



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

ANALÝZA NÁKLADŮ PASIVNÍCH DOMŮ A DOMŮ S NULOVOU POTŘEBOU ENERGIE COST ANALYSIS OF PASSIVE HOUSES AND HOUSES WITH ZERO ENERGY DEMAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Kateřina Gregovská

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOSLAV VÝSKALA, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R038 Management stavebnictví
Pracoviště	Ústav stavební ekonomiky a řízení

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kateřina Gregovská
Název	Analýza nákladů pasivních domů a domů s nulovou potřebou energie
Vedoucí práce	Ing. Miloslav Výskala, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

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

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

PODKLADY A LITERATURA

HUDEC, Mojmir. Pasivní rodinný dům: proč a jak stavět Praha: Grada, 2008. Profi & hobby. ISBN 978-80-247-2555-0.

HUDEC, Mojmir a Blanka JOHANISOVÁ. A6 - Použití přírodních materiálů a principů (udržitelnost). Brno: Národní stavební centrum, 2012. ISBN 978-80- 87665-05-3.

TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.

HUDEC, Mojmir, Blanka JOHANISOVÁ a Tomáš MANSBART. Pasivní domy z přírodních materiálů. Praha: Grada, 2013. ISBN 978-80-247-4243-4.

PYTLÍK, P. Ekologie ve stavebnictví. 1997. ISBN 80-85380-38-2

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem bakalářské práce je vymezení pojmů souvisejících s pasivními budovami a budovami s (téměř) nulovou potřebou energie a analýza investičních a/nebo provozních nákladů těchto staveb.

1. Teoretické vymezení výstavby vzhledem k tepelně-technickým požadavkům.
2. Pasivní budovy a budovy s nulovou potřebou energie.
3. Investiční a provozní náklady budov.
4. Předpoklady pro výstavbu budov s nulovou potřebou energie.
4. Analýza investičních a provozních nákladů budov.

Cílem práce je stanovení investičních a/nebo provozních nákladů pasivních budov a budov s (téměř) nulovou potřebou energie.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ 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 bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá obálkovými konstrukcemi již stávajícího rodinného domu, který je v pasivním standardu. Porovnávány konstrukce jsou tedy obvodová, podlahová a střešní. Předmětem této práce je, zda navržená skladba je efektivní, jak v rámci součinitele prostupu tepla, tak i v nákladech a rychlosti na výstavbu. Případně najít lepší možnou variantu tepelné izolace pro již navržené skladby obálkových konstrukcí. V práci se tedy porovnávají různé typy a tloušťky tepelných izolací. Pro srovnání se použily hodnoty součinitele prostupu tepla, nákladové náročnosti a časové náročnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pasivní dům, dům s nulovou potřebou, obálková konstrukce, součinitel prostupu tepla, nákladová náročnost, časová náročnost

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the envelope structures of an existing family house, which is in a passive standard. The constructions being compared are therefore peripheral, floor and roof. The subject of this work is whether the proposed structure composition is effective, both in terms of heat transfer coefficient and in construction costs and speed. Alternatively, find a better possible variant of thermal insulation for already designed compositions of envelope structures. The work therefore compares different types and thicknesses of thermal insulation. The values of heat transfer coefficient, cost intensity and time intensity were used for comparison.

KEYWORDS

Passive house, zero-energy building, envelope construction, heat transfer coefficient, cost complexity, time consumption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kateřina Gregovská *Analýza nákladů pasivních domů a domů s nulovou potřebou energie*. Brno, 2022. 51 s., 70 s. příl. Bakalářská 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 bakalářskou práci s názvem *Analýza nákladů pasivních domů a domů s nulovou potřebou energie* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2022

Kateřina Gregovská
autor práce

Poděkování

Touto formou bych ráda poděkovala svému vedoucímu Ing. Miloslavu Výskalovi Ph.D. za jeho cenné rady a vedení mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala mému kamarádovi za poskytnutí projektu pro vypracování této práce. A v neposlední řadě děkuji mé rodině a příteli za velkou podporu ve studiu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	PASIVNÍ DOMY A DOMY S NULOVOU SPOTŘEBOU.....	10
2.1	Vývoj nízkoenergetických domů.....	10
2.1.1	Vývoj nízkoenergetických domů v České Republice	11
2.2	Legislativa	11
2.3	Pasivní domy	11
2.4	Domy s nulovou potřebou	12
3	ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ POŽADAVKY	14
3.1	Součinitel prostupu tepla	14
3.2	Architektonický návrh	15
3.2.1	Orientace budovy	15
3.2.2	Tvar a půdorys budovy.....	15
3.3	Obvodové konstrukce	15
3.4	Střechy	16
3.5	Podlahové desky	16
3.6	Tepelné izolace	17
3.7	Výplně otvorů.....	17
3.8	Vzduchotěsnost.....	18
3.9	Tepelné mosty	19
4	OCEŇOVÁNÍ	20
4.1	Cenová soustava	20
4.2	Tvorba cen	20
4.3	Náklady.....	20
4.4	Kalkulace	21
4.5	Cena stavebního objektu.....	21
4.6	Pevná a pohyblivá cena	22
4.7	Rozpočet.....	22
4.7.1	Položkový rozpočet.....	23
4.7.2	Sestavení rozpočtu	25
5	PRAKTICKÁ ČÁST	26
5.1	Popis objektu	27
5.2	Stavební řešení.....	29
5.3	Tepelně technické vlastnosti objektu.....	32
5.3.1	Součinitel prostupu tepla.....	32
5.4	Náklady na výstavbu	37
5.5	Pracnost	41
5.6	Zhodnocení	45
6	ZÁVĚR.....	51
7	POUŽITÁ LITERATURA	53
8	SEZNAM TABULEK	55
9	SEZNAM OBRÁZKŮ	56
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	57
11	SEZNAM PŘÍLOH	58

1 ÚVOD

Energeticky nenáročné domy jsou čím dál tím více žádanější, jelikož tyto domy nemají vysoké náklady na provoz. Pasivní domy jsou dnes téměř obvyklým standardem pro rodinné domy. Domy s nulovou potřebou energie jsou ještě ojedinělé, ale také se pomalu zvyšuje zájem o tento typ domu. Nicméně se pro pasivní i nulové domy zpříšňují podmínky na výstavbu i na energetické hledisko a to může ovlivnit budoucí zájem o tyto domy.

Bakalářská práce definuje základní parametry pasivních domů a domů s nulovou potřebou energie. Tedy jaká je potřeba tepla na vytápění, potřeba primární energie nebo třeba do jaké míry je definovaná neprůvzdušnost. Dále práce popisuje technické požadavky budov. Bohužel pro dům s nulovou potřebou nejsou technické požadavky přesně stanovené, proto se pro tyto budovy využívají stanovené parametry pro pasivní domy. Mezi technické podmínky patří samozřejmě součinitel prostupu tepla, který je přesně stanoven pro jednotlivé konstrukce pasivního domu. Další technické požadavky, které jsou v práci popsány, je architektonický návrh, kde je určena orientace a tvar budovy. Práce se také věnuje popisu obvodové, podlahové a střešní konstrukce, tepelné izolace a výplně otvorů. Poslední technické podmínky, které jsou v práci zmíněny, jsou vzduchotěsnost a tepelné mosty. V teoretické části se bakalářská práce také zabývá oceňováním. V této kapitole je popsána cenová soustava, kalkulace, náklady a závěrem se zabývá popisem položkového rozpočtu.

Podkladem pro praktickou část práce je již stávající projekt rodinného domu, který je navržen v pasivním standardu. V praktické části se práce zabývá tepelnými izolacemi obvodové obálky navrženého domu, to jsou tedy obvodové, střešní a podlahové konstrukce. Pro tyto konstrukce jsou pak navrženy i jiné tloušťky a druhy tepelné izolace, než jsou ve stávajících skladbách projektu. Všechny tyto skladby s navrženými tepelnými izolacemi se porovnávají s původní variantou. Pro srovnání konstrukcí se používá součinitel prostupu tepla. Je důležité, aby hodnota součinitele vyhověla požadovaným a doporučeným hodnotám pro pasivní dům. Dalším parametrem je nákladová náročnost na výstavbu porovnávaných konstrukcí. Tyto náklady se stanoví pomocí rozpočtů, které se vytvoří v počítačovém softwaru. Posledním kritériem pro srovnání je pak časová náročnost výstavby, která je také dána rozpočtovým programem.

Cílem práce je tedy zjistit, zda skladba konstrukce je efektivní a případně najít výhodnější tepelnou izolaci, jak z pohledu součinitele prostupu tepla, tak i z nákladové a časové náročnosti, pro navržený dům.

2 PASIVNÍ DOMY A DOMY S NULOVOU SPOTŘEBOU

Pasivní a nulové domy patří do kategorie nízkoenergetických domů. Jsou charakterizované velmi nízkou potřebou tepla na vytápění. Nízkoenergetické budovy mají tedy měrnou potřebu tepla na vytápění výrazně nižší, než aktuálních stavebně-energetických požadavků. Této charakteristiky se dá dosáhnout nejlépe optimalizovaným stavebním řešením obálkových konstrukcí. [1]

Nízkoenergetické domy pasivního standardu jsou v normě označovány jako budovy s roční plošnou měrnou potřebou tepla na vytápění, která nepřesahuje 15 kWh/(m²·a). Dalším velmi důležitým požadavkem je neprůvzdušnost. Také se nesmí zapomenout, že celkové množství primární energie spojené s provozem pasivní budovy nesmí přesáhnout 120 kWh/(m²·a). Budovy, které se blíží k požadovaným parametrům pasivních domů, avšak některého z požadavků nedosáhly, se označují jako „téměř pasivní domy“ nebo „domy s velmi nízkou potřebou tepla“. [1]

Domy s nulovou spotřebou tepla jsou takové, které mají potřebu tepla velmi blízkou nule. Plošná měrná potřeba tepla na vytápění pro dům s nulovou potřebou je menší než 5 kWh/(m²·a). [1]

Tab. 1: Rozdělení budov dle potřeby tepla na vytápění [1]

Kategorie	Potřeba tepla na vytápění
Starší budovy	okolo 200 kWh/(m ² ·a)
Nízkoenergetický dům	≤ 50 kWh/(m ² ·a)
Pasivní dům	≤ 15 kWh/(m ² ·a)
Dům s nulovou potřebou	≤ 5 kWh/(m ² ·a)

2.1 Vývoj nízkoenergetických domů

První evropské státy, které se přiblížily ve výstavbě k nízkoenergetickým domům byly severské země. Například Švédsko zavedlo stavební normu SNB 75 již v roce 1975, tato norma udávala hodnoty součinitelů prostupu tepla podobným dnešním tuzemským hodnotám pro nízkoenergetické domy. Vývoj nízkoenergetických domů se v Evropě lišil hlavně díky tradicím národů a klimatickým podmínkám.

Pro rozvoj a podporu pasivních domů v novodobé historii Evropy byl založen v roce 1996 nezávislý a nevládní institut Passivhaus Institut Darmstadt. Instituce zapisuje všechny své zkušenosti a výsledky do PHPP. PHPP je software, který je určený pro návrh a výpočtové ověření pro návrh pasivních domů.

V Dánsku, v roce 1976 byl postaven první pasivní dům v Evropě. První pasivní stavba v Německu byla roku 1990. V tomto projektu bylo vyvinuto větrání se zpětným získáním tepla, okna s velkými okenními rámy a další potřebné prvky pro pasivní dům. Díky tomuto a následným pasivním projektům bylo odvozeno, že lze dodávat teplo pouze pomocí teplovzdušného vytápění.

Dalším zlomem pro vývoj nízkoenergetických domů byl projekt CEPHEUS. Projekt probíhal v pěti evropských zemích v letech 1998 až 2001, a bylo postaveno 221 bytových jednotek. V bytových jednotkách byly prováděny měření a výzkumy. Nejvýznamnějším zjištěním bylo, že pasivní domy mohou být až o 8% dražší na výstavbu než běžné bytové domy. Od tohoto projektu se začala rozšiřovat výstavba pasivních domů po celé Evropě.

Od roku 2000 se rozvíjela výstavba i v jižních teplejších oblastí. Bylo zde ale zjištěno, že v teplejších zemích se musí dávat větší důraz na udržení požadované teploty v létě, než v klimatických podmínkách střední Evropy. [2][3]

2.1.1 Vývoj nízkoenergetických domů v České Republice

V české republice v letech 1979-1989 byly první náznaky výstavby domů s nízkou spotřebou energie. Například ve Zlíně byl v tomto období postaven rodinný nízkoenergetický dům, který je zapuštěný z části do terénu.

Vývoj nízkoenergetických domů v Česku však pořádně začal až po roce 1989, kdy se s přechodem na tržní hospodářství postupně narovnávaly ceny energií. Nicméně až v roce 2005 v Rýmařově u Jablonce nad Nisou byl postaven první pasivní dům s ověřenými parametry a s dlouhodobým sledováním spotřeby energie a provozního režimu. Byl navržen jako dřevostavba se sedlovou střechou a vybaven systémem teplovzdušného vytápění. Větrání bylo zajištěno pomocí rekuperace a zemního kolektoru. V roce 2008 byl navržen a postaven první nulový dům v České republice, který slouží jako informační a vzdělávací středisko. [3]

2.2 Legislativa

Od 1. 1. 2022 se vytvořila nová legislativa, která je přísnější zejména na zateplování budov, ale i na obnovitelné zdroje pro pasivní domy a domy s nulovou potřebou. [4]

Pro energetickou náročnost budov je potřebný zákon č. 406/2000 Sb. [5], o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů a na to navazující vyhlášky. Jedná se o novou vyhlášku č. 140/2021 Sb. [6], která se zabývá energetickým auditem. Další vyhláška je č. 264/2020 Sb. [7], je to vyhláška o energetické náročnosti budov. Tato vyhláška nabyla platnosti 5. 6. 2020 a účinnosti 1. 9. 2020. Vyhláška se řídí příslušnými předpisy Evropské Unie a upravuje metody výpočtů energetické náročnosti budovy, dále vzor na posouzení technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti alternativních systémů dodávek energie, stanovení doporučených kroků pro snížení energetické náročnosti budovy, nebo také určuje umístění průkazů v budově. [8][12]

Technická normalizační informace TNI 73 0329 [9] se zabývají hodnocením, a hlavně klasifikací rodinných domů s velmi nízkou potřebou tepla pro vytápění. Pro bytové domy je to pak norma TNI 73 0330 [10]. [12]

Další norma, která platí v České republice je norma pro tepelnou ochranu budov ČSN 73 0540-2 [11], která je účinná od 1. 11. 2011. [12]

2.3 Pasivní domy

Pasivní domy se řadí do podskupiny nízkoenergetických domů. Je to budova, která se zvládne sama vytopit pomocí slunečního záření a zpětným získáním tepla. Jsou to stavby s velmi nízkou potřebou a s vysoce efektivním využitím energie, které zároveň mají nucené větrání pro optimální vnitřní prostředí. [2]

Okna a stavební obálka v pasivním domě musí být velmi dobře zaizolovaná, aby udržela teplo v domě. Pro vytváření tepla se využívá tělesné teplo obyvatel a sluneční teplo. Pro zajištění stálé kvality ovzduší je zapotřebí dobrá vzduchotechnika, která nevytváří studený průvan v domě a nezpůsobuje tak snižování teploty. [2]

Musí se dodržet několik zásad pro vytvoření pasivního domu. Každé klima má jiné kritéria pro stavbu pasivního domu. Podmínky pasivního domu pro naše střeoevropské klima jsou potřeba tepla na vytápění 15 kWh/(m²·a), potřeba primární energie 120 kWh/(m²·a) a vzduchotěsnost 0,6 h⁻¹. [2][13]

Tab. 2: Základní vlastnosti pasivního domu [1]

Veličina	Jednotka	Požadavek
Měrná potřeba tepla na vytápění	kWh/(m ² ·a)	≤ 15
Celková potřeba primární energie	kWh/(m ² ·a)	≤ 50
Celková neprůvzdušnost n ₅₀	h ⁻¹	≤ 0,6

Další podmínky pro pasivní dům jsou kvalitní okna a dveře s trojskly, kde je součinitel prostupu tepla menší než 0,8W/(m²·K), minimalizovat tepelné mosty v konstrukci, větrání s rekuperací, která má účinnost aspoň 75 % a správná volba energetických zdrojů, ideálně z obnovitelných zdrojů energie. Nezbytné pro pasivní dům je také umístění a tvar půdorysu. [14]

U pasivních budov velmi závisí na co nejlepším využití výše uvedených zásad a na technologiích, které jsou s těmito podmínkami spojeny. Proto je důležité najít na výstavbu pasivního domu kvalitního projektanta. [14]

Pasivní domy velmi ovlivňuje i to, jak je s domem zacházeno. Například neustále otevřená okna nejsou vhodné pro pasivní dům, jelikož to může zmařit celý charakter pasivu. Přes všechny podmínky jsou pasivní domy velmi jednoduché na údržbu, a nakonec dokáží snést i špatné zacházení. [14]

Pasivní domy mají spoustu výhod oproti ostatním stavbám. Mezi výhody pasivního domu se může zařadit extrémně nízké náklady na vytápění, stálý přívod čerstvého vzduchu, netvoří se průvan v domě, příjemné teploty v zimě i v létě, anebo vyšší komfort pro život. [15]

2.4 Domy s nulovou potřebou

Nulové domy jsou další podskupinou nízkoenergetických domů. Stavební řešení a technické zařízení nulových domů se navrhuje v pasivním standardu. Na rozdíl od pasivního domu je nulová budova rozšířená o zdroje energie s nízkým zdrojem a neobnovitelnou primární energií. [16]

Nulové domy pokrývají většinu spotřebované energie. Produkci energie zajišťují fotovoltaické panely nebo kogenerační jednotky. Kogenerační jednotka využívá odpadní teplo k vytápění a ohřívání užitkové vody. Stejně jako u pasivních domech, nulové domy využívají také sluneční paprsky a lidské teplo k vytápění. [17]

Domy s nulovou potřebou jsou takové, které mají potřebu tepla na vytápění menší než 5 kWh/(m²·a). Jako další pojem se sem můžou zařadit energeticky nulové domy. To jsou takové budovy, jejichž konečná energie se v ročním součtu rovná nule nebo se alespoň velmi blíží nule. Hodnocení energeticky nulových budov vychází z roční bilance energetických potřeb a produkce v budově a okolí budovy (např. oplocení, opěrné zdi, pergoly, přístřešky a jiné), které se vyjadřuje v hodnotách primární energie. Pro budovy s nulovou potřebou jsou stanovené dle ČSN EN 73 0540-2 [11] dvě základní úrovně hodnocení. [11]

První úroveň je úroveň A, kde se do energetických spotřeb započítává potřeba tepla na vytápění, spotřeba energie na přípravu teplé vody, energie na chlazení, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče a pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů. Druhá úroveň B je stejná jako úroveň A, ale nezahrnuje se zde energie na elektrické spotřebiče. [12]

Tab. 3: Základní požadavky energeticky nulových budov [12]

Závaznost kritéria	Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
	Průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} [W/(m^2 \cdot K)]$	Měrná potřeba tepla na vytápění $[kWh/(m^2 \cdot a)]$	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů	
			Úroveň A	Úroveň B
Nulový	Rodinné domy $\leq 0,25$	Rodinné domy $\leq 0,20$	0	0
Blízký nulovému	Bytové domy $\leq 0,35$	Bytové domy $\leq 0,15$	80	30

Podle ČSN EN ISO 52016-1 [18] se stanoví hodnoty dodané energie na vytápění a chlazení. Hodnoty energie pro ohřátí teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz elektrických systémů a energie na elektrické spotřebiče se udávají pomocí TNI 73 0329 [9] a TNI 73 0330 [10]. Norma ČSN EN 15316-4-5 [19] stanoví hodnoty energie pro dálkové teplo, kogenerační výrobu a další kombinované energetické systémy. Na přepočítání množství dodané energie na primární energii se použije příslušný faktor uvedený v Tab. 4. K primární energii budovy se započítává i roční produkce z obnovitelných zdrojů energie, která slouží potřebám domu, ale i energie, která je využita jinde prostřednictvím energetické sítě. [12]

Tab. 4: Srovnání energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie nulových budov [12]

	Obytné budovy		Neobytné budovy	
	Úroveň A	Úroveň B	Úroveň A	Úroveň B
Vytápění	+	+	+	+
Chlazení a úprava vlhkosti vzduchu	-	-	+	+
Příprava teplé vody	+	+	+	+
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	+	+	+	+
Umělé osvětlení	+	+	+	+
Elektrické spotřebiče	+	-	+	-

K hodnocení energie budovy je možné započítat i produkci elektrické energie z obnovitelných zdrojů umístěných na blízkých stavebních objektech. [12]

Výhodou nulových domů jsou velmi nízké náklady na energii, vyrábí obnovitelné zdroje pro energii, díky řízenému větrání se neobjevují plísně a vlhkost konstrukcí. Ovšem dům má i pár nevýhod. Je například velmi složitý na přípravu projektu a také je dražší, než obyčejné stavby. [20]

3 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ POŽADAVKY

Pro dům s nulovou potřebou nejsou dány technické požadavky. Z toho důvodu se pro nulový dům používají obecné požadavky pro pasivní dům.

