVH hranolů o průřezu 50×150 mm, které tvoří nosnou sloupkovou / rámovou konstrukci,
- sádrovláknitých desek sloužících k vyplnění a celkovému ztužení nosné konstrukce,
- tepelné izolace, která slouží výplň nosné konstrukce, dále poté jako fasádní zateplení a také jako výplň instalační předstěny,
- dřevěného roštu instalační předstěny a ostatních prvků jako zakládacích lišt fasádních systémů.

Dělení a rozlišení skladeb

Práce se zaměřuje na srovnání osmi druhů obvodových plášťů z hlediska jejich součinitele prostupu tepla pro daný obvodový plášť a jejich ceny. Obvodové stěny (dále STN) jsou označeny jako STN 1 až STN 8, přičemž STN 1 až STN 4 jsou difúzně uzavřené konstrukce (DUK) a STN 5 až STN 8 jsou difúzně otevřené konstrukce (DOK). Hlavní rozdíl mezi DUK a DOK spočívá ve vrstvě tzv. parozábrany.

Parozábrana neboli, parotěsnicí fólie se objevuje ve skladbách **difúzně uzavřených** a jejím hlavním cílem je neumožnit prostup molekulám vody (vodní páře) z interiéru do exteriéru skrze skladbu stěny. U **difúzně otevřených** stěn je namísto parozábrany použita tzv. **parobrzdá**, která pouze brání a zároveň umožňuje částečný prostup vodních par skrze konstrukci.

Pro lepší prostupnost molekul vodní páry u DOK byl zvolen fasádní systém z minerálních desek na bázi kamenné vlny, která má menší hodnotu faktoru difúzního odporu (lepší částečnou propustnost) než např. fasádní polystyren, jenž byl zvolen naopak u difúzně uzavřených skladeb.

STN 1 a STN 5 jsou navržené obvodové konstrukce, které v obou případech používají minerální kamennou vlnu jako výplňový materiál mezi nosnou rámovou konstrukcí, který slouží jako tepelná izolace, a také jako tepelně izolační výplň instalační předstěny.

STN 2 a STN 6 využívají jako výplně minerální tepelnou izolaci, ovšem na bázi skelné vlny.

Pro STN 3 a STN 7 byla navržena výplňová vrstva tepelná izolace z konopné izolace. Pro STN 4 a STN 8 byla navržena výplňová vrstva tepelné izolace z dřevovláknité izolace.

Popis a tvorba rozpočtů obvodových stěn pomocí softwaru KROS 4

Ke každé skladbě STN1 až STN 8 byl vytvořen samostatný položkový rozpočet včetně výkazu výměr (VV) pro dodávku a montáž jednotlivých skladeb obvodových konstrukcí. Výpočty ve VV vycházejí z příložené studie v příloze č. 1 této práce a vztahují se pouze na půdorysně levý objekt SO01, jelikož je zrcadlově stejný jako objekt SO02. Obvodové stěny jsou tak pouze tři a výpočty začínají severovýchodní stěnou o délce 7,53 metru, dále jihovýchodní stěnou o délce 11 metrů a končí

jihozápadní stěnou zase o délce 7,53 metru. Základem obvodové nosné konstrukce je spodní základový práh z tvrdšího modřínového dřeva o obvodové délce 26,06 metru. Na něj je montována sloupková / rámová konstrukce, jejíž základem jsou lepené KVH hranoly o průřezu 50×150 mm, které jsou v osové vzdálenosti 500 mm. Hranoly vymezující otvory jsou pro větší pevnost třikrát ztuženy, čímž u otvorů po stranách vzniknou sloupky průřezu 150×150 mm. Výplň mezi sloupky tvoří tepelná izolace, která je z vnější i vnitřní strany oplášťena sádrovláknitými deskami, které jsou kotveny do sloupkové konstrukce. Směrem do interiéru je na sádrovláknité desce vrstva parozábrany nebo parobrzdy, na které je dále dřevěný rošt, mezi kterým je umístěna další vrstva tepelné izolace spolu s instalačními rozvody. Zaklopeno sádrovláknitou deskou z interiéru. Ze sádrovláknité desky na nosné konstrukci směrem do exteriéru následuje buďto fasádní minerální izolace na bázi kamenné vlny v případě difúzně otevřené konstrukce, nebo fasádní polystyrén v případě difúzně zavřené konstrukce. V obou případech je fasádní systém založený na zakládací liště a povrchová úprava fasády se skládá z penetračního nátěru a tenkovrstvé silikonové omítky.

Popis výpočtu TEPELNÁ TECHNIKA 1D (TT 1D)

Pro návrhy skladeb a jejich následné výpočty součinitelů prostupu tepla U byl zvolen v online softwaru na stránkách www.deksofteu.cz způsob výpočtu součinitele prostupu tepla dle hodnot technické normy ČSN 75 0540-2 (Tepelná ochrana budov). Pro výpočty této práce jsou směrodatně doporučené hodnoty U_{rec} součinitele prostupu tepla konstrukcemi pro budovy v pasivním energetickém standardu. Některé hodnoty pro různé konstrukce jsou k nahlédnutí již v Tabulce 7 (str. 45). Postup výpočtu byl takový, že se nejdříve volí okrajové podmínky pro posuzovaný objekt interiérové a exteriérové. Poté se volí, o jakou skladbu jde a doplňující informace ke skladbám. Následně se vybírají jednotlivé materiály v pořadí od interiéru, uvažovanými parametry ve výpočtech pak jsou tloušťka, součinitele tepelné vodivosti, měrná tepelná kapacita, hustota a faktor difúzního odporu. Většinu těchto hodnot mají materiály dané již výrobcem. Materiály se vybírají z online katalogu materiálů nebo se mohou zadávat ručně. Ve výpočtech není uvažováno s nosnou dřevěnou sloupkovou konstrukcí, je nahrazena korekcí součinitele prostupu tepla ΔU o hodnotě 0,02 W/m²·K dle hodnot ČSN 73 0540-4.