Mezi základní technické požadavky pasivního domu řadíme tvar a půdorys budovy, orientace ke světovým stranám, návrh obvodového pláště, výplň otvorů obvodového pláště, součinitel prostupu tepla, neprůvzdušnost, řízené větrání, vyloučení tepelných mostů a zdroj vytápění. Práce se nezabývá větráním a vytápěním, proto to není dále specifikováno. [14]

3.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla se současně klasifikují dvěma způsoby. Tedy součinitel prostupu tepla se hodnotí zvlášť pro jednotlivé konstrukce a také pro celkovou budovu pomocí průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} . Pokud není udělena výjimka, tak oba tyto požadavky musí být současně splněny. [12]

Hodnoty součinitelů prostupu tepla se udávají dle normy ČSN 73 0540-4 [21]. Pro pasivní budovy jsou doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla netypicky uvedeny ve velmi širokém intervalu hodnot. Při horním okraji tohoto intervalu jsou hodnoty, které se používají pro větší a kompaktní budovy. [12]

Pro domy s nulovou potřebou nejsou přesně definované hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce. Pro domy s nulovou potřebou se tedy používají hodnoty pro pasivní budovy. [12]

Tab. 5: Požadované a doporučené hodnoty prostupu tepla [12]

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla		
	Požadované hodnoty $U_{N, 20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas, 20}$
Stěna vnější	0,3	těžká: 0,25; lehká: 0,20	0,18-0,12
Střecha strmá se sklonem větší než 45°	0,3	0,2	0,18-0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15-0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15-0,11
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,3	0,22-0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,75	0,5	0,38-0,25
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5	1,2	0,8-0,6

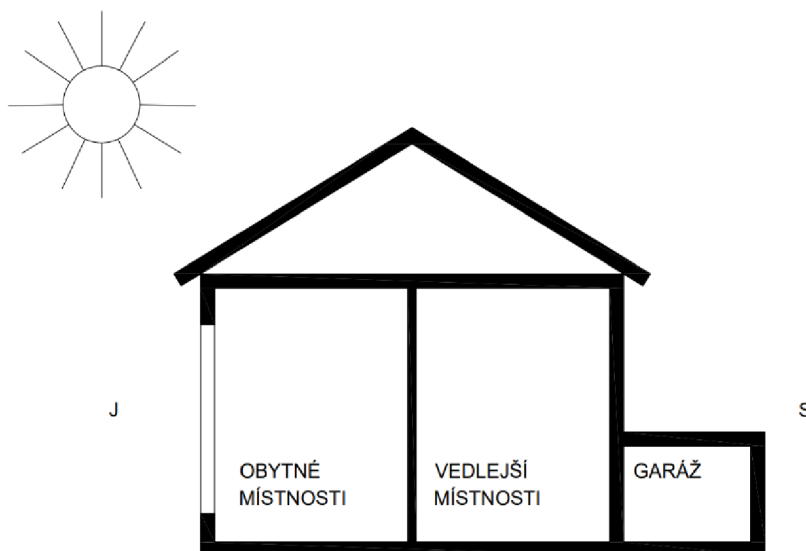
Hodnoty z *Tab. 5* se stanovují pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou v intervalu od 18 °C do 22 °C včetně. [12]

3.2 Architektonický návrh

Při výstavbě pasivních a nulových domů se klade velký důraz na určité zásady v architektonickém návrhu. Jestliže se nedodrží tyto zásady, nemusí se pak naplnit požadavky na nízkoenergetický dům. [14]

3.2.1 Orientace budovy

Na každou stavbu působí vnější klimatické podmínky, které ve správné orientaci budovy může stavba využívat. Je tedy zapotřebí zohlednit umístění budovy na pozemku, orientace na světové strany, velikost oken, umístění oken hlavně na jižní stranu nebo také rozmístění obnovitelných zdrojů. Musí se také dbát na správné uspořádání místností v objektu – obytné místnosti jako je obývací pokoj, ložnice, jídelna se orientují na jižní stranu. Místnosti, které nepotřebují tolik slunečního svitu, jako jsou chodby, koupelny nebo garáž se mohou umísťovat na severní stranu. Pro vyhřátí domu je také cenné západní či východní slunce, nicméně kvůli menší výšce nad horizontem hrozí jeho zastínění okolními budovami. [1][3]



Obr. 1: Orientace budovy ke světovým stranám

3.2.2 Tvar a půdorys budovy

Dále je nutné dávat velký důraz na kompaktní tvar objektu, nesmí to být žádná tvarově složitá stavba. Už při vymýšlení tvaru budovy se rozhoduje, jestli bude spotřeba energie nízká, či vysoká. Budova musí mít tedy co nejkompaktnější tvar. Každý výstupek, balkón, aj. ochlazuje budovu. Nejlepší variantou je tedy čtvercový půdorys budovy. [14]

3.3 Obvodové konstrukce

Důležitými atributy pro nulové a pasivní domy jsou kvalitně izolované konstrukce, vysoké povrchové teploty a snížení rizik plísní. Kvalitní obvodová konstrukce musí mít

dobré akumulční vlastnosti. V letním období působí vysoký tepelný odpor i jako ochrana proti přehřívání. [13]

Mezi nejzásadnější předpoklady pro vhodné konstrukční systémy patří správnost typu konstrukce pro zvolenou izolaci a povrchové úpravy, dosažení co nejmenší tloušťky skladby při dosažených potřebných izolačních parametrů, možnost jednoduchého řešení napojení konstrukcí s eliminací tepelných mostů a jednoduchost a spolehlivost provedení vzduchotěsné vrstvy. K dispozici je velké množství konstrukcí, které splňují tyto předpoklady. Hlavní je tloušťka konstrukce, každý ušetřený centimetr přidá obytné plochy a také sníží cenu nemovitosti o několik desítek tisíc korun. [13]

Při řešení ekonomických aspektů nemůžeme brát do úvahy jen cenu, musíme brát zřetel i na ostatní hlediska. Musí se posuzovat s ohledem na ostatní použité prvky v konstrukci budovy, jako je například zakládání, doplňkové tvárnice, překlady, stropy, ale i na pracnost a rychlost výstavby. Dalším aspektem pro výběr obvodové konstrukce jsou akumulční a akustické požadavky. Nesmí se zapomenout, že důležitá hlediska jsou také míra údržby a životnost jednotlivých konstrukcí. [13]

Důležitým prvkem u obvodových konstrukcí je tedy tepelná izolace, která se může zajistit dodatečně nebo inovovanými stavebními prvky, které se zdokonalují a vyvíjejí. Pro dodatečné zateplení je vhodný například šedý neboli grafitový polystyren, který při stejné tloušťce jako obyčejný polystyren má až o pětinu lepší izolační efekt. Jako stavební prvek v konstrukci se může použít keramické tvarovky, které se neustále vyvíjí a zdokonalují. Tvarovky mohou být s dutinami, které jsou vyplňované izolačními hmotami. Dále se pak využívá více vrstvé zdivo s kontaktní tepelnou izolací. U jednovrstvých konstrukcí se musí dát pozor při napojování na další konstrukce, kvůli výrazně vyšší vodivosti ve směrech jiných než kolmých na obvodovou stěnu. Perspektivní jsou i prvky s vakuovou tepelnou izolací. [12]

Pro obvodové konstrukce je vhodné použít vápenopískové bloky, prefabrikované betonové panely, jedno vrstvé zdivo z cihelných tvárnic s tepelnou výplní, ztracené bednění nebo přírodní materiál dřevo. [22]

3.4 Střechy

U pasivních domů se často používá střešní konstrukce tvořená dřevěnými nosníky. Mezi nosníky se klade tepelný izolant. Dále pak je možná sedlová střecha s vrstvou izolace nad krokviemi, případně ještě s dodatečnou izolací mezi krokviemi. Pro pasivní budovy je důležité vědět, zda bude podkroví využíváno nebo ne. Pokud podkroví nebude obyvatelné, pak je lepší izolovat pouze nejvyšší stropní konstrukci domu. Dosáhne se tím menší ochlazované plochy a tím i menšího vytápěného prostoru. [14]

Pro nulové a pasivní domy jsou také možné ploché a pultové střešní konstrukce. V takovém případě se mohou provádět ploché jednoplášťové střechy, dvouplášťové ploché střechy, pultové střechy nebo střechy s obrácenou skladbou. Ploché střechy mohou být s vegetací nebo na nich může vzniknout terasa. [14]

3.5 Podlahové desky

Pro podlahové desky na terénu je lepší, že část tepelné izolace, která slouží jako izolace obvodové stěny spodní stavby, je vložena pod podlahovou desku. Musí se však dbát na to, aby splňovala podmínky pro použití pod podlahovou konstrukcí. Kromě toho se mezi desku podlahové konstrukce a potěr klade další tepelně izolační vrstva a případně také

kročejová izolace. Dále se také nesmí opomenout v podlahové konstrukci hydroizolační vrstva. [14]

3.6 Tepelné izolace

Na trhu je celá řada tepelných izolantů. Pro výběr jsou zásadní požadavky jako tepelná vodivost, difuze vodní páry, pevnost v tlaku, požární odolnost, teplotní namáhání nebo odolnost proti stárnutí. Pro investory je také zásadní cena izolantů nebo vliv na životní prostředí tepelné izolace. Nejčastěji se jako tepelná izolace používá polystyren. Je to tuhý izolační materiál. Jako lepší varianta od klasického polystyrenu je grafitový polystyren, který má až o pětinu lepší tepelné vlastnosti. Dalšími typy tuhých pěnových izolantů je například extrudovaný materiál nebo polyuretan. Také častým izolantem je tepelná izolace z minerálních vláken. Minerální vlna mají dobré tepelné i akustické vlastnosti, proto se používá jako izolace proti kročejovému zvuku. [14]

Pro tepelné izolace se mohou použít i přírodní materiály. Mezi přírodní izolanty patří například korek, dřevěná vlákna, rostlinná vlákna, pěnové sklo, ovčí vlna, bavlna a další. Tyto materiály však nemají nejlepší vlastnosti, co se týče hořlavosti. Další variantou pro tepelnou izolaci může být vakuum, to je však velmi složité na výstavbu. [14]

Tab. 6: Srovnání hodnoty tepelné vodivosti tepelně izolačních materiálů [14]

Tepelně izolační materiál	Obvyklá hodnota tepelné vodivosti [W/(m·K)]
bavlna	0,040
dřevěná vlákna	0,050-0,060
korek	0,045-0,055
minerální vlákna	0,035-0,045
polystyren	0,035-0,045
polystyren s grafitem	0,031-0,034
extrudovaný polystyren	0,030-0,035
polyuretan	0,025-0,035
ovčí vlna	0,040-0,045
pěnové sklo	0,045-0,055
vakuum	0,004-0,008

Systému tepelné izolace, které se lepí nebo upevňují pomocí hmoždinek na vnější stranu nosné konstrukce, se nazývá ETICS. Pro podkladní stěrku s vyztuženou tkaninou se nejčastěji používá minerální suchá maltová směs, lepicí malta na bázi cementu s disperzními přísadami nebo lepicí malta bez podílu cementu s disperzními přísadami. Pro zajištění ochrany proti povětrnostním vlivům se používá povrchová vrstva, jako je akrylátová omítka, silikátová omítka, minerální omítka a další. [14]

3.7 Výplně otvorů

Dalším významným bodem tepelných ztrát ve výstavbě jsou okna. Pro funkční a energetické vlastnosti závisí na velikosti oken, rozmístění, fyzikální vlastnosti, ale i návaznost na okolní obvodovou stěnou. [1]

Na konečný prostup tepla okny působí vlastnosti zasklení a rámu, poměr plochy zasklení a celého okna, vazba mezi oknem a obvodovou konstrukcí, vlastnosti distančního rámečku na okraji zasklivač jednotky a skutečné provedení. [1]

Kromě součinitele tepla U_w [$W/(m^2K)$] je dalším velmi důležitým parametrem celková propustnost slunečního záření g , charakterizující zasklení z hlediska prostupu solární energie. Nejrozšířenější jsou dnes okna s trojskly. Okna pasivních budov musí splňovat následující požadavky:

součinitel prostupu tepla celého okna $U_w \leq 0,80 W/(m^2 \cdot K)$;

pro certifikaci počítáno se zasklením $U_g \leq 0,70 W/(m^2 \cdot K)$;

součinitel prostupu tepla osazeného okna U_w , osazeno $\leq 0,85 W/(m^2 \cdot K)$

Díky uvedeným parametrům může být otopný zdroj kdekoliv, aniž by se zapařovaly okna. [13]

Velikost oken se v našem klimatickém podnebí musí volit přiměřeně. Prosklené stěny se v pasivních domech objevují velmi zřídka, u nulových domů se velké okna neobjevují vůbec. Je potřebné vyřešit odstínění, jelikož se interiéry těchto budov velmi přehřívají. Okna také nemají dobré izolační vlastnosti, proto je zde větší ztráta tepla v zimním období. Za optimální velikost oken se považuje poměr 1:6 až 1:4 k podlahové ploše, což představuje asi 40% fasádové plochy. [14]

3.8 Vzduchotěsnost

Jedna z hlavních vlastností pasivních a nulových domů je vzduchotěsnost nebo také neprůvzdušnost. Tento požadavek je i pro jiné budovy, ale požadavky kladené na pasivní popřípadě nulové domy jsou mnohem vyšší. Je tedy kladen velký důraz na tento problém již v projektu stavby. Pro neprůvzdušnost se musí dbát na výběr materiálu, správné navržení přechodů mezi různými materiály, správné navržení prostupů neprůvzdušné vrstvy, spoje mezi střechou a stěnami, připojení oken a dveří aj. [14]

Všechny materiály, které jsou použity na neprůvzdušnost musí mít dostatečnou životnost. Vrstvy materiálu, které jsou v konstrukci, musí být na sebe kompatibilní. U obvodových zděných konstrukcí se musí dbát na to, aby byly minimálně z jedné strany opatřeny omítkou, která bude pokrývat konstrukci po celé ploše. Aby omítka na obvodovém zdivu zajistila neprůvzdušnost konstrukce, tak musí být zcela bez mezer. Stavební konstrukce, které jsou tvořeny z betonu, jsou již sami o sobě neprůvzdušné. Konstrukce z lehkých stavebních hmot, jako jsou střechy, mají vrstvu parozábrany nebo parobrzd, která zajišťuje vzduchotěsnost. U dřevěných konstrukcí, jako střešní krokve, nejde zajistit vzduchotěsnost spojů těchto konstrukcí. Proto tyto dřevěné konstrukce nesmí prostupovat přes vzduchotěsnou vrstvu. Podobně jsou na tom i konstrukce z trapézových spojů nebo desky spojené na perodrážku. [14]

Vzduchotěsnost nezajistí ani montážní pěny, která jsou často používané k utěsnění spojů mezi stěnou a okny nebo stěnou a dveřmi. Namísto toho je vhodnější varianta lepicí pásek nebo fólie, která je k tomuto účelům vhodná. [14]

Jestliže dojde k poškození vzduchotěsné vrstvy, pak může díky tlaku pronikat vlhký a teplý vzduch z obytných místností do konstrukce. Tento vzduch se následně v konstrukci ochladí a vytvoří se kondenzující pára. Tento jev pak může v konstrukci vytvářet různé druhy plísní. Pro pasivní domy je neprůvzdušnost obzvláště důležitá, aby zabraňovala vzniku tepelných ztrát. Proto je velmi důležité, aby parozábrana byla kvalitně provedena, a aby byla těsná po celé ploše konstrukce, a to i v místech spojů. [14]

U pasivních konstrukcí je potřebná zkouška vzduchotěsnosti. Tato zkouška se provádí měřením výměny vzduchu pomocí testu s ventilátorem, tzv. Blower-Door-Test.

Test je možný provádět až po dokončení vzduchotěsné vrstvy a po osazení oken a dveří. Vzduchotěsná vrstva však ještě není zakryta, aby bylo možné ji případně zkontrolovat a opravit. Pomocí testového ventilátoru lze vytvořit v budově podtlak i přetlak. Prostupem vzduchu ventilátoru se změní, kolikrát za hodinu dojde k výměně vzduchu. Blower Door Test je také možný použít na vyhledání netěsností konstrukce. K tomuto zkoumání je zapotřebí ještě termovizní kamera nebo přístroj pro měření rychlosti proudění vzduchu. [14]

3.9 Tepelné mosty

Tepelné mosty jsou místa, kde je zvýšený tepelný tok. Nejčastější jsou to místa s oslabenou tepelně-izolační vrstvou u napojení konstrukcí. Jako hlavním aspektem zvýšené prostupnosti tepla je také ochlazované místo na vnitřní straně konstrukce. S tímto problémem je potom spojené zvyšování vlhkosti, která může dorůst až do tzv. rosného bodu, kdy už vlhkost vzduchu začne kondenzovat. Díky vlhkosti se objevují i další problémy, jako jsou například plísně a s tím spojena různá onemocnění. [12]

Tepelné mosty vznikají zejména nedbalostí. U nosných a obvodových stěn se zapomíná, že jejich dolní část je napojena na nevytápěný sklep, kde vzniká tepelný most. Také se zapomíná na přerušování izolace. Nejčastější místa, kde se objevuje riziko tepelných mostů, jsou:

- tepelná vazba v místě napojení konstrukcí
- oslabení izolace nehomogenitou ve formě chybějící izolace nebo vložených konstrukčních prvků
- rozdílné tepelné toky způsobené geometrií
- bodové prvky s vyšší tepelnou vodivostí procházející vrstvou izolace
- tepelná vazba v místě napojení konstrukcí [13]

Tepelné mosty se rozlišují jako tepelné mosty způsobené nevýhodným tvarem stavebního díla, způsobené materiály se značně rozdílnou tepelnou vodivostí, způsobené prouděním nebo způsobené místním teplotním rozdílem. Tepelné mosty způsobené nevýhodným tvarem stavebního díla vznikají u budov, kterým se zvětšil povrch vydávající nebo absorbující teplo. Příkladem pro tento případ tepelného mostu jsou vykonzolované balkónové desky. Ve stropní desce je velká ochlazovaná plocha a tak vzniká tepelný most. Tepelný most způsobený materiály se značně rozdílnou tepelnou vodivostí se nachází v místech složení rozdílných materiálů s rozdílnou tepelnou schopností. Typickým příkladem jsou lehké dřevěné skeletové stěny s tepelnou izolací mezi dřevěnými sloupky. Příkladem pro tepelný most způsobený prouděním jsou místa, kde se nacházejí netěsnosti, jako jsou prostupy pro vodovodní vedení. V těchto netěsnostech může proudit teplý nebo studený vzduch a může tak budovu ochlazovat, popřípadě oteplovat. V posledním případě tepelného mostu je tepelný most způsobený místním teplotním rozdílem. Vzniká tam, kde na rozdíl od ostatních ploch konstrukce je vyšší povrchová teplota. Příkladem je otopné těleso v obvodové stěně. V tomto místě se pak obvodová stěna ohřívá od otopného tělesa a vyskytuje se zvýšený tepelný tok směrem ven. [14]

U pasivních a nulových domů se musí zredukovat výskyt tepelných mostů na minimum, proto je zapotřebí kvalitní projekt. V současnosti již existuje řada programů, které v konstrukci najdou problémová místa na tepelné mosty. [14]

4 OCEŇOVÁNÍ

Základní ekonomické vztahy jsou vyjádřeny pomocí ceny. Pomocí ceny zboží určíme množství peněz, za které vyměníme jednotku statků nebo služeb. Je to tedy penězi vyjádřená hodnota zboží.