11.2.1 STN 1 – DUK s kamennou vlna

Tabulka 8 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně uzavřenou konstrukci s použitím minerální izolace na bázi kamenné vlny, parozábranné fólie a fasádního expandovaného polystyrenu.

Tabulka 8 – Skladba STN 1 [autor]

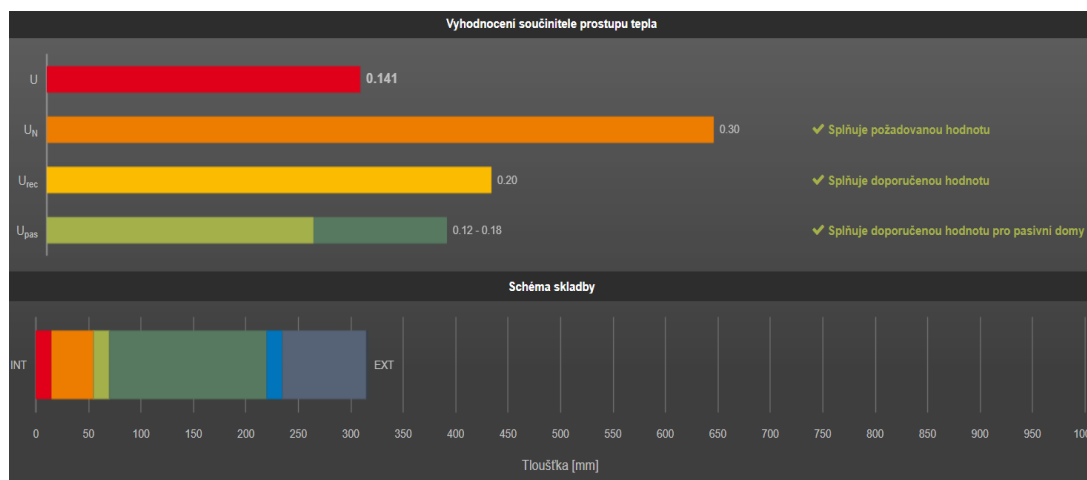
pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	kamenná vlna	0,04	0,035
3	parozábranná fólie	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	kamenná vlna	0,15	0,035
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní polystyren EPS	0,08	0,032
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,141 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 310 223,68 Kč

Cena za 1 m²: 5 706,10 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 18 ze softwaru TT 1D vyšel 0,141 W/m²·K, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 18 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 1 [autor]

11.2.2 STN 2 – DUK se skelnou vlnou

Tabulka 9 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně uzavřenou konstrukci s použitím minerální izolace na bázi skelné vlny, parozábranné fólie a fasádního expandovaného polystyrenu.

Tabulka 9 – Skladba STN 2 [autor]

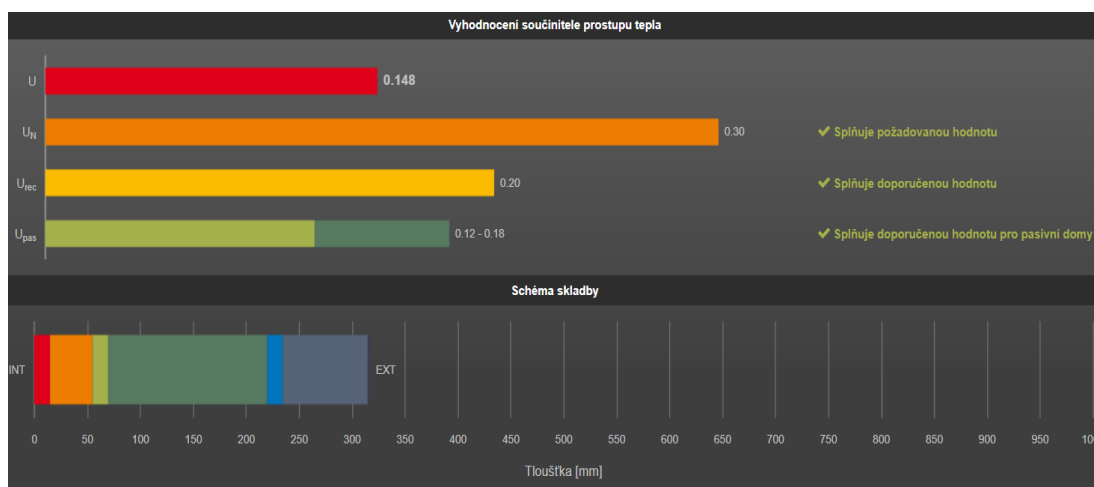
pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	skelná vlna	0,04	0,038
3	parozábranná fólie	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	kamenná vlna	0,15	0,038
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní polystyren EPS	0,08	0,032
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,148 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 304 354,97 Kč

Cena za 1 m²: 5 598,16 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 19 ze softwaru TT 1D vyšel 0,148 W/m²·K, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 19 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 2 [autor]

11.2.3 STN 3 – DUK s konopnou izolací

Tabulka 10 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně uzavřenou konstrukci s použitím konopné izolace z technického konopí, parozábranné fólie a fasádního expandovaného polystyrenu.

Tabulka 10 – Skladba STN 3 [autor]

pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	konopná izolace	0,04	0,04
3	parozábrana	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	konopná izolace	0,15	0,04
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní polystyren EPS	0,08	0,032
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,152 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 320 100,12 Kč

Cena za 1 m²: 5 887,77 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 20 ze softwaru TT 1D vyšel 0,152 W/m²·K, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 20 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 3 [autor]

11.2.4 STN 4 – DUK s dřevovláknitou izolací

Tabulka 11 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně uzavřenou konstrukci s použitím dřevovláknité izolace, parozábranné fólie a fasádního expandovaného polystyrenu.

Tabulka 11 – Skladba STN 4 [autor]

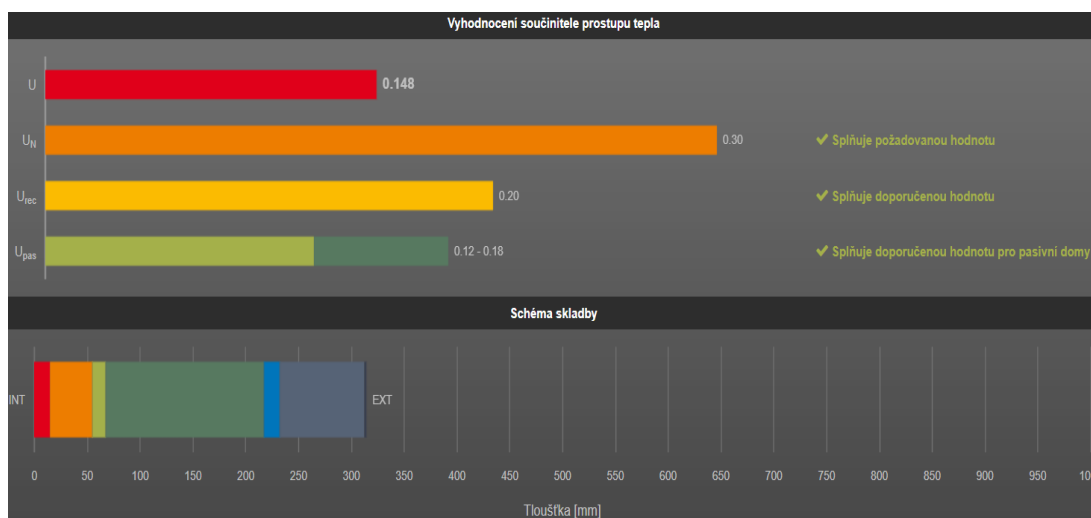
pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	dřevovláknitá vlna	0,04	0,04
3	parobrzdaná fólie	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	dřevovláknitá vlna	0,15	0,04
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní polystyren EPS	0,08	0,032
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,148 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 320 292,85 Kč

Cena za 1 m²: 5 891,31 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 21 ze softwaru TT 1D vyšel 0,148 W/m²·K, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 21 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 4 [autor]

11.2.5 STN 5 – DOK s kamennou vlnou

Tabulka 12 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně otevřenou konstrukci s použitím minerální izolace na bázi kamenné vlny jako výplň i jako fasádní prvek, dále je použita parozbrzdná fólie.

Tabulka 12 – Skladba STN 5 [autor]

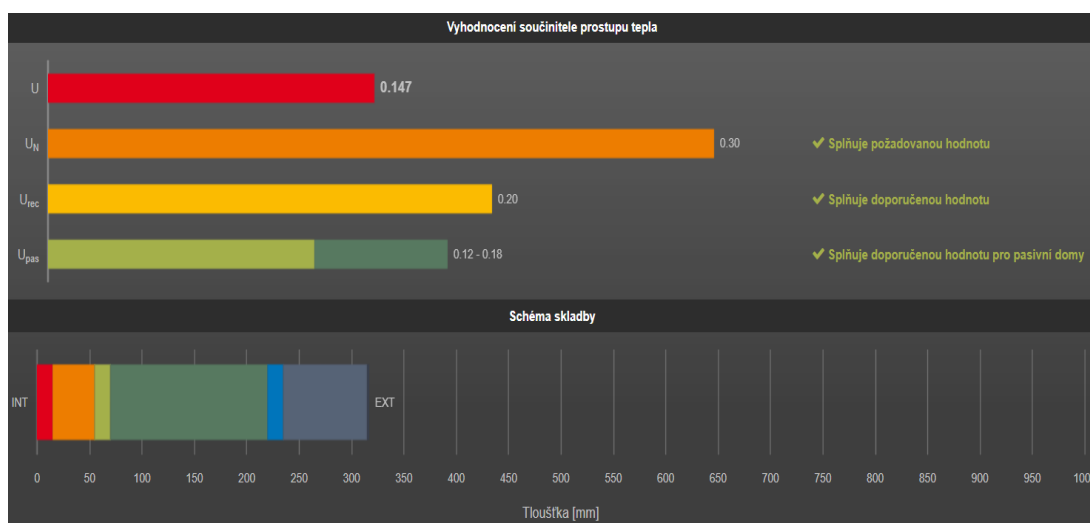
pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	kamenná vlna	0,04	0,035
3	parozábrana	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	kamenná vlna	0,15	0,035
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní minerální vlna	0,08	0,037
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,147 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 324 834,93 Kč

Cena za 1 m²: 5 974,85 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 22 ze softwaru TT 1D vyšel 0,147 W/m²·K, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 22 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 5 [autor]

11.2.6 STN 6 – DOK se skelnou vlnou

Tabulka 13 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně otevřenou konstrukci s použitím minerální izolace na bázi skelné vlny jako výplň, kamenné vlny jako fasádní prvek a parozbrzdě fólie.

Tabulka 13 – Skladba STN 6 [autor]