Pro hledání hodnotového základu peněz se utvořily dvě teorie. První se zabývá chováním spotřebitele. Odvozují tedy cenu od uspokojení potřeb zbožím. Trhem, kde se setkávají kupující s prodávajícími, se určují hodnoty a ceny. Proto jsou nazývány jako tzv. subjektivní teorie hodnoty. Druhá teorie se zabývá náklady na zboží. Tato teorie se nazývá jako tzv. objektivní teorie hodnoty. [23]

4.1 Cenová soustava

V tržní ekonomice tvoří ceny jednotnou soustavu, nejen na trhu zboží, ale i na všech ostatních trzích, jelikož trhy jsou na sobě závislé a vzájemně se ovlivňují. Proto, aby se dala směniti koruna, je také spojen vnitřní trh se zahraničním.

V národním hospodářství tvoří cenovou soustavu ceny jednotlivých směnných procesů. Pro hodnocení cenové soustavy se používají dva přístupy. Přístupy jsou buď kvalitativní, nebo kvantitativní. Kvantitativní přístup je zaměřen na postavení cenové soustavy v národním hospodářství. Zaměřuje se na úlohy, které v hospodářství plní a tedy na celkovou kvalitu. Kvantitativní přístup k hodnocení cenové hladiny se zabývá vývojem jednotlivých cenových hladin i celkové hladiny. Také sleduje vývoj cen jednotlivých výrobků. [23]

Je potřebná ve všech fázích výstavby a pomáhá tak při přípravě i při realizaci stavby. Pro investory, dodavatele i projektanty slouží jako zdroj informací o cenách materiálu, stavebních prací a služeb. [24]

4.2 Tvorba cen

Tvorba cen je úzce spojena s náklady. Z nákladových stanovisek tvorby cen je nejvíce rozšířená metoda cílové ceny. Tato metoda určuje míru rentability a sleduje zajištění návratnosti investic. [23]

Tvorba konečné ceny probíhá v pěti krocích. Úplně první krok pro tvorbu ceny je rozhodnutí o zisku. V dalším kroku se zvolí úroveň využití kapacity. Dále se vypracují celkové výrobní náklady, určí se cílová míra zisku a v závěru se stanoví konečná cena. V tvorbě cílové ceny se nebere v úvahu vývoj poptávkové funkce, proto stanovená cena musí být prověřena trhem. [23]

4.3 Náklady

Náklady vyjadřují spotřebu výroby za účelem dosažení největší produkce. Z ekonomického hlediska se rozlišují náklady celkové, průměrné a mezní. Náklady celkové jsou sumou všech nákladů, které byly vynaloženy na určitou realizaci produkce. Průměrné náklady jsou takové, které vyjadřují výši nákladů na realizaci jednotky produkce. Je to podíl celkových nákladů na jednotku produkce. Mezní náklady jsou potřebné na navýšení objemu produkce o danou jednotku. Dalším dělením nákladů je členění pro kalkulace a to na přímé a nepřímé náklady. V přímých nákladech jsou všechny náklady, které jsou nutné pro danou výrobu, a jejich objem je možné

stanovit na jednici výroby. Nepřímé náklady se musí určit nepřímo pomocí přírážkové metody, jelikož u nich nelze objemem zjistit na jednici výroby. Z hlediska formulování a řízení výrobního procesu lze náklady dělit na fixní a variabilní. Fixní náklady jsou takové, u kterých se nemění objem výroby. Mění se pouze v čase, a pokud dojde ke změně těchto nákladů, tak jediné skokově. Variabilní náklady jsou pak naopak náklady, které se mění v závislosti na množství produkce. [25]

4.4 Kalkulace

Kalkulace slouží pro rozhodování, jako podklad při oceňování, financování a bilancích, je to prvkem daňového řízení. Jedním z hlavních úloh kalkulace je kalkule nákladů pro cenovou strategii. Kalkulace sleduje náklady dle druhů a jejich výkonů. Kalkulace nákladů se charakterizují jako absorpční a neúplné. V absorpční charakteristice se propočítávají úplné náklady na kalkulační jednici. V neúplné charakteristice kalkule se k výkonům připojují jednotlivé složky nákladů, které jsou závislé na jejich změnách. Náklady, které jsou závislé na čase, se přidělují jako blok k celkové produkci. [23]

Dále se kalkule dělí na předběžné a výsledné. Jak už název napovídá, předběžné kalkule se vytvářejí před zahájením výrobního procesu. Předběžné kalkule se dále dělí dle kvality a úrovně vstupních údajů na propočtové a rozpočtové. Propočtové kalkule jsou užitečné pro zavádění nových technologií, při změnách výrobních a dodacích podmínek ve výzkumné činnosti nebo při modernizaci. Rozpočtové kalkule se mohou využít i pro plánování. Také mohou sloužit pro určování nákladů v závislosti na objemu produkce za dané období a dále zahrnují organizační hledisko. Tyto kalkule jsou daleko podrobnější, než jsou propočtové kalkule. Jsou podkladem pro rozhodování o výrobě nebo o poskytování služeb. Dále se předběžné kalkule dělí na dlouhodobé a krátkodobé, z hlediska cíle zaměření na organizační jednotku, daný výkon nebo na kombinované. [23]

Výsledná kalkule vytváří skutečné náklady uskutečňované produkce a slouží k provádění kontroly, řízení množství a struktury nákladů. Podle struktury kalkule se dělí na postupnou a průběžnou. Postupná kalkule vyjadřuje posun nákladů nižších výrobních úrovních na vyšší úroveň jako agregované položky přímých nákladů. Při průběžné kalkulaci se sumárně kalkulují jednotlivé náklady na určitých stupních výroby společně pro všechny stupně. [23]

Pro vytváření kalkulací existuje řada kalkulačních technik a metod. Ty se musí vybrat dle toho jaký je předmět a cíl kalkule. Kalkulační technika je způsob propočtu nákladů. Nejčastěji se používají postupy jako kalkule dělením prostá, kalkule s poměrovými čísly a kalkule přírážková. Kalkulační metody se zabývají charakterem produkce. Metody se rozlišují jako zakázkové, stupňovité nebo fázové, zůstatkové, rozčítací, anebo normové. [23]

4.5 Cena stavebního objektu

V zadávacích podmínkách investor určuje cenu, která bude uplatněna v dohodě o ceně. Při určování ceny se investor může řídit různými doporučeními a hledisky. V neveřejných zakázkách není přesně stanoven žádný předpis, který by přesně určoval jaký typ ceny nebo způsob tvorby ceny má být použit. Pro veřejné zakázky je přesně daný zákon o zadávání veřejných zakázek a navazující cenové předpisy, podle kterých se musí investor řídit.

Ceny a cenové nabídky se mohou zpracovat v různých variantách. Z hlediska podmínek cenové dohody se ceny dělí na pevné, běžné s klouzavou doložkou a pohyblivé. Dle dohodnuté formy a struktury ve smlouvě se dělí na skladebné, ostatní a kombinované. Dále se ceny mohou dělit z hlediska kalkulační metody, a to na individuálně kalkulované, porovnatelně kalkulované, kalkulované pomocí normativů, parametrické, indexované, převzaté a na odborně odhadnuté. [23]

Pro rozhodování investora o výši a variantě ceny je také důležité, zda je na trhu poptávka, jaká je na trhu konkurence a jaké budou náklady. Proto je důležité, aby investor neustále porovnával tržní a nákladovou cenu. Základem pro marketing je tedy kalkulace nákladové ceny, marketingová analýza a rozbořem odvozená cena strategie. [23]

4.6 Pevná a pohyblivá cena

Typ smluvních cen z hlediska podmínek o dohodě se dělí na pevné a pohyblivé. Pevná cena je předem dohodnutá cena, kterou investor zaplatí zhotoviteli bez ohledu na to, jaké byly skutečné náklady. Pro investora je to tedy výhodné, jelikož tuto cenu žádné vlivy neovlivní. Dodavatelé se naopak pohyblivé ceně vyhýbají, z důvodu negativních dopadů na cenu, která navyšuje náklady. V tom případě je to pro zhotovitele velmi nevýhodné a raději přistoupí na pevnou cenu s klouzavou doložkou. Tato cena umožňuje dodavateli měnit ceny dle určitých dohodnutých pravidel. Pevná cena s klouzavou položkou se používá, když se předpokládá větší pohyby mezd a cen vstupních materiálů, strojů, energie a služeb. Také se používá u staveb s delší dobou výstavby pro zohlednění inflace. [23]

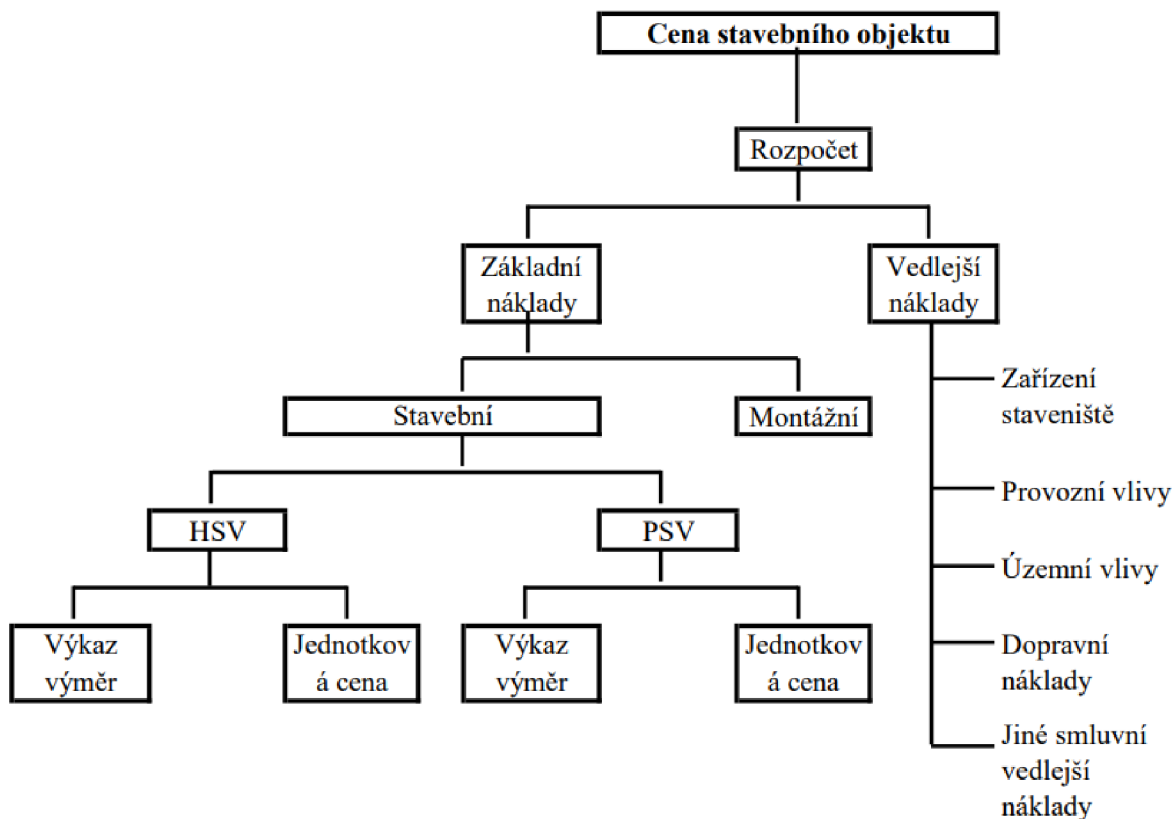
Dalším typem je pevná cena, která umožňuje změnit cenu dle skutečných nákladů, které při realizaci vznikly. Tedy Investor platí dodavateli všechny přímé náklady, které během výstavby vzniknou a ještě se započítá přírážka a zisk. Pohyblivá smluvní cena se může rozdělit do dvou složek. První složkou jsou náklady na výstavbu. Tyto náklady jsou dobře kontrolovatelné, jelikož jsou pro investora viditelné. Druhá složka je pak přírážka k těmto nákladům. Investor tyto náklady nevidí a jsou pro něho tedy těžce kontrolovatelné. Pro dodavatele tato přírážka kryje jeho režii, riziko podnikání a potřebný zisk. [23]

4.7 Rozpočet

Skladebná cena je stanovení nabídkové ceny pomocí skladebního ocenění konstrukčních prvků. Toto sestavení ceny se nazývá rozpočet. [23]

Hlavní podstatou rozpočtování je soupis všech nákladů, které vznikají v průběhu stavebních prací. Je to nejrozšířenější typ ceny. Rozpočet je závislý na účelu, pro který je zpracován, na míře podrobnosti a správnosti dokumentace a na použitých oceňovacích materiálech. Rozpočet bývá zpracován jako nabídková cena stavebního objektu včetně vedlejších nákladů pro dodavatele, jako poptávková cena stavebního objektu včetně vedlejších nákladů pro investora a jako rozpočet pro smluvní sjednání. Pro dodavatele rozpočet ukazuje, jaký bude mít výnos a zda mu výnosy pokryjí vynaložené náklady. Pro investora je rozpočet důležitý proto, aby věděl za jaké položky, a kolik bude platit. Dalším rozdělením rozpočtu je z hlediska podrobnosti dokumentace podle toho, jaký prvek se stanoví jako kalkulační jednice. Kalkulační jednice může být stavební objekt, technologická etapa, skupinový prvek (práce HSV,PSV; skupina stavebních dílů; stavební díl) nebo konstrukční prvek jednotkový. Pro oceňování podkladů může dodavatel i investor využít buď vlastní cenové podklady, nebo převzaté

cenové podklady a pomůcky. Rozpočet obvykle zahrnuje základní náklady, vedlejší náklady a náklady, které mohou vzniknout z předpokládaných nebo vznikajících podmínek při realizaci stavby. [23]



Obr. 2: Tvorba ceny stavebního objektu [23]

4.7.1 Položkový rozpočet

Položkové rozpočty se vytváří pro stavební objekty, provozní soubory a objekty zařízení staveniště. Rozpočet obsahuje základní náklady a vedlejší náklady. Základní náklady tvoří náklady HSV, náklady PSV a náklady dodávek a montáží. Základní náklady prací HSV a PSV jsou stanoveny pomocí výkazu výměr těchto prací a ocenění jednotkovými cenami stavebních prací, cenami specifikací a hodnotovými zúčtovacími sazbami. Cenami montážních prací jsou oceněny základní náklady dodávek a montáží. [23]

Položkový rozpočet vychází z výkazu výměr jednotkových prací, které jsou následovně oceněny pomocí jednotkových cen. Rozpočet se sestavuje před zahájením stavebních prací, proto výkaz výměr vychází z dokumentace. Pro výpočet výkazu výměr je důležitý daný způsob měření množství konstrukcí a prací. Pro přehlednost výkazu výměr se dodržuje následující zásada. [23]

$$\text{Výměra} = \text{délka} \times \text{šířka} \times \text{výška.}$$

Práci ve výkazu výměr řadíme jako práce HSV, práce PSV a nakonec montážní práce. Toto rozdělení se řadí stavební práce dle skupin stavebních dílů a řemeslných prací uvedených v TSKP následovně:

Tab. 7: Řazení HSV ve výkazu výměr [23]

Práce HSV	
1	Zemní práce
2	Zvláštní zakládání, základy, zpevňování hornin
3	Svislé a kompletní konstrukce
4	Vodorovné konstrukce
5	Komunikace
6	Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní otvorů
8	Trubní vedení
9	Ostatní konstrukce a práce, bourání

Tab. 8: Řazení PSV ve výkazu výměr [23]

Práce PSV	
71	Izolace
72	Zdravotně technické instalace
73	Ústřední vytápění
74	Silnoproud
75	Slaboproud
76	Konstrukce ostatní
77	Podlahy
78	Dokončovací práce
79	Ostatní konstrukce a práce PSV

Tab. 9: Řazení práce montáží ve výkazu výměr [23]

Práce montážní	
21-M	Elektromontáže
22-M	Montáže sdělovacích, signalizačních a zabezpečovacích zařízení
23-M	Montáže potrubí
24-M	Montáže vzduchotechnických zařízení
25-M	Povrchové úpravy strojů a zařízení prováděných při externích montážích
33-M	Montáže dopravních zařízení, skladových zařízení a vah
35-M	Montáže čerpadel, kompresorů a vodohospodářských zařízení
36-M	Montáže provozních, měřících a regulačních zařízení
43-M	Montáže ocelových konstrukcí
46-M	Zemní práce prováděné při extrémních montážních prací

Ceny stavebních konstrukcí, prací a montážních prací jsou tvořeny na základě kalkulační jednotky, kterou je konstrukční prvek. Ceny se dělí jako jednotkové, skupinové nebo souhrnné. Jednotkové ceny se sestavují do ceníků, které slouží k rychlejšímu sestavení nabídkové ceny. [23]

4.7.2 Sestavení rozpočtu

Pro sestavení rozpočtu je v první řadě důležitý výkaz výměr, který musí být pečlivě proveden. Dalším krokem je ocenění výkazu výměr. Součinem výměry a jednotkové ceny pro každou položku rozpočtu se základní náklady dodávek a prací a výpočet základních nákladů jednotlivých stavebních dílů určují dle TSKP. Současně s tím se také propočítává hmotnost pro každou položku, která později slouží pro výpočet přesunu hmot. Dále se vypočítá základní náklady jednotlivých stavebních dílů dle TSKP, udělá se rekapitulace základních nákladů HSV a PSV a výpočet a rekapitulace vedlejších nákladů. V závěru se vytvoří krycí list rozpočtu se základními údaji o stavbě a s konečnou rozpočtovou cenou. [23]

K sestavování rozpočtu již existuje mnoho softwarových programů. Programy vytvářejí buď specializované firmy na vytváření softwarů, nebo velké společnosti si vytvoří vlastní programy na rozpočtování. Software, který je určený pro rozpočtování a kalkulaci, by měl obsahovat orientaci v databázi cen, prací a materiálu, edici databáze cen, vytváření výkazu výměr, jednoduchost ve vytváření rozpočtu a kalkulace, úprava hotového rozpočtu a tvorbu přehledných výstupů. [26]

Nejpoužívanější rozpočtové programy jsou KROS plus (ÚRS PRAHA, a.s.), BuildPower (RTS, a.s.) nebo euroCALC (Callida, s.r.o.). [26]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

Bakalářská práce se zabývá faktory při změně tepelné izolace v konstrukcích obvodového pláště již stávajícího rodinného domu. Obsahem této kapitoly je popis a stavební řešení stávajícího objektu. Dále se práce zabývá hlediskem součinitele prostupu tepla, nákladů a časové náročnosti, kde se porovnává obvodová, střešní a podlahová konstrukce. Konstrukce jsou převzaty z již stávajícího projektu rodinného domu, který byl ohodnocen jako pasivní dům.

Jako první krok pro tuto práci je nutnost získání projektu pasivního nebo nulového rodinného domu. Po kontaktování několika firem se našel projekt již stávajícího rodinného domu ve Frenštátě pod Radhoštěm, který splňuje podmínku pasivního domu. V projektu se zjistila skladba konstrukcí obvodového pláště. Práce se pak dále zabývá izolačními materiály posuzovaných obvodových konstrukcí.

Jako další krok práce je upřesnění jaké materiály se porovnávají a jaké mají tloušťky. Ve stávajícím projektu se ve všech konstrukcích používá šedý polystyren neboli polystyren s grafitem jako tepelný izolant. Proto se i v práci uvažuje s polystyrenem. V podlahových a střešních konstrukcích se porovnává polystyren EPS 100 s grafitem a EPS 150 S v proměnných tloušťkách. V původní obvodové konstrukci je cihelná tvárnice s výplní pěnového polystyrenu, proto se zde pracuje s variantou cihelné tvárnice s výplní minerální vaty, dále se uvažuje s cihelnou tvárnici bez výplně a s dodatečným zateplením tepelné izolace jako je minerální vata, polystyren EPS 70 a polystyren EPS s grafitem.