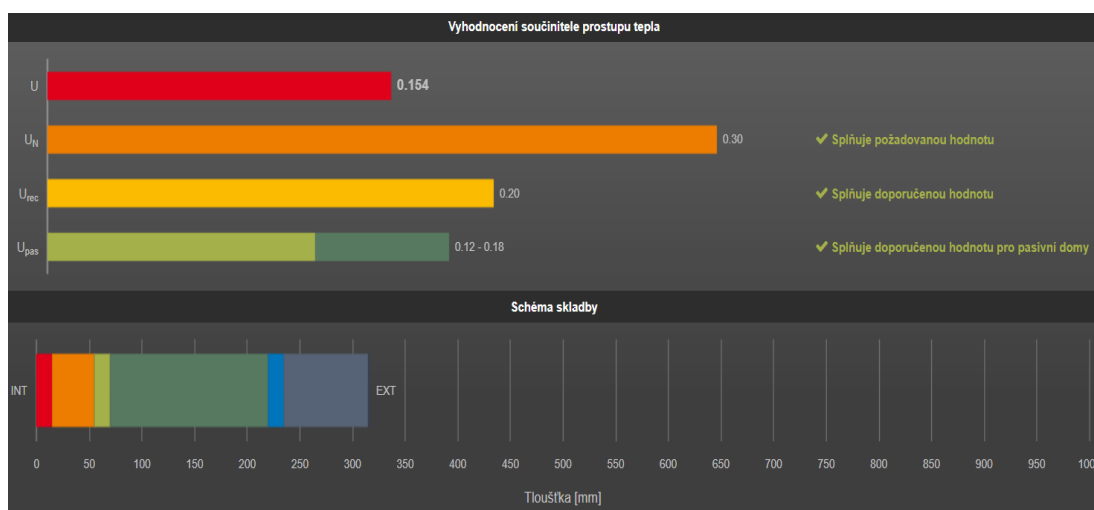
pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	skelná vlna	0,04	0,038
3	parozábrana	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	kamenná vlna	0,15	0,038
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní minerální vlna	0,08	0,037
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,154 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 320 847,32 Kč

Cena za 1 m²: 5 901,51 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 23 ze softwaru TT 1D vyšel 0,154 W/m²·K, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 23 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 5 [autor]

11.2.7 STN 7 – DOK s konopnou izolací

Tabulka 14 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně otevřenou konstrukci s použitím konopné izolace jako výplň, kamenné vlny jako fasádní prvek a parobrzděné fólie.

Tabulka 14 – Skladba STN 7 [autor]

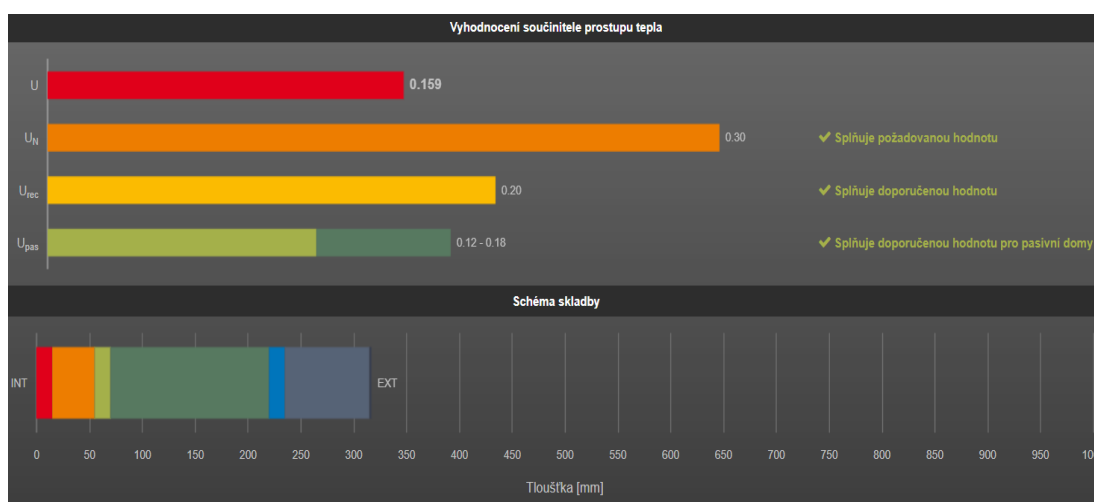
pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	konopná izolace	0,04	0,04
3	parozábrana	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	konopná izolace	0,15	0,04
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní minerální vlna	0,08	0,037
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,159 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 336 592,47 Kč

Cena za 1 m²: 6 191,12 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 24 ze softwaru TT 1D vyšel 0,159 W/m²·K, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 24 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 7 [autor]

11.2.8 STN 8 – DOK s dřevovláknitou izolací

Tabulka 15 ukazuje pořadí skladby obvodové stěny od interiéru k exteriéru. Jedná se o difúzně otevřenou konstrukci s použitím dřevovláknité izolace jako výplň, kamenné vlny jako fasádní prvek a parobrzdné fólie.

Tabulka 15 – Skladba STN 8 [autor]

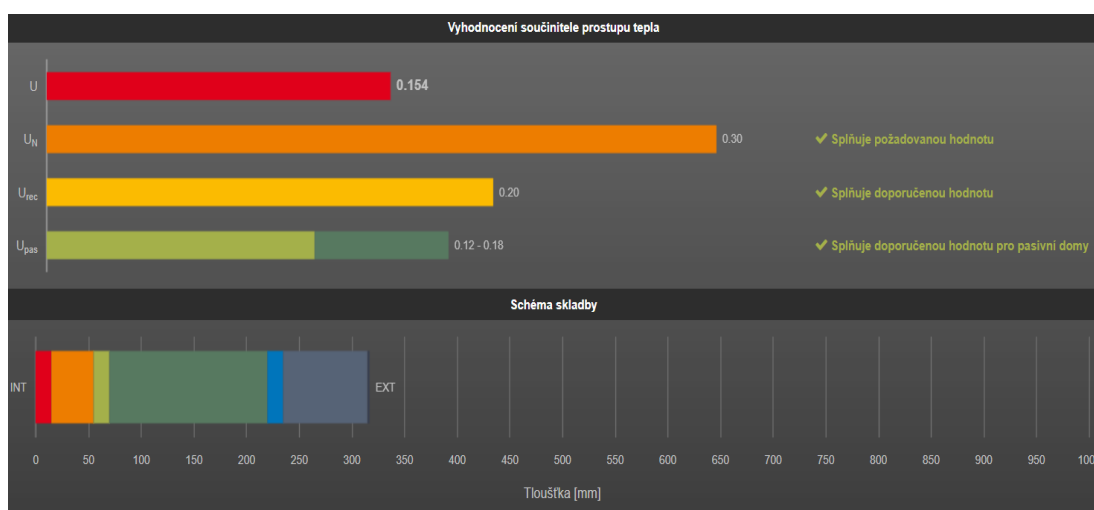
pořadí	materiál	tloušťka d [m]	součinitel tepelné vodivosti λ [W/(m·K)]
1	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
2	dřevovláknitá vlna	0,04	0,038
3	parozábrana	0,00022	0,16
4	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
5	dřevovláknitá vlna	0,15	0,038
6	sádrovláknitá deska	0,015	0,34
7	fasádní minerální vlna	0,08	0,037
8	silikonová omítka	0,002	0,7