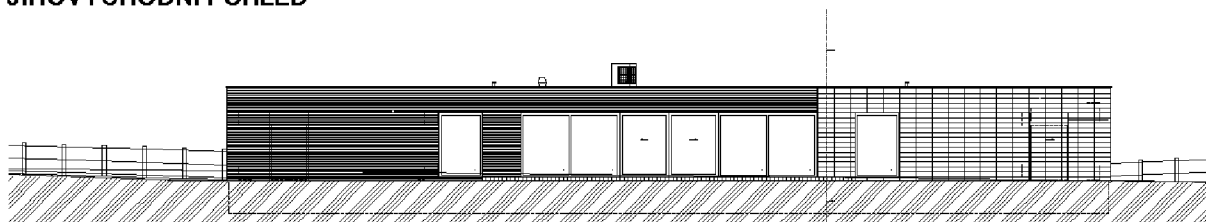
Konstrukce obvodového pláště se všemi proměnnými varianty tepelného zateplení se posoudí, zda vyhoví pro součinitel prostupu tepla. Dále všechny tyto konstrukce posoudíme dle nákladové náročnosti. Nákladová náročnost se posuzuje pouze na 1 m² posuzovaných konstrukcí a vypracují se pomocí programu KROS 4, kde se zadávají jednotlivé prvky konstrukcí. Poté se v programu KROS 4 zjistí časová náročnost, kterou program vypočítá sečtením jednotlivých časových náročností pro konstrukční prvky.

V závěru se práce zabývá porovnáváním jednotlivých konstrukcí se všemi navrženými tepelnými izolanty. Díky tomuto srovnání se najde nejlepší možná varianta pro stávající objekt a zjistí se, zda by byla možnost ušetřit jak z nákladové, tak i z časové náročnosti, na tepelné izolaci, s ohledem na součinitel prostupu tepla.

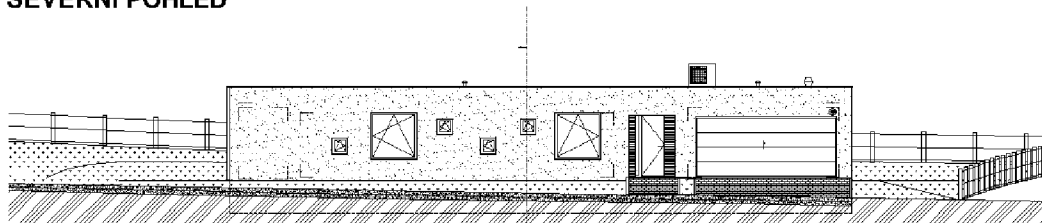
5.1 Popis objektu

Jedná se o rodinný dům, který navrhla společnost studio AEIOU s.r.o., pracuje se se svolením použití projektu od Ing. arch. Jana Vojtíška. Dům kategorie 5+kk byl postaven v roce 2019/2020 v k.ú. Frenštát pod Radhoštěm. Dům je navržen s velmi nízkou energetickou náročností. Jedná se o pasivní standard. Objekt v trojúhelníkovém půdoryse je nepodsklepený a pouze s jedním nadzemním podlažím. Objekt je založen na železobetonových základových pasech. Obvodové zdivo je tvořeno z keramických tvárnic, které jsou vyplněny pěnovým polystyrenem. Dům má plochou střechu s extenzivní zelení. Stavba se nachází v mírně svažitém terénu. Celková plocha pozemku je 7694 m². Plocha rodinného domu je 297,8 m². Hlavní vstup do domu je orientovaný na sever a je zapuštěn tak, aby sloužil jako závětrí. V domě se nachází dva dětské pokoje, jeden hostinský pokoj a ložnice, ke každému z těchto pokojů je přidělena šatna. Dále jsou zde dvě koupelny, obývací pokoj s jídelnou a kuchyňským koutem. V domě se také nachází kůlna, sklad, prádelna a garáž na dvě parkovací místa.

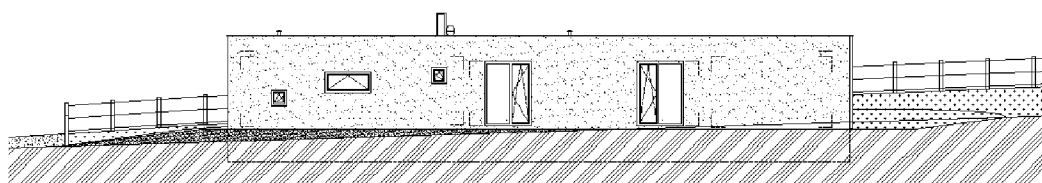
JIHOVÝCHODNÍ POHLED



SEVERNÍ POHLED

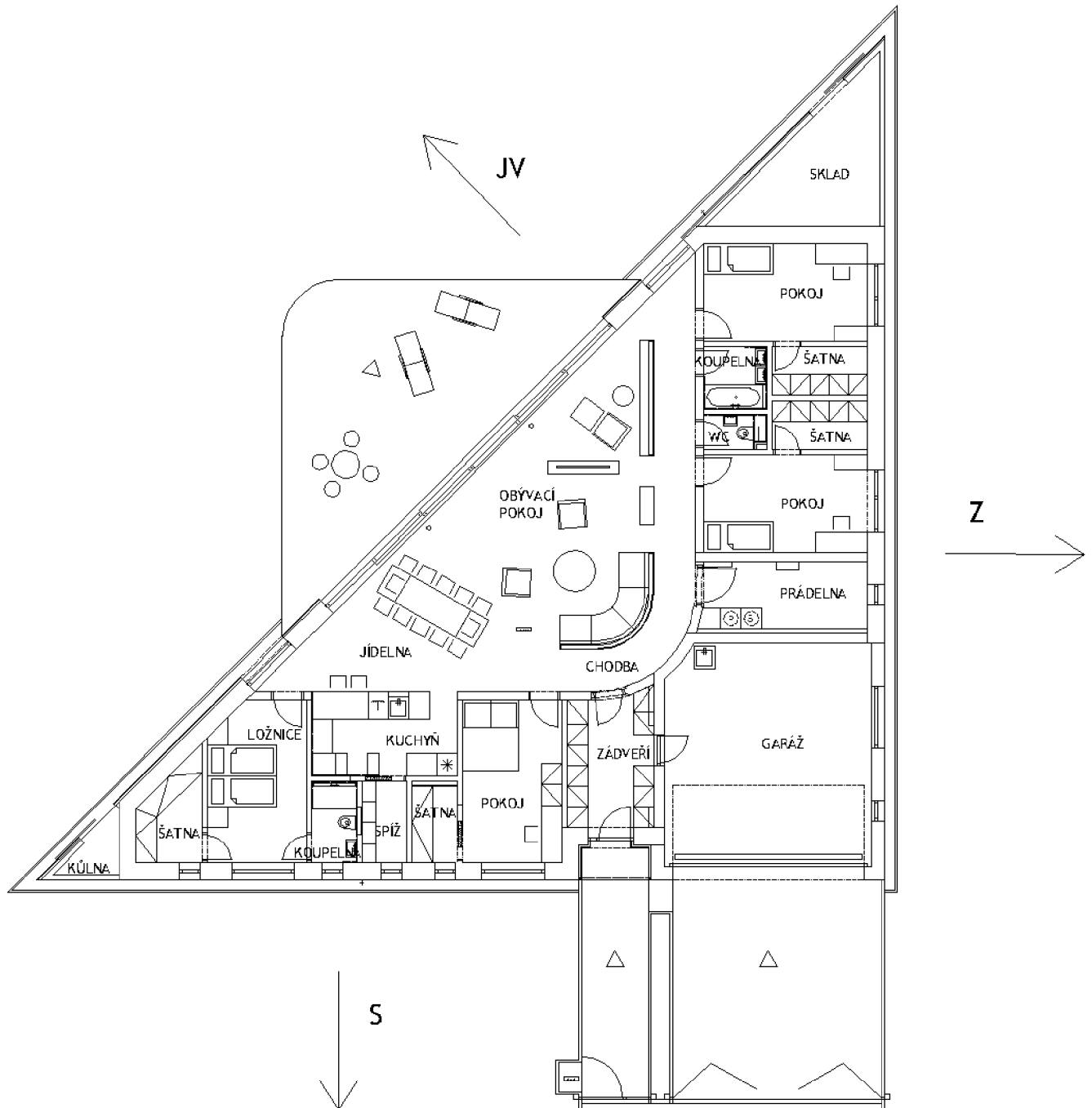


ZÁPADNÍ POHLED



*Obr. 3: Pohledy rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm
[Zdroj: projekt rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]*

Jak je znázorněno na následující straně, nejvíce prosklená část domu, tedy obývací pokoj, jídelna a kuchyňský kout, je na jihovýchodní straně, takže do těchto místností proniká nejvíce slunečního světla a tepla. Menší okna pak správně směřují na západní a severní stranu. Garáž v cípu trojúhelníkového půdorysu směřuje na západní a severní strany, kam neproniká tolik slunečního světla, což je také v pořádku, jelikož tato místnost může být chladnější. Nicméně ložnice a hostinský pokoj je umístěn na severní straně, kam nebude pronikat moc slunečních paprsků a může být v těchto pokojích chladnější a málo světla. Do dětských pokojů sice budou pronikat západní paprsky, ale je lepší pokoje otáčet na východní nebo jižní stranu.



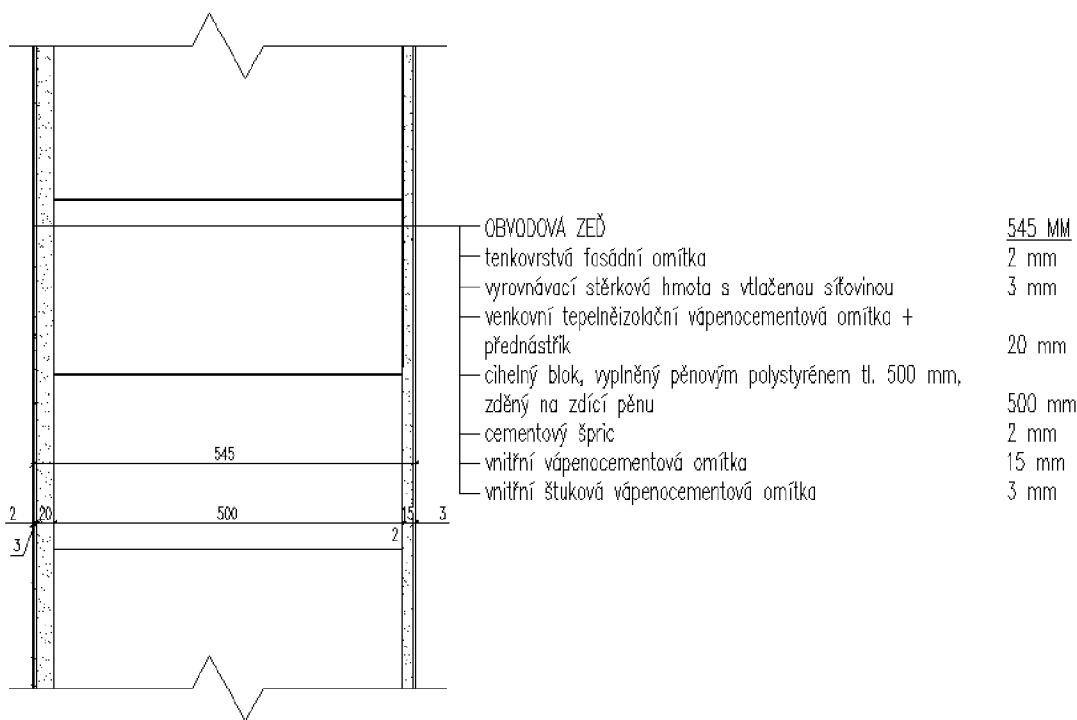
Obr. 4: Púdorys 1NP rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm
 [Zdroj: projekt rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]

5.2 Stavební řešení

Konstrukce na obálce budovy jsou převzaté z již stávajícího projektu rodinného domu s pasivním standardem. Práce se zabývá pouze změnou tepelných izolací v konstrukcích obvodového pláště. Pracuje se s tepelnými izolanty, jako je polystyren. V obvodové konstrukci se navíc pracuje s minerální vatou. Je spousta jiných variant pro tyto konstrukce, které by mohly nahradit stávající stav, nicméně práce vychází z již navrženého projektu a jinými varianty se nebude zabývat.

Obvodové zdivo

Svislé obvodové stěny jsou tvořeny z cihelných tvárnic vyplněných pěnovým polystyrenem o tloušťce 500 mm. Tvárnice jsou zděny na zdicí pěnu. Z vnější strany obvodového zdiva je venkovní tepelněizolační vápenná omítka, která je následně vyrovnaná pomocí sítěkové hmoty. Konečná venkovní vrstva je tenkovrstvá fasádní omítka. Z vnitřní strany jsou cihly opatřeny cementovým postříkem, na který je nanášena vápenocementová omítka, a poslední vrstva je tvořena vápenocementovou štukovou omítkou.



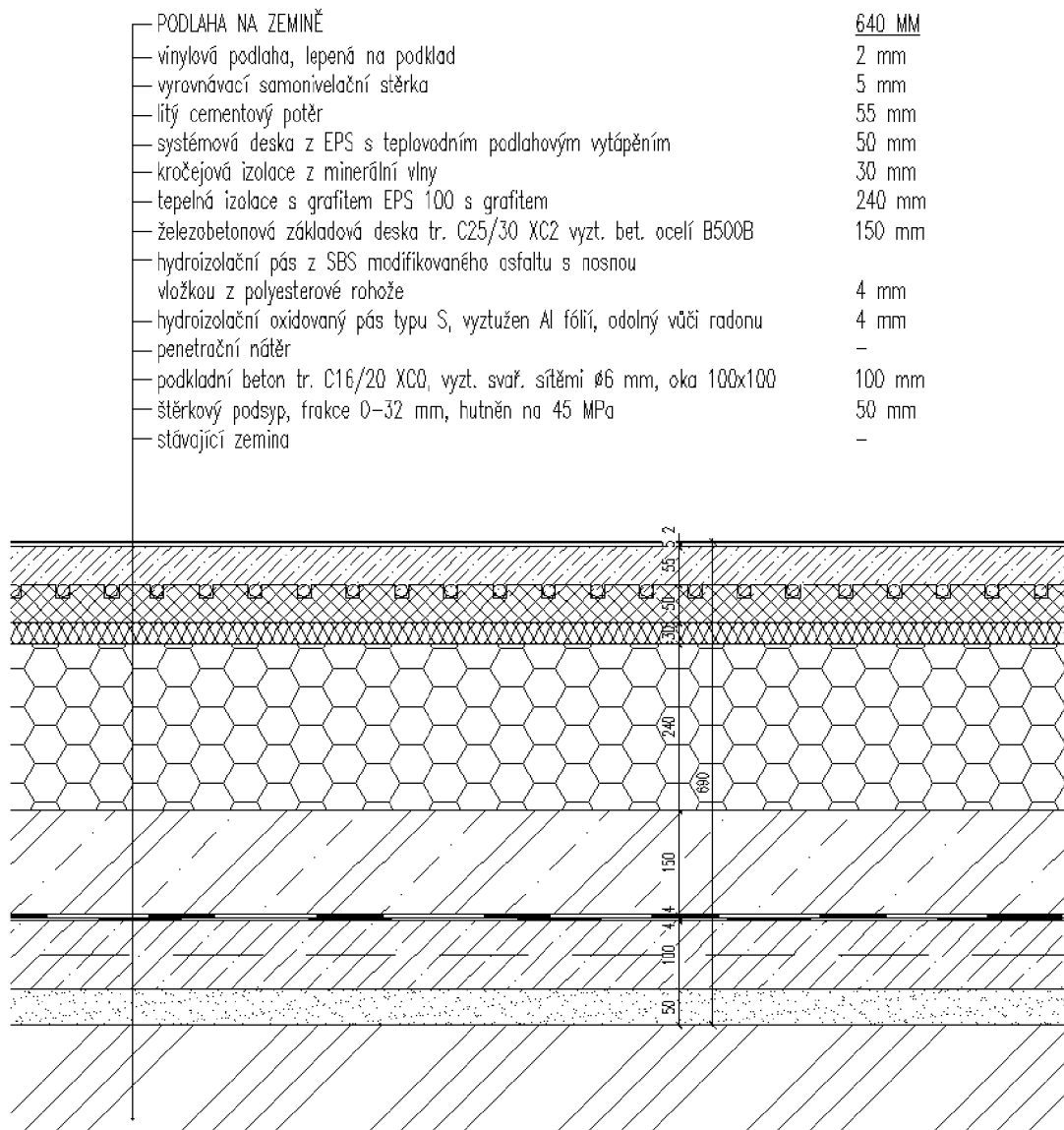
Obr. 5: Detail obvodové konstrukce dle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm
[Zdroj: vlastní tvorba podle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]

V práci se bude uvažovat s cihelnými tvárnicemi vyplněnými minerální vatou o tloušťce 500 mm, které jsou velmi podobné již navržené variantě. Dále se pak bude pracovat s cihelnými tvárnicemi bez výplně a s dodatečnou izolací z polystyrenu EPS 70, EPS s grafitem a minerální vaty.

Pro návrh obvodové konstrukce se můžou použít i zcela jiné varianty konstrukcí. Například obvodová konstrukce z vápenopískových tvárnic, pórobetonových tvárnic, konstrukce ze ztraceného bednění nebo obvodová konstrukce z přírodních materiálů. Tyto návrhy však nejsou předmětem práce.

Podlahová konstrukce

Celá konstrukce je na zhutněném štěrkovém podsypu. Podlahová konstrukce se skládá z podkladního beton třídy C16/20 o tloušťce 100 mm, hydroizolačního pásu, železobetonové základní desky třídy C25/30 o tloušťce 150 mm. Jako tepelný izolant je použitý polystyren s grafitem EPS 100 o tloušťce 240 mm a kročejová izolace. V konstrukci se také nachází teplovodní podlahové vytápění. Další vrstvou konstrukce je litý cementový potěr, který je vyrovnaný samonivelační stěrka. Nášlapná vrstva je tvořena z lepeného vinylu. V konstrukci se také nachází teplovodní podlahové vytápění.



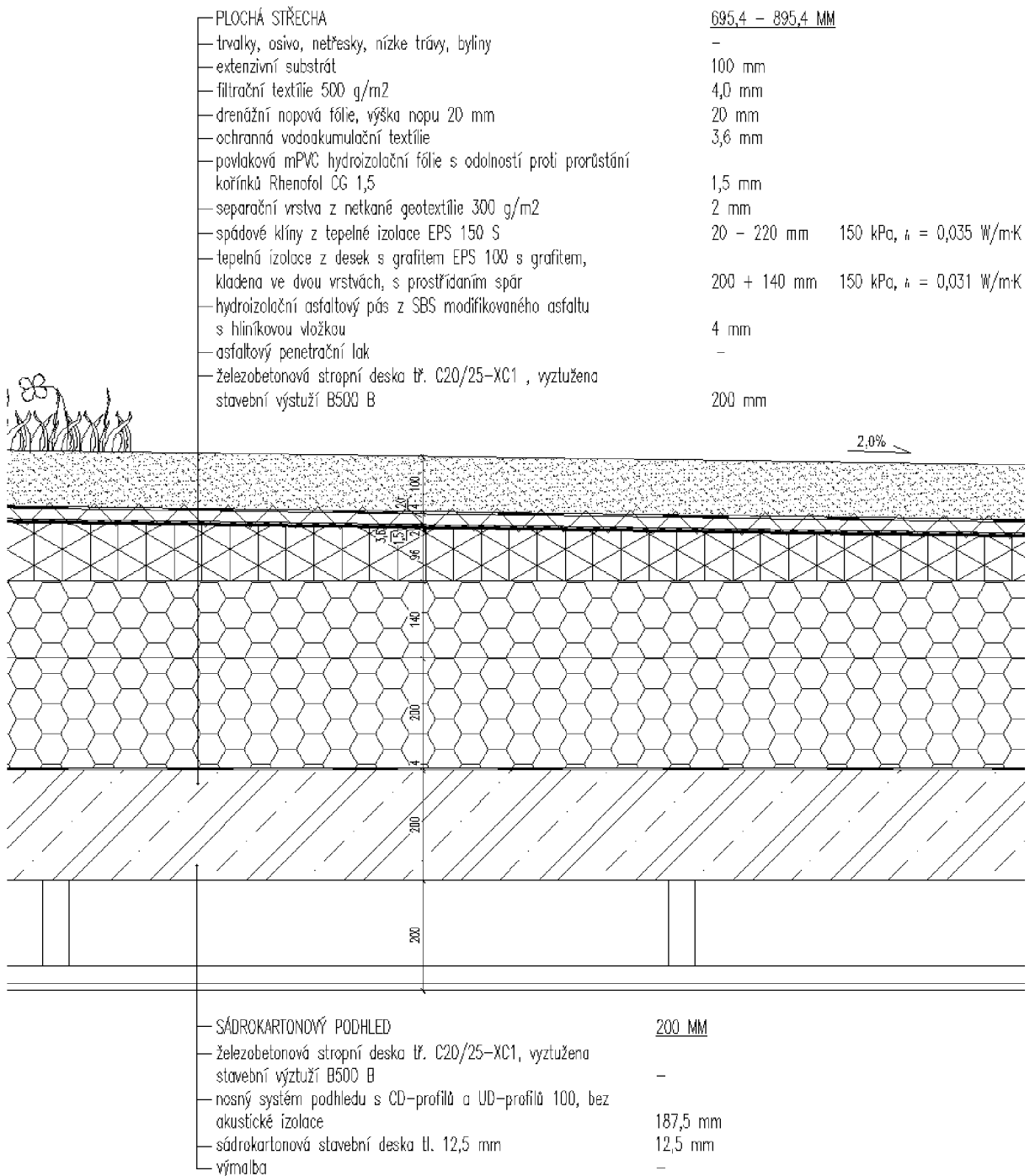
Obr. 6: Detail podlahové konstrukce dle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm
[Zdroj: vlastní tvorba podle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]

Dále se uvažuje s izolací z polystyrenu EPS 150 S s proměnnou tloušťkou (120 mm, 140 mm, 160 mm, 200 mm, 240 mm) a s EPS 100 s proměnnou tloušťkou (120 mm, 140 mm, 160 mm, 200 mm).

Je možné navrženou podlahovou konstrukci nahradit jinými varianty. Například základová deska na štěrku z pěnového skla. Tyto varianty však nejsou předmětem bakalářské práce.

Střešní konstrukce

Jedná se o plochou vegetační střechu. Strop je železobetonový třídy C20/25-XC1. Na desce je položen hydroizolační asfaltový pás. Zateplení střechy je pomocí polystyrenu EPS 100 s grafitem kladeným ve dvou vrstvách o tloušťce 140 mm a 200 mm, na polystyrenových deskách je vytvořen spád pomocí spádových klínů z EPS 150 S. Další vrstvy v konstrukci slouží pro vegetační povrch, nachází se zde tedy separační vrstva, hydroizolační fólie, ochranná vodoakumulační textilie, drenážní a filtrační fólie, substrátová vrstva a nakonec vegetace. Pohled je tvořen ze sádrokartonových desek.



Obr. 7: Detail střešní konstrukce dle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm
[Zdroj: vlastní tvorba podle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]

Dále se v bakalářské práci uvažuje s izolací z polystyrenu EPS 150 S s proměnnou tloušťkou (100 mm, 140 mm, 200 mm, 340 mm) a s EPS 100 s proměnnou tloušťkou (100 mm, 140 mm, 200 mm).

Alternativní varianta pro návrh střešní konstrukce může být například plochá dvouplášťová střecha. Avšak jiné varianty nejsou předmětem této práce.

5.3 Tepelně technické vlastnosti objektu

Pro celkovou konstrukci je velmi důležité dbát na tepelně technické vlastnosti. Je nutné je dodržovat jednak z hlediska stanovených norem, ale také kvůli zdražování energií. Pro tepelně technické vlastnosti jsou jedním z důležitým parametrem tepelné izolanty, které přijímají a udržují teplotu v objektu.

V této kapitole se tedy práce zabývá součinitelem prostupu tepla v obvodovém plášti stávajícího rodinného domu. Pro pasivní domy jsou dané doporučené hodnoty pro jednotlivé konstrukce, které musí pasivní domy splňovat. Pro domy s nulovou energií nejsou přesně stanoveny hodnoty pro součinitele prostupu tepla, proto se pro tento typ budov uvažují hodnoty pro pasivní domy.

5.3.1 Součinitel prostupu tepla

Při výběru konstrukcí pro pasivní domy je kladen velký důraz na součinitel prostupu tepla. Hodnoty prostupu tepla se stanovují dle ČSN EN ISO 6946 [27]. Pro výpočet součinitele je potřeba vypočítat tepelný odpor. Tepelný odpor R se spočítá pomocí vzorce (1.), kde R je tepelný odpor pro jednotlivé části konstrukce, d_j je tloušťka konstrukce a λ_j značí tepelnou vodivost materiálu.

$$R = \frac{d_j}{\lambda_j} [m^2 \cdot K/W] \quad (1.)$$

Součinitel prostupu tepla U se stanoví dle vzorce (2.), kde R_t je tepelný odpor, R_{si} tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí do konstrukce, R_{se} tepelný odpor při přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí, h_i součinitel přestupu tepla na vnitřní straně povrchu, h_e součinitel přestupu tepla na vnější straně povrchu.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + \sum R + R_{se}} = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_i}} [W/m^2 \cdot K] \quad (2.)$$

Přesný výpočet součinitele prostupu tepla je vypočítán v přílohách. Výpočet pro obvodové konstrukce se nachází v přílohách 001.a až 008.a, pro podlahové konstrukce v přílohách 009.a až 018.a a pro střešní konstrukci v přílohách 019.a až 026.a.

V přílohách 001.a až 026.a s výpočtem součinitele prostupu tepla je také uvedena doporučená hodnota pro pasivní budovy $U_{pas, 20}$.

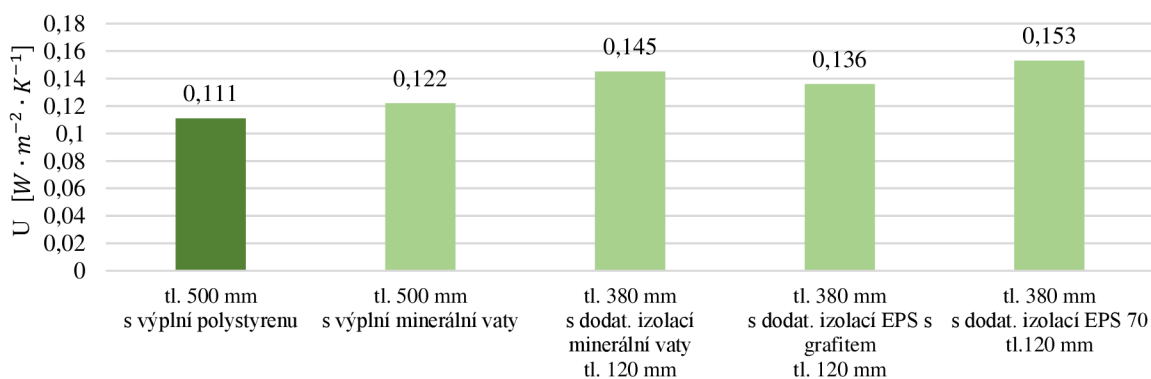
Z výpočtu součinitele prostupu tepla je patrné, že všechny navržené obvodové konstrukce vyhoví doporučeným hodnotám součinitele prostupu tepla pro pasivní domy, a tedy vyhoví i normovým požadovaným hodnotám.

Tab. 10: Součinitel prostupu tepla obvodového zdiva 1

Obvodové zdivo - součinitel prostupu tepla	
Zdivo	Součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
tl. 500 mm s výplní polystyrenu	0,111
tl. 500 mm s výplní minerální vaty	0,122
tl. 380 mm s dodat. izolací minerální vaty tl. 120 mm	0,145
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS 70 s grafitem tl. 120 mm	0,136
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS 70 tl. 120 mm	0,153

Pro obvodový konstrukční systém je v projektu použita cihelná tvárnice s výplní pěnového polystyrenu o tloušťce 500 mm. Původní varianta obvodové konstrukce je v Tab. 10 označena tlustě. Pro původní navrženou konstrukci vychází součinitel prostupu tepla 0,111 W·m⁻²·K⁻¹. Jako nejbližší alternativa je navržena cihelná tvárnice s výplní minerální vaty. Tato tvárnice má ovšem o 0,011 W·m⁻²·K⁻¹ horší součinitel prostupu tepla. Dalšími navrženými alternativami pro konstrukci je zdivo o tloušťce 380 mm a s dodatečnou tepelnou izolací o tloušťce 120 mm. Tyto rozměry v konstrukci jsou navrženy proto, aby rozměrově byly stejné jako v původní konstrukci, tedy 500 mm. Mezi navržené dodatečné izolanty patří polystyren EPS 70, EPS s grafitem a minerální vata. Tyto varianty už mají vyšší tepelnou vodivost než původní zdivo.

Obvodové zdivo - součinitel prostupu tepla



Obr. 8: Srovnání součinitele prostupu tepla obvodového zdiva 1

Graf vychází z Tab. 10. Z grafického znázornění je patrné, že původní obvodová konstrukce má podobný součinitel prostupu tepla jako navržená alternativa s výplní minerální vaty. Nicméně původní cihla s výplní polystyrenu tloušťky 500 mm se jeví jako nejvýhodnější, co se týče součinitele prostupu tepla.

Cihelné tvárnice s dodatečnou izolací mají o něco vyšší součinitel než tvárnice s výplní izolace. Ze zdiva s dodatečnou tepelnou izolací pak nejlépe vychází polystyren EPS s grafitem se součinitelem prostupu tepla 0,136 W·m⁻²·K⁻¹. Z tohoto důvodu se dále v práci porovnává původní varianta a varianta s dodatečnou tepelnou izolací polystyrenu EPS s grafitem. Cihla bez výplně, tloušťky 380 mm, s přidanou tepelnou izolací EPS s grafitem je dále navržena s proměnnou tloušťkou 140 mm, 160 mm a 180 mm. Ovšem tyto varianty už nebudou v původním rozměru konstrukce a budou přesahovat tloušťku 500 mm.

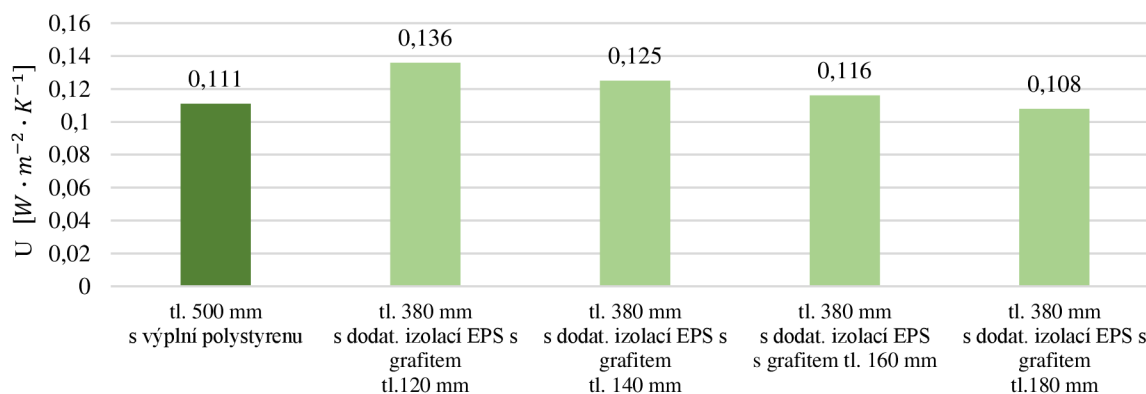
Tab. 11: Součinitel prostupu tepla obvodového zdivo 2

Obvodové zdivo - součinitel prostupu tepla	
Zdivo	Součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
tl. 500 mm s výplní polystyrenu	0,111
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 120 mm	0,136
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 140 mm	0,125
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 160 mm	0,116
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 180 mm	0,108

Jak už bylo zmíněno, v Tab. 11 se porovnává součinitel prostupu tepla s původní obvodovým zdivem a se zdivem s dodatečnou tepelnou izolací EPS s grafitem s proměnnými tloušťkami.

V tomto případě pro součinitel prostupu tepla již není nejlepší variantou původní zdivo se součinitelem 0,111 W·m⁻²·K⁻¹. Nejnižší hodnotu součinitele má zdivo s dodatečnou tepelnou izolací EPS s grafitem o tloušťce 180 mm. Tato varianta má součinitel prostupu tepla 0,108 W·m⁻²·K⁻¹. Další velmi blízkou variantou součinitele prostupu tepla pro původní konstrukci je konstrukce s dodatečnou izolací o tloušťce 160 mm, která má hodnotou 1,116 W·m⁻²·K⁻¹.

Obvodové zdivo - součinitel prostupu tepla



Obr. 9: Srovnání součinitele prostupu tepla obvodového zdiva 2

Grafické znázornění Obr. 9 vychází z Tab. 11. Z grafického porovnání vyplývá, že zdivo s dodatečnou tepelnou izolací o tloušťce 160 mm a zdivo s dodatečnou tepelnou izolací o tloušťce 180 mm jsou velmi blízké k původnímu zdivu, co se týče součinitele prostupu tepla. Na druhou stranu zdiva s dodatečnými izolacemi o tloušťkách 120 mm a 140 mm mají už vyšší hodnotu součinitele prostupu tepla.

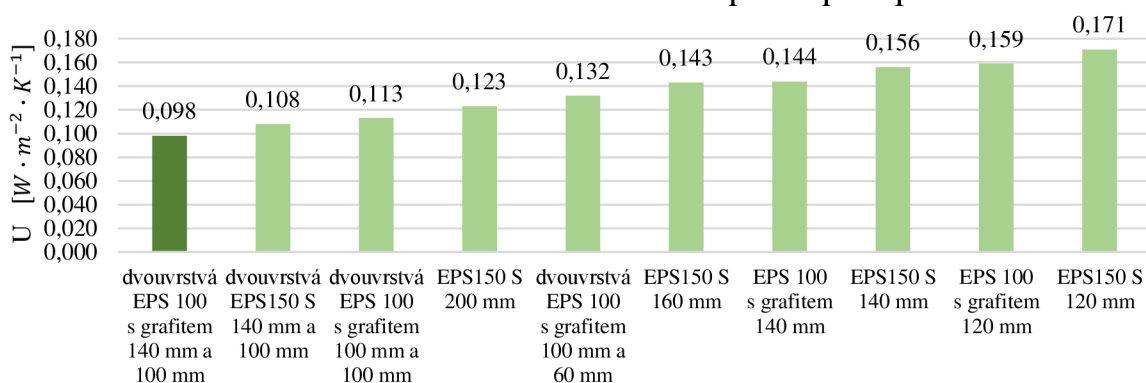
Ovšem tyto varianty již nesplňují tloušťku navržené konstrukce. Varianta, která má nejmenší hodnotu součinitele, s tloušťkou izolace 180 mm bude mít celkovou tloušťku zdiva 560 mm. Je to tedy o 6 cm více než u původní konstrukce. Další variantou s blízkým součinitelem k původní konstrukci je konstrukce s dodatečnou izolací o tloušťce 160 mm. Celková tloušťka této varianty je 540 mm. Zde by byl rozdíl tloušťky konstrukce 4 cm.

Tab. 12: Součinitel prostupu tepla podlahové konstrukce

Podlahová konstrukce - součinitel prostupu tepla	
Podlaha s izolací	Součinitel prostupu tepla U [W·m ⁻² ·K ⁻¹]
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 140 mm a 100 mm	0,098
dvouvrstvá EPS 150 S 140 mm a 100 mm	0,108
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 100 mm a 100 mm	0,113
EPS 150 S 200 mm	0,123
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 100 mm a 60 mm	0,132
EPS 150 S 160 mm	0,143
EPS 100 s grafitem 140 mm	0,144
EPS 150 S 140 mm	0,156
EPS 100 s grafitem 120 mm	0,159
EPS 150 S 120 mm	0,171

Pro původně navrženou podlahovou konstrukci je v projektu navržena dvouvrstvá izolace EPS 100 s grafitem o tloušťce 140 mm a 100 mm. Tato varianta je v Tab. 12 vyznačena tučně. Další navrženou variantou je dvouvrstvý bílý polystyren EPS 150 S o stejné tloušťce. Polystyren s grafitem je dále navržený v dvouvrstvé variantě 100 mm a 100 mm a variantě 100 mm a 60 mm, poté už pouze v jednovrstvých variantách s proměnnými tloušťkami 140 mm a 120 mm. Polystyren EPS 150 S je dále navržený v jednovrstvých variantách s proměnou tloušťkou 200 mm, 160 mm, 140 mm a 120 mm. Nejnižší hodnotu součinitele prostupu tepla má původní podlahová konstrukce s tepelnou izolací EPS 100 s grafitem o tloušťce 140 mm a 100 mm. Hodnota součinitele původní navržené konstrukce se rovná 0,098 W·m⁻²·K⁻¹. Další blízkou hodnotou je hodnota součinitele 0,108 W·m⁻²·K⁻¹, která patří konstrukci s dvouvrstvou izolací polystyrenu EPS 150 S o tloušťce 140 mm a 100 mm. Další variantou, která má blízkou hodnotu součinitele je podlahová konstrukce s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 100 s grafitem o tloušťce 100 mm a 100 mm. Hodnota součinitele pro tuto variantu je 0,113 W·m⁻²·K⁻¹.

Podlahová konstrukce - součinitel prostupu tepla



Obr. 10: Srovnání součinitele prostupu tepla podlahové konstrukce

Z grafu Obr. 10, který vychází z Tab. 12, je zřejmé, že nejnižší hodnotu součinitele prostupu tepla má původní navržená podlahová konstrukce. Je patrné, že čím menší je tepelná izolace v konstrukci, tím má konstrukce vyšší součinitel. V tomto případě

vyplývá, že tepelná izolace EPS s grafitem má lepší součinitel prostupu tepla než tepelná izolace EPS150 S a to o $0,01 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a více.

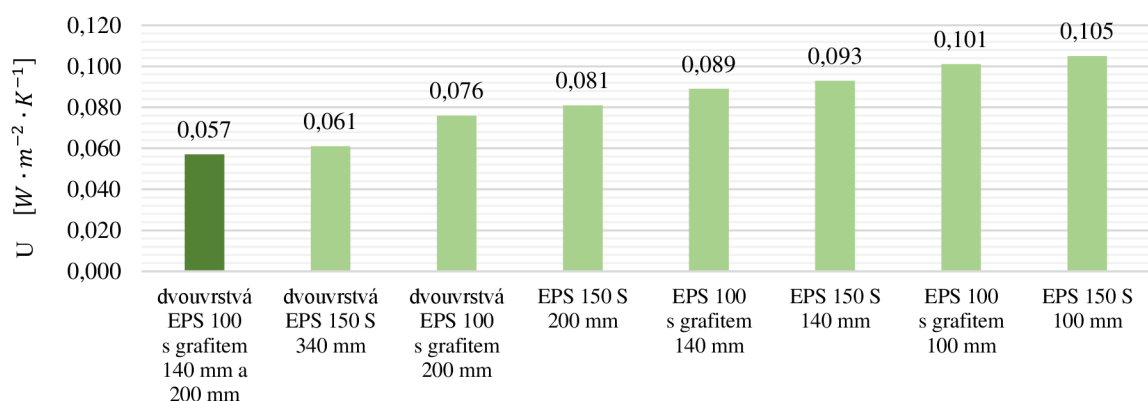
Tab. 13: Součinitel prostupu tepla střešní konstrukce

Střešní konstrukce - součinitel prostupu tepla	
Střešní konstrukce s tepelnou izolací	Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 140 mm a 200 mm	0,057
dvouvrstvá EPS 150 S 140 mm a 200 mm	0,061
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 100 mm a 100 mm	0,076
EPS 150 S 200 mm	0,081
EPS 100 s grafitem 140 mm	0,089
EPS 150 S 140 mm	0,093
EPS 100 s grafitem 100 mm	0,101
EPS 150 S 100 mm	0,105

Střešní konstrukce byla v původním projektu navržena s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 100 s grafitem o tloušťce 140 mm a 200 mm. Původní varianta je v Tab. 13 zvýrazněna tučně. Další navrženou variantou pro polystyrenovou izolaci s grafitem je dvouvrstvá izolace o tloušťce 100 mm a 100 mm, další varianty této izolace už jsou pouze jednovrstvé s proměnnou tloušťkou 140 mm a 100 mm. Další navržená izolace je, stejně jako v podlahové konstrukci, bílý polystyren EPS 150 S. Ten je ve dvouvrstvé variantě o tloušťce 140 mm a 200 mm a v jednovrstvé variantě s proměnnou tloušťkou 200 mm, 140 mm a 100 mm.