Součinitel prostupu tepla: $U = 0,154 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$

Cena obvodové stěny 1. NP: 335 635,05 Kč

Cena za 1 m²: 6 194,66 Kč

Součinitel prostupu tepla U (červeně) na Obrázku 25 ze softwaru TT 1D vyšel $0,154 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, splňuje tak doporučenou hodnotu pro pasivní domy, které chtěla navržená skladba dosáhnout.



Obrázek 25 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 8 [autor]

11.3 Vyhodnocení skladeb

Vyhodnocení skladeb je rozděleno na dílčí porovnání cen:

- jednotlivých druhů tepelných izolací,
- nákladů na materiál DUK a DOK,
- souhrnné srovnání, včetně součinitelů prostupu tepla.

11.3.1 Tepelné izolace

Srovnání nákladů na materiál tepelné izolace vykazuje Tabulka 16, z níž je patrné, že nejmenší náklady nese **minerální izolace na bázi skelné vlny** (žlutě zvýrazněný řádek) obsažena ve skladbách STN 2 a STN 6, která při celkovém použitém množství cca 10,85 m³ vychází nákladově na **10 566,44 Kč**. Stejně množství naopak největších nákladů nese dřevovláknitá izolace s částkou 26 256,40 Kč (červeně vyznačený řádek).

Tabulka 16 - Ceny materiálů tepelných izolací ve skladbách [autor]

STN	Materiál	Cena
1 a 5	Minerální kamenná vlna	16 160,77 Kč
2 a 6	Minerální skelná vlna	10 566,44 Kč
3 a 7	Konopná izolace	26 167,77 Kč
4 a 8	Dřevovláknitá izolace	26 256,40 Kč

Cenový rozdíl nejdražší a nejlevnější izolace je **15 689,96 Kč** při celkové výměře 57,085 m² (včetně připočtu 5 % ztratného, se kterým počítá VV). Rozdíl na 1 m² poté vychází na **274,85 Kč**.

11.3.2 DUK a DOK

V Tabulce 17 jsou promítnuty náklady na materiál, který jednotlivý typ skladby obsahuje. U difúzně uzavřené konstrukce je to fasádní expandovaný polystyren a parobrzdná fólie, jejichž výsledná cena pro obvodovou stěnu 1. NP je **12 142,37 Kč**. V ceně je zahrnuto 5% ztráté pro polystyren a 12% ztráté pro parobrzdnou fólii ze základní výměry 54,367 m². Stejně ztráté bylo počítáno i pro fasádní minerální kamennou izolaci a parotěsnicí fólii, výsledná cena difúzně otevřené konstrukce pak vyšla **24 019,10 Kč**.

Tabulka 17 – Ceny materiálů konstrukce difúzně otevřené a uzavřené [autor]

Typ	Materiál	Cena
DUK	fasádní expandovaný polystyren	10 674,90 Kč
DUK	parotěsnicí fólie	1 467,47 Kč
DOK celkem		12 142,37 Kč
typ	Materiál	Cena
DOK	fasádní minerální kamenná izolace	21 406,88 Kč
DOK	parozábrzdna fólie	2 612,22 Kč
DUK celkem		24 019,10 Kč

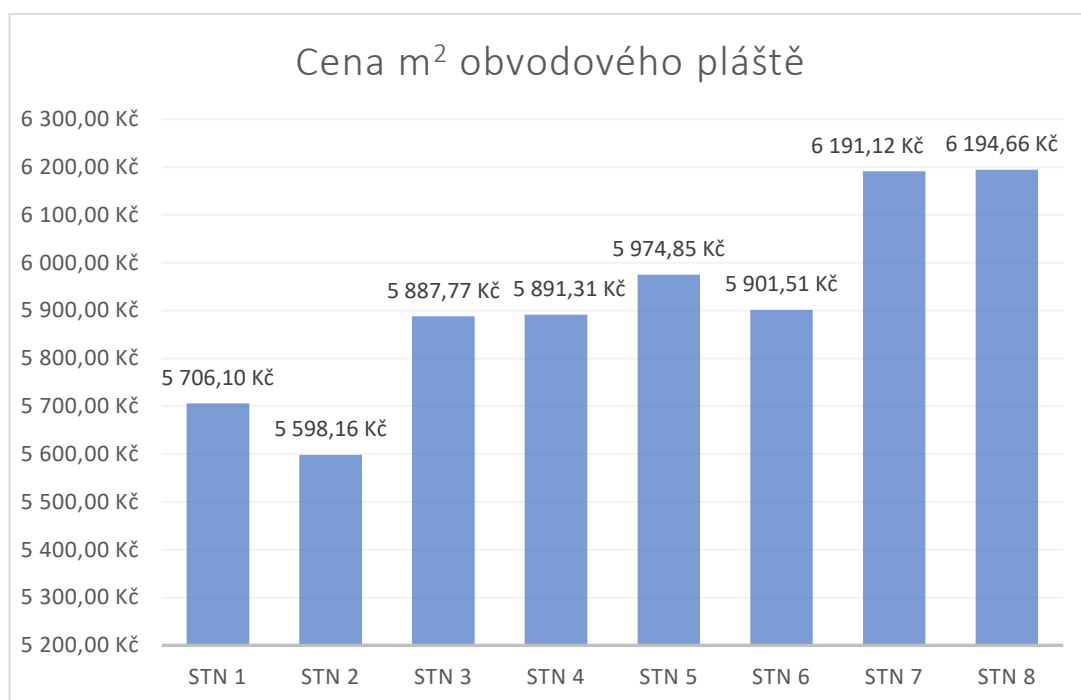
Cenový rozdíl 1 m² **218,45 Kč**

Cenový rozdíl obvodové stěny 1. NP **11 876,73 Kč**

Cenový rozdíl difúzně uzavřené a difúzně otevřené konstrukce činí **11 876,73 Kč**, v přepočtu na 1 m² je poté cenový rozdíl cca **218,45 Kč**.