Původní střešní konstrukce má součinitel prostupu tepla $0,057 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, je to nejmenší součinitel z porovnávaných střešních konstrukcí. Další blízkou variantou je konstrukce s dvouvrstvou tepelnou izolací bílého polystyrenu EPS 150 S o stejné tloušťce jako má původní navržená střešní konstrukce. Hodnota součinitele této varianty se rovná $0,061 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Střešní konstrukce - součinitel prostupu tepla



Obr. 11: Srovnání součinitele prostupu tepla střešní konstrukce

Z grafického porovnání, které vychází z Tab. 13 je zřejmé, že původní střešní konstrukce má nejnižší součinitel prostupu tepla. Dále vyplývá, že tepelná izolace EPS s grafitem má lepší součinitel prostupu tepla, než má tepelná izolace EPS 100 S ve stejné

tloušťce. Z grafického znázornění je patrné, že se snižující se tloušťkou tepelné izolace v konstrukci se zvyšuje hodnota součinitele prostupu tepla.

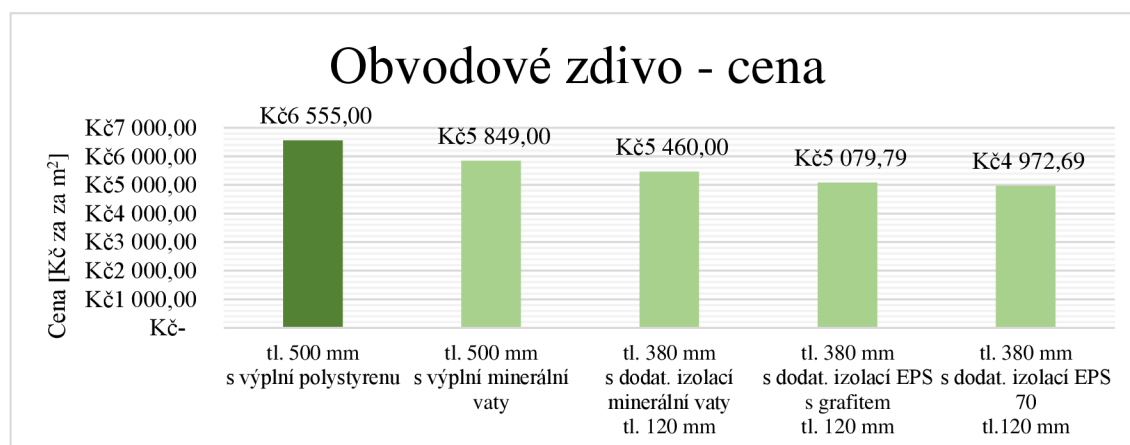
5.4 Náklady na výstavbu

Náklady na výstavbu jsou jedním z nejdůležitějším faktorem pro investory. Pomocí stavebního programu KROS 4 se nacenily navržené konstrukce na 1 m². Jako první se vypracovaly rozpočty stávajících konstrukcí, poté se rozpočtovaly skladby s proměnnými tepelnými izolanty. Jednotlivé rozpočty se nachází v přílohách 001.b až 026.b. Rozpočty pro konstrukce obvodového zdiva jsou v přílohách 001.b až 008.b, pro podlahové konstrukce v přílohách 009.b až 018.b a pro střešní konstrukce v přílohách 019.b až 026.b. Ceny jsou tvořeny dle ÚRS 2022. Varianta polystyrenu EPS 100 s grafitem se v rozpočtovém programu KROS 4 nenachází, proto byla vytvořena v rozpočtech položka s označením *a*. Pro tuto položku byla cena nalezená na webových stránkách výrobce, kde jsou doporučené ceny pro jednotlivé tloušťky tepelné izolace EPS s grafitem.

Tab. 14: Nákladová náročnost obvodového zdiva 1

Obvodové zdivo - cena	
Zdivo	Cena [Kč za m ²]
tl. 500 mm s výplní polystyrenu	6 555,00 Kč
tl. 500 mm s výplní minerální vaty	5 849,00 Kč
tl. 380 mm s dodat. izolací minerální vaty tl. 120 mm	5 460,00 Kč
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 120 mm	5 079,79 Kč
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS 70 tl. 120 mm	4 972,69 Kč

Cena za m² původní obvodové konstrukce cihelné tvárnice o tloušťce 500 mm s výplní pěnového polystyrenu vychází na 6 555 Kč/m². Tato varianta je v Tab. 14 označena tučně. Je to nejdražší z porovnávaných variant. Cihelná tvárnice s výplní minerální vaty vychází cenově na 5 840 Kč/m², což je o 715 Kč/m² méně než v původní variantě konstrukce. Nejlevněji se pak jeví zdivo s dodatečnou izolací EPS 70. Tato varianta je za 4 973 Kč/m².



Obr. 12: Srovnání nákladové náročnosti obvodového zdiva 1

Graf Obr. 12 vychází z Tab. 14. Z grafického hlediska je patrné, že původní navržená cihla s výplní polystyrenu je výrazně dražší než ostatní konstrukce. U cihly s výplní minerální vaty už není tak markantní rozdíl v ceně oproti zdiva bez výplně

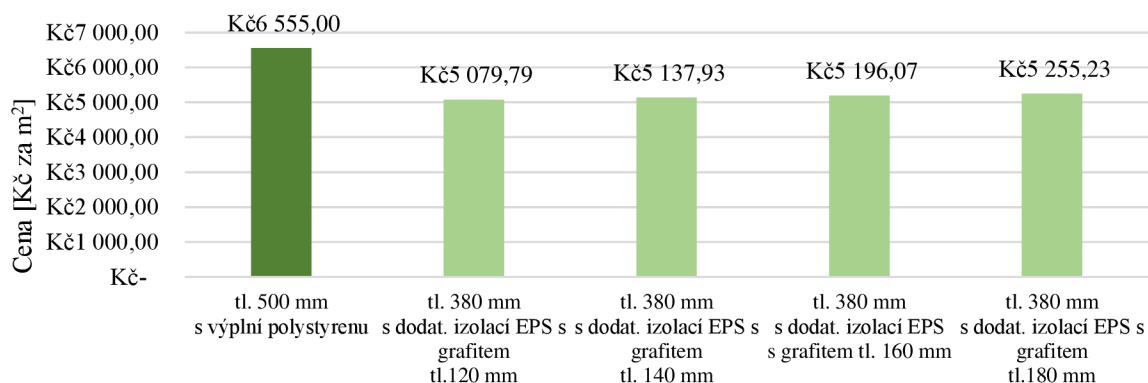
a s dodatečným izolantem. Nicméně nejlevnější varianta vychází zdivo bez výplně a s dodatečnou izolací polystyrenu EPS 70 je o více než 1500 Kč/m² levnější než původní navržené zdivo.

Tab. 15: Nákladová náročnost obvodového zdiva 2

Obvodové zdivo - cena	
Zdivo	Cena [Kč za m ²]
tl. 500 mm s výplní polystyrenu	6 555,00 Kč
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 120 mm	5 079,79 Kč
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 140 mm	5 137,93 Kč
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 160 mm	5 196,07 Kč
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 180 mm	5 255,23 Kč

V Tab. 15 se nachází porovnání nákladové náročnosti obvodových konstrukcí, které měly nejvýhodnější prostupy tepla. V případě porovnání původního obvodového zdiva s výplní pěnového polystyrenu se zdivem s dodatečnou izolací polystyrenu EPS s grafitem o proměnné tloušťce je opět nejdražší varianta původní konstrukce. Ta je v Tab. 15 označena tučně. Nejlevněji se zde jeví obvodová konstrukce s dodatečným izolantem o tloušťce 120 mm. Cena této varianty je 5 078 Kč/m². Cena varianty s nejširší dodatečnou izolací tloušťky 180 mm je 5 255 Kč/m², což je o 1300 Kč/m² méně než původní navržené obvodové zdivo.

Obvodové zdivo - cena



Obr. 13: Srovnání nákladové náročnosti obvodového zdiva 2

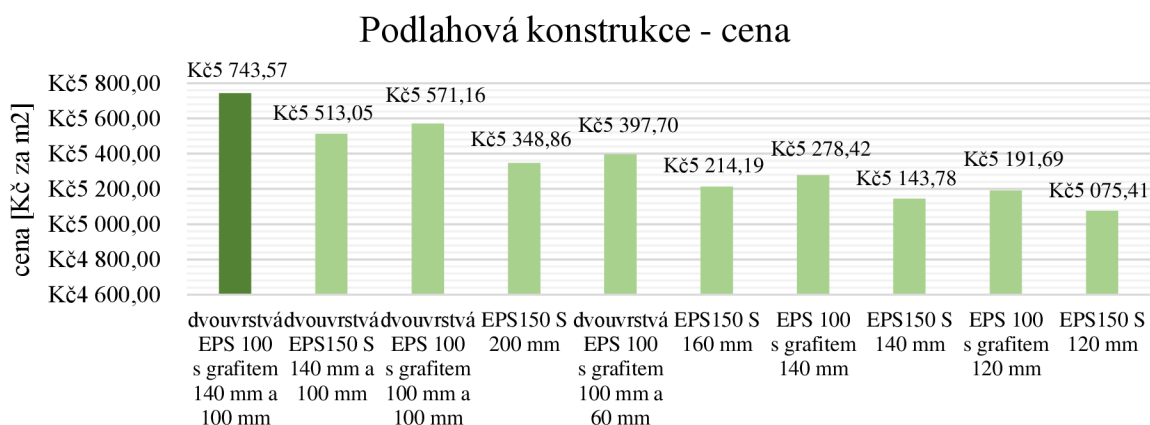
Grafické srovnání pak ukazuje, že původní navržené zdivo je markantně vyšší než obvodová konstrukce s dodatečnou tepelnou izolací. Navržené konstrukce s dodatečnou tepelnou izolací polystyrenu EPS s grafitem o proměnných tloušťkách mají podobně vysoké náklady, které se liší jen v desítkách korun. Je tedy zřejmé, že lepší varianta z pohledu nákladů je zdivo s dodatečnou izolací. Nicméně tyto varianty už nedrží rozměr původního navrženého zdiva.

Tab. 16: Nákladová náročnost podlahové konstrukce

Podlahová konstrukce - cena	
Podlaha s izolací	cena [Kč za m ²]
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 140 mm a 100 mm	5 743,57 Kč
dvouvrstvá EPS 150 S 140 mm a 100 mm	5 513,05 Kč
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 100 mm a 100 mm	5 571,16 Kč
EPS 150 S 200 mm	5 348,86 Kč
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 100 mm a 60 mm	5 397,70 Kč
EPS 150 S 160 mm	5 214,19 Kč
EPS 100 s grafitem 140 mm	5 278,42 Kč
EPS 150 S 140 mm	5 143,78 Kč
EPS 100 s grafitem 120 mm	5 191,69 Kč
EPS 150 S 120 mm	5 075,41 Kč

V Tab. 16 je znázornění nákladové náročnosti podlahových konstrukcí s proměnnými tepelnými izolacemi. I v tomto případě vychází jako nejdražší varianta původně navržená podlahová konstrukce s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 100 s grafitem o tloušťkách 140 mm a 100 mm.

Nejlevnější variantou je pak konstrukce s nejmenší porovnávanou tloušťkou tepelné izolace EPS 150 S.



Obr. 14: Srovnání nákladové náročnosti podlahové konstrukce

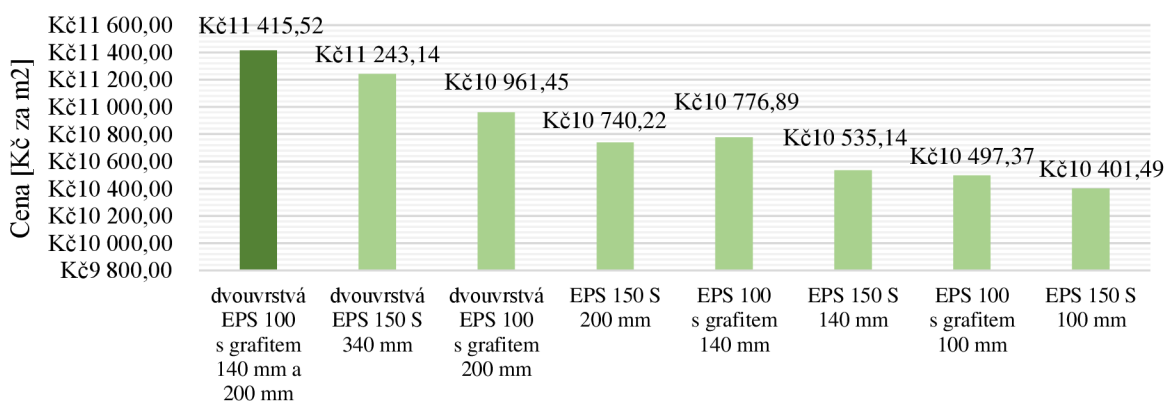
Z grafického znázornění vyplývá, že nákladová náročnost konstrukce s původní tepelnou izolací EPS 100 s grafitem je markantně vyšší, než konstrukce s izolací EPS 150 S o tloušťce 120 mm. Dále z grafu vyplývá, že tepelná izolace EPS 100 s grafitem je cenově vyšší než tepelná izolace EPS 150 S o stejné tloušťce.

Tab. 17: Nákladové náročnost střešní konstrukce

Střešní konstrukce - cena	
Zdivo	Cena [Kč za m ²]
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 140 mm a 200 mm	11 415,52 Kč
dvouvrstvá EPS 150 S 340 mm	11 243,14 Kč
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 200 mm	10 961,45 Kč
EPS 150 S 200 mm	10 740,22 Kč
EPS 100 s grafitem 140 mm	10 776,89 Kč
EPS 150 S 140 mm	10 535,14 Kč
EPS 100 s grafitem 100 mm	10 497,37 Kč
EPS 150 S 100 mm	10 401,49 Kč

Porovnání nákladové náročnosti navržených variant střešní konstrukce je znázorněno v Tab. 17. Jelikož je tepelná izolace EPS 100 s grafitem dražší, než izolace EPS 150 S, a s rostoucí tloušťkou izolace se zvyšuje cena, tak je opět nejdražší variantou původní navržená skladba. Dvouvrstvá tepelná izolace EPS 100 s grafitem o tloušťce 140 mm a 200 mm vychází na 11 416 Kč/m². Nejlevnější variantou je skladba s tepelnou izolací EPS 150 S o tloušťce 100 mm. Cena této skladby vychází na 10 401 Kč/m², což je o více než 1 000 Kč/ m² dražší, než původní navržená střešní konstrukce.

Střešní konstrukce - cena



Obr. 15: Srovnání nákladová náročnosti střešní konstrukce

Z grafické srovnání, které vyplývá z Tab. 17., je zřejmé, že čím širší je tepelný izolant, tím je dražší nákladová náročnost střešní konstrukce. Dále zde vychází, že dvouvrstvé izolace jsou mnohem dražší než jednovrstvé izolanty. Cena dvouvrstevých izolantů je vyšší z důvodu zdvojnásobené práce při pokládce tepelné izolace. Nejlevněji se jeví samozřejmě jednovrstvá varianta s nejmenší tloušťkou tepelného izolantu.

5.5 Pracnost

Dalším faktorem, který může být rozhodující pro investora je časová náročnost. Jelikož v této době všichni všude pospíchají, a proto nejmenší časová náročnost může být pro investora nejlepší variantou. Nicméně to, že čím je časová náročnost menší, tím je to lepší, nemusí vždy platit.

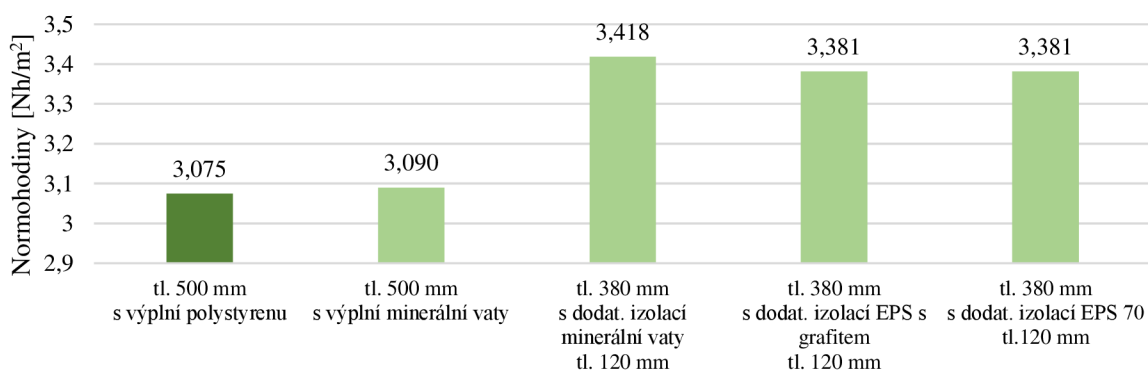
V rámci srovnání byla tedy porovnána i časová náročnost posuzovaných konstrukcí. Pracnost byla stanovena pomocí normohodin za m². Ze softwaru KROS 4 byly zjištěny normohodiny na 1m² pro jednotlivé vrstvy, které pak program sečetl, aby se zjistila celková časová náročnost.

Tab. 18: Časová náročnost obvodového zdiva 1

Obvodové zdivo - Pracnost	
Zdivo	Normohodiny [Nh/ m ²]
tl. 500 mm s výplní polystyrenu	3,075
tl. 500 mm s výplní minerální vaty	3,090
tl. 380 mm s dodat. izolací minerální vaty tl. 120 mm	3,418
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 120 mm	3,381
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS 70 tl. 120 mm	3,381

V Tab. 18 porovnáváme časovou náročnost obvodových konstrukcí. Skladba obvodového zdiva, která byla navržena ve stávajícím projektu, se jeví jako nejrychlejší varianta z pohledu časové náročnosti. Původní varianta konstrukce je znázorněna v Tab. 18 tučně. Normohodiny původní varianty se rovnají 3,075 Nh/m². Podobnou rychlost výstavby má varianta cihelné tvárnice s výplní minerální vaty. Obvodové konstrukce s cihelnou tvárnici bez výplně a s dodatečnou tepelnou izolací mají okolo 0,300 Nh/m² vyšší pracnost.

Obvodové zdivo - Pracnost



Obr. 16: Srovnání časové náročnosti obvodového zdiva 1

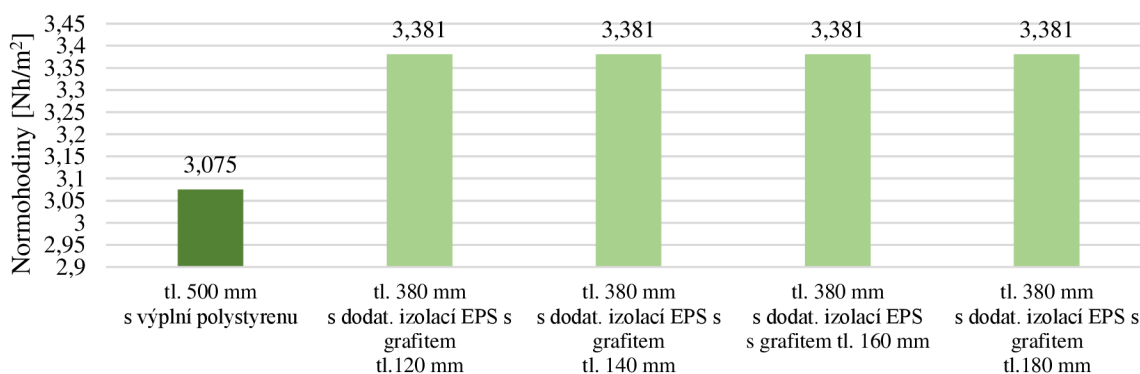
Z grafického znázornění vyplývá, že zdivo s výplní je mnohem rychlejší na výstavbu než zdivo s dodatečnou tepelnou izolací.

Tab. 19: Časová náročnost obvodového zdiva 2

Obvodové zdivo - Pracnost	
Zdivo	Normohodiny [Nh/ m ²]
tl. 500 mm s výplní polystyrenu	3,075
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 120 mm	3,381
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 140 mm	3,381
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 160 mm	3,381
tl. 380 mm s dodat. izolací EPS s grafitem tl. 180 mm	3,381

V Tab. 19 je znázorněno porovnání časové náročnosti stávající konstrukce s konstrukcí s dodatečnou tepelnou izolací, které vyšly jako nejlepší varianty, co se týče součinitele prostupu tepla. I v tomto případě vychází jako nejlepší varianta původní skladba obvodového zdiva, která je vyznačena tučně.