11.3.3 Celkové zhodnocení skladeb

Celkové nákladové zhodnocení všech skladeb včetně jejich vypočteného součinitele prostupu tepla U vykazuje Tabulka 18, která se nachází na následující straně 64. Níže uvedený Graf 1, který vychází právě z Tabulky 1, graficky znázorňuje ceny skladeb STN 1 až STN 8 v přepočtu na 1 m^2 obvodového pláště. Z grafu a tabulky je patrné, že nejlevnější skladbou je skladba s označením **STN 2**. Jedná se o difúzně uzavřenou skladbu s minerální tepelnou izolací na bázi skelných vláken, cena za metr čtvereční této skladby vychází na **5 598,16 Kč**. Nejdražší skladba je skladba s označením **STN 6**, která patří mezi difúzně otevřené skladby spolu s její dřevovláknitou tepelnou izolací poté vychází s cenou na **6 194,66 Kč**.



Graf 1 - Grafické znázornění nákladů na m^2 skladeb STN 1 až STN 8 [autor]

Tabulka 18 - Souhrnná tabulka vyhodnocení skladeb [autor]

Souhrnné zhodnocení skladeb

Ozn.	Konstrukce	Celková cena	Cena za m ²	U [W/m ² ·K]
STN 1	DUK s kamennou vlnou	310 223,68 Kč	5 706,10 Kč	0,141
STN 2	DUK se skelnou vlnou	304 354,97 Kč	5 598,16 Kč	0,148
STN 3	DUK s konopnou izolací	320 100,12 Kč	5 887,77 Kč	0,152
STN 4	DUK s dřevovláknitou izolací	320 292,85 Kč	5 891,31 Kč	0,148
STN 5	DOK s kamennou vlnou	324 834,93 Kč	5 974,85 Kč	0,147
STN 6	DOK se skelnou vlnou	320 847,32 Kč	5 901,51 Kč	0,154
STN 7	DOK s konopnou izolací	336 592,47 Kč	6 191,12 Kč	0,159
STN 8	DOK s dřevovláknitou izolací	336 785,20 Kč	6 194,66 Kč	0,154

Nejlevnější navržená skladba	STN 2	304 354,97 Kč
Nejdražší navržená skladba	STN 8	336 785,20 Kč
Cenový rozdíl 1 m ²		596,51 Kč
Cenový rozdíl obvodové stěny 1. NP		32 430,23 Kč
Nejlepší hodnota součinitele prostupu tepla U	STN 1	0,141

Celkové vyhodnocení porovnávaných skladeb uvádí výše Tabulka 18. Všechny hodnoty součinitele prostupu tepla navržených skladeb STN 1 až STN 8 splňují doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro vnější obvodové stěny pasivních domů $U_{pas,20}$ dle normy ČSN, a to v rozmezí od 0,18 do 0,12 W/m²·K. Nejvyšší hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0,159$ W/m²·K má navržená difúzně otevřená skladba STN 7 s konopnou izolací. Nejmenší hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 0,141$ W/m²·K má difúzně uzavřená skladba STN 1.

Z hlediska hodnot součinitele prostupu tepla jsou tak všechny skladby pro vnější obvodové stěny pasivních domů vyhovující.

Z hlediska finančních nákladů má **nejnižší cenu** navržená difúzně uzavřená skladba **STN 2** s minerální tepelnou izolací na bázi skelné vlny (zeleně vyznačený řádek Tabulky 18) s částkou **304 354,97 Kč**, která se vztahuje k obvodové stěně 1. NP. Po přepočtu na 1 m² pak tato skladba vychází na **5 598,16 Kč**. Nejnákladnější je poté skladba **STN 8** (červeně vyznačený řádek Tabulky 18), která je navržená jako difúzně otevřená s dřevovláknitou tepelnou izolací. Cena této skladby stěny pro 1. NP je **336 785,20 Kč**.

Cenový rozdíl mezi nejdražší **STN 8** a nejlevnější **STN 2** je **32 430,23 Kč**. Po přepočtu na 1 m² pak cenový rozdíl vychází na **596,51 Kč**.

11.4 Náklady a způsob vytápění

Pro určení způsobu, jak posuzovaný objekt SO01 vytápět a s tím i spojené náklady. Nejdříve bylo nutné vypočítat jeho roční potřebu energie na vytápění. Pro zjednodušený a orientační výpočet byla použita online kalkulačka Zelná úsporám z portálu TZB-info.cz. [25]

Pro výpočet na online kalkulačce bylo zadáno pro vstupní údaje místo, kde se posuzovaný objekt nachází, z výkresové studie byl vypočítán objem budovy a jeho celková plocha. Do skladby stěny konstrukcí byla dosazena skladba STN 1 s nejmenší součinitel prostupu tepla $U = 0,141 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, další parametry byly dosazovány tak, aby byl zachován energetický standard odpovídající pasivnímu domu. Jedním z těchto parametrů byla hodnota intenzity větrání okny, která byla vyplněna hodnotou $\eta_1 0 \text{ h}^{-1}$, za předpokladu, že bude ke způsobu vytápění posuzovaného objektu bude právě vybrána vzduchotechnická jednotka s rekuperací vzduchu, tudíž nebude probíhat žádné větrání okny. Tímto byla zadána hodnota účinnosti rekuperaci tepla $\eta_{\text{rek}} = 90 \%$. Tímto zjednodušeným a orientačním výpočtem vyšla měrná potřeba energie pro posuzovaný objekt SO01 této práce hodnotou **16 kWh/m²**.