Obvodové zdivo - Pracnost



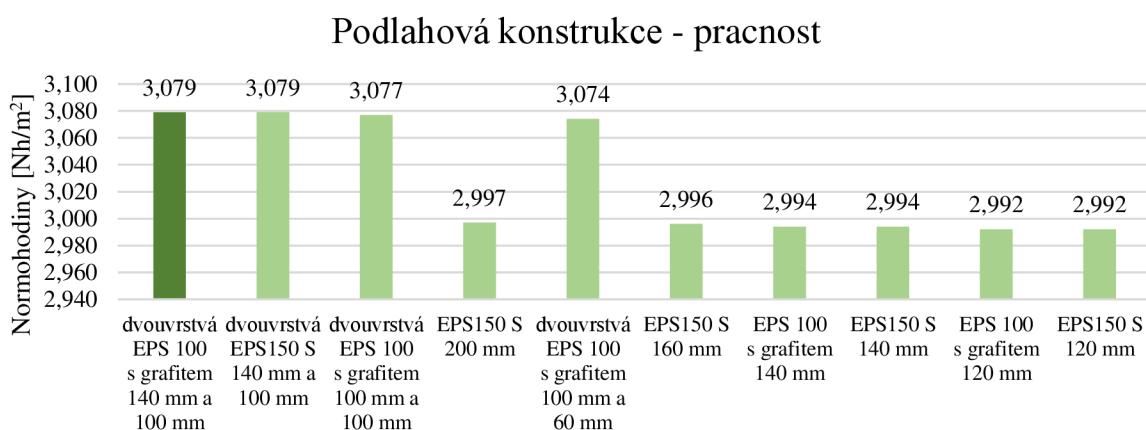
Obr. 17: Srovnání časové náročnosti obvodového zdiva 2

Z grafického znázornění Obr. 17 je na první pohled zřejmé, že cihly s výplní jsou mnohem méně časově náročné oproti zdivu s dodatečnou tepelnou izolací. Je to dáno tím, že cihly s izolační výplní se nemusí dále zateplovat, kdežto zdivo bez výplně má dodatečnou izolaci a je zde tedy větší pracnost a časová náročnost.

Tab. 20: Časová náročnost podlahové konstrukce

Podlahová konstrukce - pracnost	
Podlahová konstrukce s tepelnou izolací	Normohodiny [Nh/ m ²]
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 140 mm a 100 mm	3,079
dvouvrstvá EPS150 S 140 mm a 100 mm	3,079
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 100 mm a 100 mm	3,077
EPS150 S 200 mm	2,997
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 100 mm a 60 mm	3,074
EPS150 S 160 mm	2,996
EPS 100 s grafitem 140 mm	2,994
EPS150 S 140 mm	2,994
EPS 100 s grafitem 120 mm	2,992
EPS150 S 120 mm	2,992

V Tab. 20 je znázorněna časová náročnost navržených podlahových skladeb a původní navržené podlahové konstrukce. Je zřejmé, že skladba s dvouvrstvou tepelnou izolací je složitější na výstavbu a je zde tedy i vyšší časová náročnost.



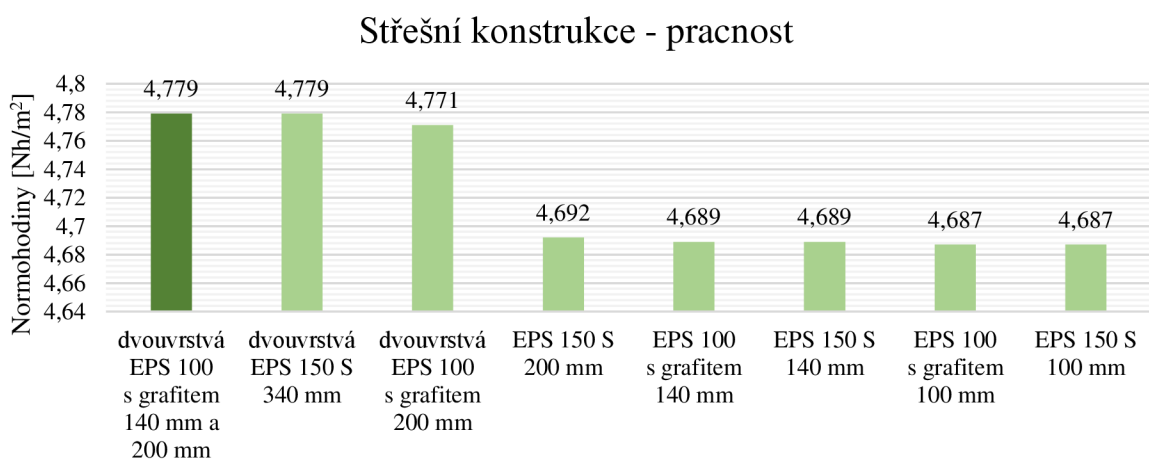
Obr. 18: Srovnání časové náročnosti podlahové konstrukce

Grafické znázornění vychází z Tab. 20. Dvouvrstvé tepelné izolace mají vyšší pracnost z důvodu zdvojnásobené práce. Skladby s dvounásobnou izolací mají mezi sebou téměř stejně vysokou časovou náročnost, to je okolo 3,078 Nh/m². Také konstrukce s jednovrstvou tepelnou izolací mají mezi sebou velmi podobnou hodnotu časové náročnosti. Tato časová náročnost se pohybuje okolo 2,994 Nh/m².

Tab. 21: Časová náročnost střešní konstrukce

Střešní konstrukce - pracnost	
Zdivo	Normohodiny [Nh/m ²]
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 140 mm a 200 mm	4,779
dvouvrstvá EPS 150 S 340 mm	4,779
dvouvrstvá EPS 100 s grafitem 200 mm	4,691
EPS 150 S 200 mm	4,692
EPS 100 s grafitem 140 mm	4,689
EPS 150 S 140 mm	4,689
EPS 100 s grafitem 100 mm	4,687
EPS 150 S 100 mm	4,687

Časová náročnost navržené střešní konstrukce je porovnaná v Tab. 21. Stejně jako u podlahové konstrukce, je zde také složitější na výstavbu dvouvrstvá tepelná izolace, a proto má vyšší časovou náročnost. Nejvyšší časovou náročnost má původní skladba střešní konstrukce a skladba s dvouvrstvou izolací EPS 150 S o stejné tloušťce jako původní konstrukce. Tato hodnota se rovná 4,779 Nh/m². Na druhou stranu nejmenší pracnost mají konstrukce s izolací EPS 100 s grafitem a EPS 150 S o tloušťce 100 mm. Hodnota časové náročnosti skladby s nejnižší pracností se rovná 4,687 Nh/m².



Obr. 19: Srovnání časové náročnosti střešní konstrukce

Graf srovnání časové náročnosti střešní konstrukce vyplývá z Tab. 21. I v tomto případě u dvouvrstevných izolací je náročnost o trochu vyšší.

5.6 Zhodnocení

Všechny varianty obvodových konstrukcí se hodnotily dle časové a nákladové náročnosti a také dle součinitele prostupu tepla. Všechny navržené konstrukce vyhověly normovým hodnotám pro součinitel prostupu tepla a také požadovaným hodnotám pro pasivní domy. Nulové domy nemají stanovené přesné hodnoty součinitele, proto se pro tento typ budov berou hodnoty součinitele pro pasivní domy.

Tab. 22: Porovnání obvodové konstrukce

Obvodová konstrukce					
Obvodová konstrukce	Tepelná izolace	Tloušťka tepelné izolace	Cena [Kč za m²]	U [W·m⁻²·K⁻¹]	Normohodiny [Nh/m²]
Zdivo tl. 500 mm s výplní	polystyren	-	6 555,00 Kč	0,111	3,075
	minerální vata	-	5 849,00 Kč	0,122	3,090
Zdivo tl. 380 mm s dodatečnou tepelnou izolací	minerální vata	120 mm	5 460,00 Kč	0,145	3,418
	EPS s grafitem	120 mm	5 079,79 Kč	0,136	3,381
	EPS 70	120 mm	4 972,69 Kč	0,153	3,381
	EPS s grafitem	140 mm	5 137,93 Kč	0,125	3,381
	EPS s grafitem	160 mm	5 196,07 Kč	0,116	3,381
	EPS s grafitem	180 mm	5 255,23 Kč	0,108	3,381

V Tab. 22 je srovnání nákladové náročnosti, součinitele prostupu tepla a časové náročnosti všech porovnávaných skladeb obvodové konstrukce. Původní navržená obvodová konstrukce je v tabulce vyznačena tučně a je to cihelná tvárnice o tloušťce 500 mm s výplní pěnového polystyrenu. Jako nejpodobnější varianta k původní konstrukci je cihelná tvárnice o tloušťce 500 mm s výplní minerální vaty. Dalšími navrženými konstrukcemi jsou cihelné tvárnice o tloušťce 380 mm s dodatečnou proměnou tepelnou izolací o tloušťce 120 mm. Vybrané dodatečné tepelné izolace jsou EPS 70, minerální vata a EPS s grafitem. Izolace EPS s grafitem pak byla navržena ještě v tloušťkách 140 mm, 160 mm a 180 mm.

Z cenového hlediska nejvýhodněji vychází skladba se zdivem o tloušťce 380 mm a s dodatečnou tepelnou izolací EPS 70 o tloušťce 120 mm. Cena této obvodové konstrukce je 4 972,69 Kč/m². Nejdražší konstrukce pak je původně navržená skladba se zdivem o tloušťce 500 mm a s výplní pěnového polystyrenu. Cena původní navržené konstrukce je 6 555,00 Kč/m². Nejpodobnější typ zdiva k původní konstrukci je zdivo o tloušťce 500 mm a s výplní minerální vaty. Tato konstrukce vyšla o 706 Kč/m² levněji než původní varianta, tedy na 5 849,00 Kč/m². Obvodové zdivo s cihelnými tvárnicemi o tloušťce 380 mm a s dodatečnou tepelnou izolací minerální vaty vyšlo na 5 460,00 Kč/m². Nákladová náročnost zdiva s dodatečnou izolací EPS s grafitem o tloušťce 120 mm je 5 079,79 Kč/m², o tloušťce 140 mm je 5 137,93 Kč/m², o tloušťce 160 mm vyšla na 5 196,07 Kč/m² a nakonec o tloušťce 180 mm vyšla na 5 255,23 Kč/m².

Nejmenší součinitel prostupu tepla má cihelná tvárnice s dodatečnou tepelnou izolací EPS s grafitem o tloušťce 180 mm. Hodnota součinitele prostupu tepla této skladby je 0,108 W·m⁻²·K⁻¹. Tato varianta však nemá rozměry jako původně navržená konstrukce 500 mm, ale bude mít tloušťku o 6 cm větší. Největší součinitel pak má konstrukce, která cenově vyšla nejlépe, tedy zdivo s dodatečnou tepelnou izolací EPS 70. Součinitel prostupu tepla pro tuto konstrukci vyšel jako 0,153 W·m⁻²·K⁻¹. Druhý nejmenší součinitel

prostupu tepla vychází na $0,111 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a je to součinitel původně navržené konstrukce. Třetí místo nejmenšího součinitele má konstrukce s dodatečnou izolací EPS s grafitem o tloušťce 160 mm. Tento součinitel se rovná $0,116 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Na dalším místě je cihelná tvárnice s výplní minerální vaty. Součinitel této varianty vychází na $0,122 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Konstrukce s dodatečnou minerální vatou má součinitel $0,145 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Skladba s dodatečnou tepelnou izolací EPS s grafitem o tloušťce 120 mm má součinitel $0,136 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a o tloušťce 140 mm má součinitel prostupu tepla $0,125 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Další hodnotící kritérium je časová náročnost. Zde vyšlo jako nejrychlejší na výstavbu původní navržená konstrukce. Tato časová náročnost se rovná $3,075 \text{ Nh/m}^2$. Obdobně na tom je zdivo s výplní minerální vaty, zde vyšla hodnota časové náročnosti jako $3,090 \text{ Nh/m}^2$. Nejdlejší na výstavbu je dodatečná izolace minerální vaty. Délka výstavby této konstrukce je $3,419 \text{ Nh/m}^2$. Časová náročnost konstrukcí s dodatečnou tepelnou izolací polystyrenu všech druhů i tloušťek vychází stejně, a to na $3,381 \text{ Nh/m}^2$.

Dle těchto výchozích hodnot je na tom nejlépe zdivo o tloušťce 380 mm s dodatečnou tepelnou EPS s grafitem o tloušťce 160 mm. Tato konstrukce je o $1\,358,93 \text{ Kč/m}^2$ levnější než původně navržená varianta, a součinitel prostupu tepla je pouze o $0,005 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ horší než původní konstrukce. Na druhou stranu bude těžší na výstavbu, jelikož se zdivo musí dodatečně zateplit a tudíž je zde vyšší časová náročnost než u zdiva s výplní izolace. Tato konstrukce však již nedodrжуje původní rozměr konstrukce 500 mm, ale bude mít 540 mm.

Konstrukce, která dodrжуje rozměr 500 mm, a jeví se jako nejlepší varianta na základě porovnávaných parametrů, je zdivo s výplní minerální vaty. Tato konstrukce má součinitel prostupu tepla o $0,011 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ větší než původní zdivo, což není velký rozdíl. Časová náročnost s původní skladbou je také velmi podobná. Hlavním rozdílem, oproti v projektu navržené skladbě, je cena. Tato varianta vychází na $5\,849,00 \text{ Kč/m}^2$, což je tedy o 706 Kč/m^2 levnější.

Tab. 23: Vyhodnocené nejlepší varianty obvodové konstrukce

Obvodová konstrukce					
Obvodová konstrukce	Tepelná izolace	Tloušťka tepelné izolace	Cena [Kč za m²]	U [W·m⁻²·K⁻¹]	Normohodiny [Nh/m²]
Zdivo tl. 500 mm s výplní	polystyren	-	6 555,00 Kč	0,111	3,075
	minerální vata	-	5 849,00 Kč	0,122	3,090
Zdivo tl. 380 mm s dodatečnou tepelnou izolací	EPS s grafitem	160 mm	5 196,07 Kč	0,116	3,381

Na navrženém projektu by se tedy určitě dalo ušetřit v rámci obvodové konstrukce. Je ovšem nutné zvážit, o kolik by se zvedly náklady za energie, v případě zdiva s výplní minerální vaty. U konstrukce s dodatečnou tepelnou izolací EPS s grafitem o tloušťce 160 mm je pak nutné zvážit, zda by bylo možné rozšířit konstrukci o 4 cm a zda by nebyl problém, že by zde byla vyšší časová náročnost.

Tab. 24: Porovnání podlahové konstrukce

Podlahová konstrukce				
Podlahová konst. s tepelnou izolací	Tloušťka tepelné izolace	Cena [Kč za m²]	U [W·m⁻²·K⁻¹]	Normohodiny [Nh/m²]
EPS 100 s grafitem	140 mm a 100 mm	5 743,57 Kč	0,098	3,079
EPS 150 S	140 mm a 100 mm	5 513,05 Kč	0,108	3,079
EPS 100 s grafitem	100 mm a 100 mm	5 571,16 Kč	0,113	3,077
EPS 150 S	200 mm	5 348,86 Kč	0,123	2,997
EPS 100 s grafitem	100 mm a 60 mm	5 397,70 Kč	0,132	3,074
EPS 150 S	160 mm	5 214,19 Kč	0,143	2,996
EPS 100 s grafitem	140 mm	5 278,42 Kč	0,144	2,994
EPS 150 S 140 mm	140 mm	5 143,78 Kč	0,156	2,994
EPS 100 s grafitem	120 mm	5 191,69 Kč	0,159	2,992
EPS 150 S	120 mm	5 075,41 Kč	0,171	2,992

Pro srovnání navržených skladeb podlahových konstrukcí je vyhotovena Tab. 24. Podlahová konstrukce se opět srovnávala dle nákladové a časové náročnosti a podle součinitele prostupu tepla.

Zde je původní navržená podlahová konstrukce s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 100 s grafitem o tloušťkách 140 mm a 100 mm. Původní varianta je v tabulce vyznačena tučně. V těchto tloušťkách se pak porovnává dvouvrstvá izolace EPS 150 S. Další dvě dvouvrstvé varianty tepelných izolací, které se v práci srovnávají, jsou pouze pro polystyren EPS 100 s grafitem a to o tloušťkách 100 mm a 100 mm a další o tloušťkách 100 mm a 60 mm. Varianty s polystyrenem EPS 100 s grafitem jsou pak už jen v jednovrstvé variantě s proměnou tloušťkou 140 mm a 120 mm. Tepelná izolace EPS 150 S je také v jednovrstvé izolaci a to o proměnných tloušťkách 200 mm, 160 mm, 140 mm a 120 mm.

Podle nákladové náročnosti, která byla vytvořena pomocí rozpočtu na m², se jeví jako nejdražší varianta podlahová konstrukce s původní tepelně-izolační vrstvou. Suma této konstrukce vychází na 5 743,57 Kč/m². Konstrukce s izolací o stejné tloušťce jaká je navržená v projektu s polystyrenem EPS 150 S vychází na 5 513,05 Kč/m². V porovnání tedy vyplývá, že polystyren EPS 100 s grafitem je dražší, než EPS 150 S. Dále je zřejmé, že s klesající tloušťkou izolace pak klesá cena. Nejvýhodnější izolace je tedy EPS 150 S o tloušťce 120 mm. Nákladová náročnost konstrukce se rovná 5 075,41 Kč/m².

Další srovnávací hledisko je součinitel prostupu tepla. Zde se opět jeví jako nejvýhodnější varianta původní navržená konstrukce. Součinitel této konstrukce se rovná 0,098 W·m⁻²·K⁻¹. Obvodové zdivo s polystyrenem EPS 150 S o stejné tloušťce vychází na 0,108 W·m⁻²·K⁻¹. Je tedy zřejmé, že EPS 100 s grafitem má lepší tepelné vlastnosti než EPS 150 S, a rozdíl celkových součinitelů těchto tepelných izolací je okolo 0,01 W·m⁻²·K⁻¹. Největší součinitel prostupu tepla má tedy samozřejmě EPS 150 S o nejmenší porovnávané tloušťce 120 mm. Tento součinitel se rovná 0,171 W·m⁻²·K⁻¹.

Časová náročnost dvouvrstvých izolací je téměř podobná a průměrně vychází na 3,077 Nh/m². Pro tepelné jednovrstvé izolace pak časová náročnost vychází o něco lépe a to průměrně na 2,995 Nh/m².

Když se přihlédne na náklady výstavby, pak z celkového srovnání se lépe jeví varianta s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 150 S o tloušťce 140 mm a 100 mm. Tato varianta má sice horší součinitel prostupu tepla o $0,01 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, než je hodnota pro původně navrženou konstrukci, ale náklady na výstavbu jsou menší. Nákladová náročnost této konstrukce se rovná $5\,513,05 \text{ Kč}/\text{m}^2$. To je o $230,52 \text{ Kč}/\text{m}^2$ méně než cena původní skladby. Normohodiny jsou stejně vysoké, proto při porovnání těchto dvou variant je můžeme zanedbat.

Tab. 25: Vyhodnocení nejlepší varianty podlahové konstrukce

Podlahová konstrukce				
Podlahová konst. s tepelnou izolací	Tloušťka tepelné izolace	Cena [Kč za m²]	U [W·m⁻²·K⁻¹]	Normohodiny [Nh/m²]
EPS 100 s grafitem	140 mm a 100 mm	5 743,57 Kč	0,098	3,079
EPS 150 S	140 mm a 100 mm	5 513,05 Kč	0,108	3,079

V Tab. 25 je porovnání dvou variant, které byly vyhodnoceny jako nejvýhodnější. Jestliže se raději bude rozhodovat v souvislosti na budoucí náklady za energie, pak by se měla zvolit varianta s nejmenším prostupem tepla. To je tedy původně navržená podlahová konstrukce.