Pro přepočet potřeby měrné energie za rok byla tato hodnota vynásobena celkovou podlahovou plochou posuzovaného objektu s hodnotou 133,3 m² a výsledná spotřeba energie vyšla **2 132,8 kWh/rok**.

ROČNÍ POTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ

Stav objektu	Měrná potřeba energie
Před úpravami (před zateplením)	16 kWh/m ²
Po úpravách (po zateplení)	16 kWh/m ²

ZELENÁ ÚSPORÁM - VÝŠE PODPORY PRO

RODINNÉ DOMY ▾

Úspora: 0%

Máte nárok na dotaci v rámci části programu A.1 - celkové zateplení.

Dotace ve vašem případě činí 2200 Kč/m² podlahové plochy, to je 293260 Kč.

Obrázek 26 – Měrná potřeba energie na vytápění SO01 [autor]

Hodnota roční spotřeby **2 132,8 kWh/rok** byla poté zadána do online kalkulačky pro porovnávání cen energií na portále TZB-info.cz. [26]

Výsledkem porovnání jsou ceny dodavatelů elektrické energie pro místo Petřvald PSČ 735 41 posuzovaného objektu. Cena elektřiny z online kalkulačky byla aktualizována ke dni výpočtu cen 14.1.2021.

Ceny dodavatelů elektrické energie při hodnotě roční potřeby energie 2 132,8 kWh se pohybovaly v rozmezí zhruba **od 14 000 Kč do 32 000 Kč za 1 rok.**

12 Závěr

Cílem této práce bylo srovnání nákladů na výstavbu dřevěného dvojdomku z hlediska jeho obvodového pláště a způsobu vytápění.

Praktická část řešila návrhy skladeb obvodového pláště, který měl hodnotou součinitele prostupu tepla pro vnější stěny splňovat doporučené hodnoty normy ČSN. Toto bylo u všech osmi skladeb označených STN 1 až STN 8 splněno na základě návrhů a výpočtů v online softwaru TEPELNÁ TECHNIKA 1D. Navržené skladby STN 1 až STN 8 měly hodnoty součinitelů v rozmezí 0,141 až 0,159 W/m²·K.

Tyto navrhované skladby byly rozděleny jako konstrukce difúzně uzavřené STN 1 až STN 4 a difúzně otevřené STN 5 až STN 8. Další částí praktické části bylo vypracování položkových rozpočtů pro všechny jednotlivé skladby STN1 až STN 8. Z jednotlivých rozpočtů byly vytaženy náklady na materiál tepelných izolací a difúzních fólií, který specificky rozděloval skladby na DUK a DOK. Skladby byly poté porovnány z hlediska cen jednotlivých tepelných izolací, z hlediska rozdělení na DUK a DOK včetně celkového zhodnocení. Orientačně a zjednodušeně byl vyčíslen roční náklad na zvolený typ vytápění elektrickou energií, který se může pohybovat v rámci aktuálního zvyšování cen energií v rozmezí zhruba od 14 000 Kč do 32 000 Kč za rok. Závěrem lze říct, že nejmenší náklady na tepelnou izolaci ve spojení s celkovými náklady na celou obvodovou skladbu 1. NP posuzovaného objektu představuje skladba difúzně uzavřené stěny s minerální izolací ze skelných vláken s označením STN 2 a výslednou cenou 304 354,97 Kč.

Seznam použité literatury

- [1] SKOPALOVÁ, Zoja a Petr ŠENFELDR. *Dřevostavby pro bydlení: vzdělávací materiály*. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, [2015?]. ISBN 978-80-905447-8-9.
- [2] WALDSTEIN, Petr. *Dřevostavby pro bydlení: sborník přednášek*. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, [2015?]. ISBN 978-80-905447-2-7.
- [3] ŠTEFKO, Jozef, Ladislav REINPRECHT a Petr KUKLÍK. *Dřevěné stavby: konstrukce, ochrana a údržba*. 2. české vyd. Bratislava: JAGA, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-080-9.
- [4] *Dřevostavby a konstrukce na bázi dřeva: vědecká konference s mezinárodní účastí : sborník prací : 11.-12. listopadu 2009, Štramberk, Česká republika*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2096-5.
- [5] RUBINOVÁ, Olga. *Pasivní domy a trvale udržitelná výstavba*. V Brně: Mendelova univerzita, 2014. ISBN 978-80-7375-964-3.
- [6] Slovník pojmů. Envimat [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-12-05]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/pojmy/>
- [7] ZAHRADNÍČEK, Václav a Pavel HORÁK. *Moderní dřevostavby*. Vyd. 2., aktualiz. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3568-6.
- [8] Zákon č. 17/1992 Sb. Zákon o životním prostředí
- [9] POČINKOVÁ, Marcela, Danuše ČUPROVÁ a Olga RUBINOVÁ. *Úsporný dům*. Brno: CPress, 2012. Stavíme. ISBN 978-80-264-0014-1.
- [10] VAVERKA, Jiří. *Dřevostavby pro bydlení*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2205-4.
- [11] MYNÁŘ, Josef, Jiří TESLÍK, Jiří PROVÁZEK, Martin GLOS, Petr VACEK a Zoja SKOPALOVÁ. *Materiály pro dřevostavby: vzdělávací materiály*. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, [2015?]. ISBN 978-80-906014-0-6.
- [12] BUKOVSKÝ, Ladislav a kol. *Technické řešení energeticky úsporných dřevostaveb*. 1. vyd. Praha, 2002. 311 s.