Tab. 26: Porovnání střešní konstrukce

Střešní konstrukce				
Střešní konst. s tepelnou izolací	Tloušťka tepelné izolace	Cena [Kč za m²]	U [W·m⁻²·K⁻¹]	Normohodiny [Nh/m²]
EPS 100 s grafitem	140 mm a 200 mm	11 415,52 Kč	0,057	4,779
EPS 150 S	140 mm a 200 mm	11 243,14 Kč	0,061	4,779
EPS 100 s grafitem	200 mm	11 285,50 Kč	0,076	4,691
EPS 150 S	200 mm	10 740,22 Kč	0,081	4,692
EPS 100 s grafitem	140 mm	10 776,89 Kč	0,089	4,689
EPS 150 S	140 mm	10 535,14 Kč	0,093	4,689
EPS 100 s grafitem	100 mm	10 497,37 Kč	0,101	4,687
EPS 150 S	100 mm	10 401,49 Kč	0,105	4,687

Srovnání porovnávaných hodnot střešní konstrukce je znázorněno v Tab. 26. Původní navržená skladba, která je v tabulce vyznačena tučně, je dvouvrstvá tepelná izolace EPS 100 s grafitem o tloušťce 140 mm a 200 mm. V bakalářské práci se navrhla izolace EPS 150 S o stejné tloušťce jako v původní variantě projektu. Další navržené izolace byly pouze v jednovrstvém provedení. Navrhly se tedy konstrukce s jednovrstvými tepelnými izolacemi EPS 100 s grafitem a EPS 150 S o proměnných tloušťkách 200 mm, 140 mm a 100 mm. Všechny typy konstrukce se opět hodnotily dle součinitele prostupu tepla, časové náročnosti a nákladové náročnosti.

Nejvyšší nákladová náročnost vyšla pro původní konstrukci s izolací EPS 100 s grafitem. Cena původní skladby je 11 415,52 Kč/m². Izolace EPS 150 S o stejné tloušťce má o něco menší náklady. Nákladová náročnost konstrukce s tímto typem izolace vyšla na 11 243,14 Kč/m². Tedy stejně jako u podlahové konstrukce EPS 100 s grafitem má vyšší náklady než EPS 150 S. Cena také klesá s klesající tloušťkou izolace, jako to je u podlahové konstrukce. Z tohoto důvodu má nejmenší nákladovou náročnost střešní konstrukce s jednovrstvou tepelnou izolací EPS 150 S o tloušťce 100 mm. Cena této konstrukce se rovná 10 401,49 Kč/m².

Dalším hodnotícím kritériem je součinitel prostupu tepla. Nejmenší součinitel 0,057 W·m⁻²·K⁻¹ vyšel pro původně navrženou konstrukci. Velmi podobný součinitel vychází pro dvouvrstvou tepelnou izolaci EPS 150 S o tloušťce 140 mm a 200 mm. Hodnota součinitele této varianty je 0,061 W·m⁻²·K⁻¹. Dle hodnot je patrné, že s ubývající tloušťkou izolace, roste hodnota součinitele prostupu tepla. Nejvyšší hodnotu součinitele má konstrukce s izolací EPS 150 S s tloušťkou 100 mm. Součinitel této konstrukce vychází na 0,105 W·m⁻²·K⁻¹.

Posledním hlediskem na srovnání konstrukcí střechy je časová náročnost. Ta je pro dvouvrstvé izolace o trochu vyšší než pro jednovrstvé. Hodnota časové náročnosti pro dvouvrstvé izolace je 4,779 Nh/m². Pro jednovrstvou izolaci vychází časová náročnost průměrně na 4,690 Nh/m².

Z těchto navržených variant vychází nejlépe střešní konstrukce s tepelnou izolací EPS 150 S. Cena této varianty je 11 243,14 Kč/m² a je tedy o 173,38 Kč/m² menší než navržená původní skladba. Součinitel prostupu tepla je velmi podobný jako součinitel původní střešní konstrukce. Je pouze o 0,004 W·m⁻²·K⁻¹ vyšší než u původní skladby. Časová náročnost je úplně stejná, vychází na 4,779 Nh/m². Tedy tato náročnost je v tomto případě zanedbatelná.

Tab. 27: Vyhodnocení nejlepší varianty střešní konstrukce

Střešní konstrukce				
Střešní konst. s tepelnou izolací	Tloušťka tepelné izolace	Cena [Kč za m²]	U [W·m⁻²·K⁻¹]	Normohodiny [Nh/m²]
EPS 100 s grafitem	140 mm a 200 mm	11 415,52 Kč	0,057	4,779
EPS 150 S	140 mm a 200 mm	11 243,14 Kč	0,061	4,779

V Tab. 27 jsou znázorněny srovnávací hodnoty pro původní konstrukci a varianty, která vyšla jako nejvýhodnější. Náklady na výstavbu pro střešní konstrukce by se tedy daly snížit, ale muselo by se ještě zvážit, o kolik budou vyšší náklady na energie. Avšak dle rozdílu součinitelů prostupu tepla bude rozdíl nákladů na energii minimální.

6 ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjistit, zda je navržená obvodová obálka efektivní v rámci nákladů, součinitele prostupu tepla a času výstavby. Podmínkou ale bylo, aby obálka stále vyhověla podmínkám pasivního domu. Tyto podmínky jistě platí i pro domy s nulovou potřebou energie, jelikož pro tyto budovy nejsou přesně stanoveny technické parametry. Pro hodnocení byly použity skladby obvodové, střešní a podlahové konstrukce, které byly navrženy ve stávajícím projektu.

Jedno z hodnotících kritérií byl součinitel prostupu tepla. Podmínkou pro součinitel bylo to, že musel vyhovovat normovým hodnotám a požadovaným hodnotám pro pasivní domy. Další hledisko byla nákladová náročnost. Zde byly, pomocí vytvořených rozpočtů, stanoveny ceny pro jednotlivé konstrukce na m². Pomocí těchto hodnot se zjistilo, zda je varianta levnější, než původně navržená konstrukce, nebo naopak dražší. Posledním kritériem byla časová náročnost. Dle časové náročnosti se určilo kolik je potřeba normohodin na m² a zda výstavba konstrukce bude rychlejší nebo naopak pomalejší, než byla v původním projektu.

Pro konstrukci obvodového zdiva byly v projektu navrženy cihelné tvárnice s výplní pěnového polystyrenu tloušťky 500 mm. Obvodová konstrukce se porovnávala s cihelnými tvárnici s výplní minerální vaty o tloušťce 500 mm, s cihelnými tvárnici bez výplně tloušťky 380 mm a s přidanou tepelnou izolací o tloušťce 120 mm. Varianty přidané izolace byly EPS s grafitem, EPS 70 a minerální vata. Další varianty byly taktéž cihelné tvárnice 380 mm bez výplně a s přidanou tepelnou izolací EPS s grafitem s proměnnou tloušťkou 140 mm, 160 mm a 180 mm. Jako nejvýhodnější skladba se vyhodnotilo obvodové zdivo s cihelnou tvárnici bez výplně a s přidanou tepelnou izolací o tloušťce 160 mm. Tato konstrukce vyšla lépe jak cenově, tak i dle hodnoty součinitele prostupu tepla. Z důvodu dodatečné izolace byla časová náročnost této konstrukce horší, než u původně navržené konstrukce. Avšak tato varianta nesplňuje rozměry původně navržené konstrukce, proto byla vyhodnocena ještě další varianta. Jako další příznivější konstrukce bylo zdivo z cihelných tvární s výplní minerální vaty. Toto zdivo bylo mnohem levnější než původní tvárnice. Konstrukce měla stejnou hodnotu časové náročnosti jako u původní varianty. Nicméně součinitel prostupu tepla byl o něco vyšší. Je tedy nutné tento typ konstrukce ještě ohodnotit na energetickou náročnost, to však nebylo předmětem této práce.

Podlahová konstrukce byla navržena s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 100 s grafitem o tloušťce 100 mm a 140 mm. Navržená konstrukce se pak hodnotila s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 100 s grafitem o tloušťce 100 mm a 100 mm a tloušťce 100 mm a 60 mm. Tento typ izolace se hodnotil i v jednovrstvé variantě tloušťky 140 mm a 120 mm. Další skladba konstrukce byla s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 150 S o tloušťce 100 mm a 140 mm a jednovrstvou tepelnou izolací EPS 150 S s proměnnou tloušťkou 200 mm, 160 mm, 140 mm a 120 mm. Nejlepší varianta, dle hodnotících kritérií, vyšla konstrukce s tepelnou dvouvrstvou izolací EPS 150 S s tloušťkou 100 mm a 140 mm. Časová náročnost se zde mohla zanedbat, jelikož byla stejná jako u původní varianty. Z pohledu nákladové náročnosti vyšla tato konstrukce o něco levněji, ale součinitel prostupu tepla byl vyšší než u původně navržené skladby. Zde by tedy v budoucnu byly vyšší náklady za energii, proto v závěru byla vyhodnocena jako nejlepší varianta původně navržená podlahová konstrukce.

U střešní konstrukce byla navržena varianta s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 100 s grafitem tloušťky 140 mm a 200 mm. Tato konstrukce byla dále posuzovaná

s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 150 S tloušťky 100 mm a 100 mm, jednovrstvou izolací EPS 100 s proměnnou tloušťkou 200 mm, 140 mm a 100 mm, a jednovrstvou izolací EPS 150 S s proměnnou tloušťkou 200 mm, 140 mm a 100 mm. Nejvýhodnější varianta zde byla vyhodnocena konstrukce s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 150 S o tloušťce 140 mm a 200 mm. Tato varianta měla stejnou časovou náročnost a podobně vysoký součinitel prostupu tepla jako u původního projektu, ovšem náklady na výstavbu byly nižší. Z tohoto důvodu byla posouzena konstrukce s dvouvrstvou tepelnou izolací EPS 150 S o tloušťce 140 mm a 200 mm jako nejvýhodnější varianta.

Pro hodnocené konstrukce se samozřejmě mohly navrhnout i zcela jiné varianty skladeb. To však nebylo předmětem práce. Bakalářská práce zpracovávala skladby z již navrženého projektu a hodnotila, zda by se na původně navržených konstrukcích dalo ušetřit.

Pro konstrukce obvodového pláště by se tedy daly snížit náklady na výstavbu s ohledem na součinitel prostupu tepla a na časovou náročnost. Nicméně by se musely konstrukce ještě dále zhodnotit na energetickou náročnost, aby se dalo s jistotou říct, že by byly varianty výhodnější.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [2] BROTÁNKOVÁ, Klára a Aleš BROTÁNEK. *Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3969-4.
- [3] SMOLA, Josef. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [4] *Nové nároky na pasivní domy - čeho se týkají a jak je splnit?. České stavby* [online]. 14.1.2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/121056>
- [5] Zákon č. 406/2000 Sb.: *Zákon o hospodaření energii*. 2000.
- [6] Vyhláška č. 140/2021 Sb.: *Vyhláška o energetickém auditu*. 2021.
- [7] Vyhláška č. 264/2020 Sb.: *Vyhláška o energetické náročnosti budov*. 2020.
- [8] *Zákony pro lidi* [online]. AION CS, s.r.o, 2010 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>
- [9] TNI 73 0329: *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*. 2010.
- [10] TNI 73 0330: *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy*. 2010.
- [11] ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2011.
- [12] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [13] HAZUCHA, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. 1. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [14] PREGIZER, Dieter. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. Praha: Grada, 2009. Stavitel. ISBN 978-80-247-2431-7.
- [15] *CO JE PASIVNÍ DŮM?. Centrum pasivního domu* [online]. 14.5.2020 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [16] *Jaké náklady má energeticky nulový dům?. Tzbinfo* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/technicke-zarizeni-budov-v-ned-a-epd/16130-jake-naklady-ma-energeticky-nulovy-dum>
- [17] *Pasivní dům není líný, nulový nulou a aktivní výkonným sportovcem. České stavby* [online]. 27. 12. 2020 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/pasivni-dum-neni-liny-nulovy-nulou-a-aktivni-vykonnym-sportovcem-28814.html>
- [18] ČSN EN ISO 52016-1: *Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy*. 2019.
- [19] ČSN EN 15316-4-5: *Energetická náročnost budov - Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav - Část 4-5: Soustavy zásobování teplem a chladem, Modul M3-8-5, M4-8-5, M8-8-5, M11-8-5*. 2018.

- [20] *Nulový dům: Víte, jaké parametry musí splňovat?. Srovnej to [online].* 29. 2. 2020 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.srovnejto.cz/blog/nulovy-dum-vite-jake-parametry-musi-splnovat/>
- [21] *ČSN 73 0540-4: Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody.* 2005.
- [22] *Masivní konstrukce vhodné pro pasivní dům. Imateriály [online].* 21. 9. 2020 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/masivni-konstrukce-vhodne-pro-pasivni-dum_48274.html
- [23] TICHÁ, Alena, Bohumil PUCHÝŘ a Leonora MARKOVÁ. *Ceny ve stavebnictví I: rozpočtování a kalkulace.* 2. vyd. Brno: URS, 1999.
- [24] *Cenová soustava ÚRS. Imateriály [online].* [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.urs.cz/software-a-data/cenova-soustava-urs>
- [25] MARKOVÁ, Leonora. *Ceny ve stavebnictví: Průvodce studiem předmětu [online].* Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební [cit. 2022-05-14].
- [26] *Příručka rozpočtáře: rozpočtování a oceňování stavebních prací.* Praha: ÚRS, 2009. Cenová soustava ÚRS. ISBN 978-80-7369-239-1.
- [27] *ČSN EN ISO 6946: Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtové metody.* 2020.

8 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1: Rozdělení budov dle potřeby tepla na vytápění [1]</i>	10
<i>Tab. 2: Základní vlastnosti pasivního domu [1]</i>	12
<i>Tab. 3: Základní požadavky energeticky nulových budov [12]</i>	13
<i>Tab. 4: Srovnání energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie nulových budov [12]</i>	13
<i>Tab. 5: Požadované a doporučené hodnoty prostupu tepla [12]</i>	14
<i>Tab. 6: Srovnání hodnoty tepelné vodivosti tepelně izolačních materiálů [14]</i>	17
<i>Tab. 7: Řazení HSV ve výkazu výměr [23]</i>	24
<i>Tab. 8: Řazení PSV ve výkazu výměr [23]</i>	24
<i>Tab. 9: Řazení práce montáží ve výkazu výměr [23]</i>	24
<i>Tab. 10: Součinitel prostupu tepla obvodového zdiva 1</i>	33
<i>Tab. 11: Součinitel prostupu tepla obvodového zdivo 2</i>	34
<i>Tab. 12: Součinitel prostupu tepla podlahové konstrukce</i>	35
<i>Tab. 13: Součinitel prostupu tepla střešní konstrukce</i>	36
<i>Tab. 14: Nákladová náročnost obvodového zdiva 1</i>	37
<i>Tab. 15: Nákladová náročnost obvodového zdiva 2</i>	38
<i>Tab. 16: Nákladová náročnost podlahové konstrukce</i>	39
<i>Tab. 17: Nákladové náročnost střešní konstrukce</i>	40
<i>Tab. 18: Časová náročnost obvodového zdiva 1</i>	41
<i>Tab. 19: Časová náročnost obvodového zdiva 2</i>	42
<i>Tab. 20: Časová náročnost podlahové konstrukce</i>	43
<i>Tab. 21: Časová náročnost střešní konstrukce</i>	44
<i>Tab. 22: Porovnání obvodové konstrukce</i>	45
<i>Tab. 23: Vyhodnocené nejlepší varianty obvodové konstrukce</i>	46
<i>Tab. 24: Porovnání podlahové konstrukce</i>	47
<i>Tab. 25: Vyhodnocení nejlepší varianty podlahové konstrukce</i>	48
<i>Tab. 26: Porovnání střešní konstrukce</i>	49
<i>Tab. 27: Vyhodnocení nejlepší varianty střešní konstrukce</i>	50

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1: Orientace budovy ke světovým stranám</i>	15
<i>Obr. 2: Tvorba ceny stavebního objektu [24]</i>	23
<i>Obr. 3: Pohledy rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm [Zdroj: projekt rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]</i>	27
<i>Obr. 4: Půdorys INP rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm [Zdroj: projekt rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]</i>	28
<i>Obr. 5: Detail obvodové konstrukce dle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm [Zdroj: vlastní tvorba podle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]</i>	29
<i>Obr. 6: Detail podlahové konstrukce dle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm [Zdroj: vlastní tvorba podle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]</i>	30
<i>Obr. 7: Detail střešní konstrukce dle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm [Zdroj: vlastní tvorba podle projektu rodinného domu ve Frenštátu pod Radhoštěm]</i>	31
<i>Obr. 8: Srovnání součinitele prostupu tepla obvodového zdiva 1</i>	33
<i>Obr. 9: Srovnání součinitele prostupu tepla obvodového zdiva 2</i>	34
<i>Obr. 10: Srovnání součinitele prostupu tepla podlahové konstrukce</i>	35
<i>Obr. 11: Srovnání součinitele prostupu tepla střešní konstrukce</i>	36
<i>Obr. 12: Srovnání nákladové náročnosti obvodového zdiva 1</i>	37
<i>Obr. 13: Srovnání nákladové náročnosti obvodového zdiva 2</i>	38
<i>Obr. 14: Srovnání nákladové náročnosti podlahové konstrukce</i>	39
<i>Obr. 15: Srovnání nákladová náročnosti střešní konstrukce</i>	40
<i>Obr. 16: Srovnání časové náročnosti obvodového zdiva 1</i>	41
<i>Obr. 17: Srovnání časové náročnosti obvodového zdiva 2</i>	42
<i>Obr. 18: Srovnání časové náročnosti podlahové konstrukce</i>	43
<i>Obr. 19: Srovnání časové náročnosti střešní konstrukce</i>	44

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

PHPP – software pro návrh a výpočtové ověření pasivních domů

ETICS – vnější zateplovací systém

HSV – hlavní stavební výroba

PSV – pomocná stavební výroba

k.ú. – katastrální území

U_w – součinitel prostupu tepla pro celé okno

U_g – součinitel prostupu tepla pro zasklení

R – tepelný odpor

d_j – tloušťka konstrukce

λ_j – tepelná vodivost materiálu

U – součinitel prostupu tepla

R_t – tepelný odpor

R_{si} – tepelný odpor při přestupu tepla z vnitřního prostředí do konstrukce

R_{se} – tepelný odpor při přestupu tepla z konstrukce do vnějšího prostředí

h_j – součinitel přestupu tepla na vnitřní straně povrchu

h_e – součinitel přestupu tepla na vnější straně povrchu

$U_{pas, 20}$ – doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy

Kč – korun českých

m – metr

m^2 – metr čtverečný

mm – milimetr

Nh - normohodina

W - watt

K – kelvin

kWh – kilowatthodina

°C – stupeň celsia

11 SEZNAM PŘÍLOH

Výpočet součinitele prostupu tepla

- 001.a – obvodové zdivo s výplní polystyrenu tl. 500 mm
- 002.a – obvodové zdivo s výplní minerální vaty tl. 500 mm
- 003.a – obvodové zdivo tl. 380 mm s minerální vatou tl. 120 mm
- 004.a – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 120 mm
- 005.a – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 tl. 120 mm
- 006.a – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 140 mm
- 007.a – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 160 mm
- 008.a – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 180 mm
- 009.a – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm a 100 mm
- 010.a – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm a 100 mm
- 011.a – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 100 mm a 100 mm
- 012.a – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 200 mm
- 013.a – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 100 mm a 60 mm
- 014.a – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 160 mm
- 015.a – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm
- 016.a – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm
- 017.a – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 120 mm
- 018.a – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 120 mm
- 019.a – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm a 200 mm
- 020.a – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm a 200 mm
- 021.a – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 100 mm a 100 mm
- 022.a – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 200 mm
- 023.a – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm
- 024.a – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm
- 025.a – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 120 mm
- 026.a – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 120 mm

Rozpočet

- 001.b – obvodové zdivo s výplní polystyrenu tl. 500 mm
- 002.b – obvodové zdivo s výplní minerální vaty tl. 500 mm
- 003.b – obvodové zdivo tl. 380 mm s minerální vatou tl. 120 mm
- 004.b – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 120 mm
- 005.b – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 tl. 120 mm

- 006.b – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 140 mm
- 007.b – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 160 mm
- 008.b – obvodové zdivo tl. 380 mm s EPS 70 s grafitem tl. 180 mm
- 009.b – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm a 100 mm
- 010.b – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm a 100 mm
- 011.b – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 100 mm a 100 mm
- 012.b – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 200 mm
- 013.b – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 100 mm a 60 mm
- 014.b – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 160 mm
- 015.b – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm
- 016.b – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm
- 017.b – podlahová konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 120 mm
- 018.b – podlahová konstrukce s EPS 150 S tl. 120 mm
- 019.b – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm a 200 mm
- 020.b – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm a 200 mm
- 021.b – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 100 mm a 100 mm
- 022.b – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 200 mm
- 023.b – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 140 mm
- 024.b – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 140 mm
- 025.b – střešní konstrukce s EPS 100 s grafitem tl. 120 mm
- 026.b – střešní konstrukce s EPS 150 S tl. 120 mm