- [13] OSVALD, A. a REINPRECHT, L. a ŠTEFKO, J. *Vše o bydlení Moderní dřevostavby a nízkoenergetické domy*. 15. Bratislava: JAGA GROUP, červen 2014. ISSN 1335-9177.
- [14] *DŘEVO SMUTNÝ* [online]. 2016 [cit. 2021-12-08]. Dostupné z: <https://drevosmutny.cz/kvh-hranoly/>
- [15] RŮŽIČKA, Martin. *Moderní dřevostavba*. Praha: Grada, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5.
- [16] *RD Rýmařov* [online]. [cit. 2021-12-13]. Dostupné z: <https://www.rdrymarov.cz/schemata-sten-a-stropu>
- [17] *VEXTA DOMY* [online]. [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://www.vextadomy.cz/skladba-konstrukci>
- [18] PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [19] *Forest Stewardship Council Česká republika* [online]. [cit. 2021-12-15]. Dostupné z: <https://www.czechfsc.cz/cz-cs/o-fsc-cr>
- [20] VITÁSEK, Stanislav a Renáta SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ. *Rozpočtování staveb*. Praha: Dashöfer, 2018. ISBN 978-80-87963-76-0.
- [21] *Bajulus* [online]. [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://www.bajulus.cz/technologie>
- [22] VACEK, Petr, Pavel MATOUŠEK a Ivo PAVERA. *Technická zařízení budov a energetika: vzdělávací materiály*. Ostrava: MSDK, Moravskoslezský dřevařský klastr, [2015?]. ISBN 978-80-906014-3-7.
- [23] ŠAFRÁNEK, Jaroslav. Nová vyhláška o energetické náročnosti budov od 1. září 2020. *Z+i ČKAIT* [online]. 2020, 2020(04), 9 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <http://zpravy.ckait.cz/vydani/2020-04/nova-vyhlaska-o-energeticke-narocnosti-budov-plati-od-1-zari-2020/>
- [24] POZEMNÍ STAVITELSTVÍ III., *Tepelně technické požadavky na obvodové pláště* [online]. [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps3/1.html>
- [25] *On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám*. TZB-info [online]. [cit. 2022-01-05]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>

[26] *Kalkulátor cen energií*. TZB-info [online]. [cit. 2022-01-06]. Dostupné z:
<https://kalkulator.tzb-info.cz/>

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Hlavní oblasti udržitelné výstavby budov	15
Obrázek 2 - Spoj s přeplátováním při přesahujícím zhlaví srubu	17
Obrázek 3 - Stěna z prefabrikovaných tvarovek pro pasivní dům	18
Obrázek 4 - DOK umožňují prostup suchého vzduchu a vodní páry mechanismem difúze, naopak difúzně uzavřené konstrukce (DUK) tento efekt neumožňují.	22
Obrázek 5 - Příklad skladby DUK	23
Obrázek 6 – Skladba difúzně uzavřené obvodové stěny RD Rýmařov s.r.o.....	25
Obrázek 7 – Skladba difúzně uzavřené obvodové stěny Bajulus s.r.o.	26
Obrázek 8 - Skladba difúzně uzavřené obvodové zdi VEXTA a.s.	27
Obrázek 9 – Skladba difúzně otevřené obvodové stěny RD Rýmařov s.r.o.....	28
Obrázek 10 – Skladba difúzně otevřené obvodové stěny Bajulus s.r.o.	29
Obrázek 11 – Příklad tuhých desek z kamenné vlny tloušťky 140 mm při použití jako tepelná izolace ve skladbě střechy	31
Obrázek 12 - Příklad měkké skelné vlny při použití jako tepelné izolace stěny atiky .	32
Obrázek 13 - Tepelně izolační rohož z ovčí vlny	34
Obrázek 14 - Dřevovláknitá izolace	35
Obrázek 15 - Postup návrhu pasivního domu	45
Obrázek 16 - Axonometrický pohled objektu	47
Obrázek 17 - Půdorys 1. NP	48
Obrázek 18 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 1	52
Obrázek 19 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 2	53
Obrázek 20 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 3	54
Obrázek 21 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 4.....	55
Obrázek 22 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 5	56
Obrázek 23 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 5	57
Obrázek 24 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 7	58
Obrázek 25 – Grafické znázornění výpočtu součinitele prostupu tepla pro STN 8	59
Obrázek 26 – Měrná potřeba energie na vytápění SO01	65

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Dokončené domy pro bydlení podle svislé nosné konstrukce	11
Tabulka 2 - Podíl dřevostaveb na trhu RD v ČR za posledních 10 let	11
Tabulka 3 – Základní vlastnosti kamenné vlny	31
Tabulka 4 – Základní vlastnosti skelné vlny	32
Tabulka 5 - Základní vlastnosti polystyrenu	36
Tabulka 6 – Struktura nákladů stavebního objektu	40
Tabulka 7 – Výčet hodnot součinitelů prostupu tepla konstrukcí dle ČSN 73 0540-2:2011	44
Tabulka 8 – Skladba STN 1	52
Tabulka 9 – Skladba STN 2	53
Tabulka 10 – Skladba STN 3	54
Tabulka 11 – Skladba STN 4	55
Tabulka 12 – Skladba STN 5	56
Tabulka 13 – Skladba STN 6	57
Tabulka 14 – Skladba STN 7	58
Tabulka 15 – Skladba STN 8	59
Tabulka 16 - Ceny materiálů tepelných izolací ve skladbách	60
Tabulka 17 – Ceny materiálů konstrukce difúzně otevřené a uzavřené	61
Tabulka 18 - Souhrnná tabulka vyhodnocení skladeb	63

Seznam zkratk

RD	rodinný dům
tl.	tloušťka
DOK	difúzně otevřená konstrukce
DUK	difúzně uzavřená konstrukce
TT 1D	tepelná technika 1D (software)
NP	nadzemní podlaží
STN	stěna
SO	stavební objekt
kWh	kilowatthodina
ČSN	česká státní norma
U	součinitel prostupu tepla