

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Ekonomické a technologické porovnání skladeb obvodových
plášťů pasivních domů**

Štěpán Pecka

2021

**Vedoucí diplomové práce:
doc. Ing. Zita Prostějovská, Ph.D.**

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pecka** Jméno: **Štěpán** Osobní číslo: **423808**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavební management**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Technicko-ekonomické porovnání skladby obvodových plášťů pasivních rodinných domů

Název diplomové práce anglicky:

Technical-economical comparison of envelopes design for passive family houses

Pokyny pro vypracování:

Úvod
Technologické požadavky na obvodové konstrukce
Specifikace pasivního domu
Provedení vícekritériální analýzy skladby obvodových plášťů pasivních rodinných domů - stanovení kritérií, vyhodnocení
Závěr

Seznam doporučené literatury:

SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, R., BERAN, V. DLASK, P.. Rozhodování: (vstupní data, významnost kritérií, hodnocení variant). Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04982-2.
FOTR, J., ŠVECOVÁ, L. a kol. Manažerské rozhodování. Postupy, metody a nástroje. Praha: Ekopress, 2016. ISBN 978-80-87865-33-0.
SMOLA, J. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. Praha: Grada, 2011. ISBN: 978-80-247-2995-4.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Zita Prostějovská, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **22.02.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **16.05.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

doc. Ing. Zita Prostějovská, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Renáta Schneiderová Heralová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

**Ekonomické a technologické porovnání skladeb obvodových
plášťů pasivních domů**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

podpis: Štěpán Pecka

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce paní doc. Ing. Zitě Prostějovské, PhD. za cenné rady, podporu a vedení této práce. Dále bych chtěl velice poděkovat mé blízké rodině za podporu a za umožnění studovat na vysoké škole.

Ekonomické a technologické porovnání skladeb obvodových plášťů pasivních domů

Autor se v této práci zabývá rozbořem zvolených typů skladeb obvodových plášťů domů v pasivním standardu. Autor zpracovává vícekritériální analýzu zvolených skladeb obvodových plášťů, které hodnotí pomocí zvolených kritérií. Autor v této diplomové práci získal přehled o různých materiálech, typech svislých obvodových konstrukcí v pasivním standardu, požadavcích na pasivní domy a vícekritériální analýze, která je jednou z vhodných variant pro tento typ rozhodování. Autor díky provedené vícekritériální analýze zvolených skladeb svislých obvodových plášťů získal nejvhodnější variantu svislého obvodového pláště pro domy v pasivním standardu.

Klíčová slova:

pasivní dům, obvodový plášť, primární energie, vícekritériální analýza

Technical-economical comparison of envelopes design for passive family houses

In this work, the author deals with the analysis of selected types of compositions of house envelopes in the passive standard. The author prepares a multi-criteria analysis of selected compositions of perimeter cladding, which he evaluates using selected criteria. In this diploma thesis, the author obtained an overview of various materials, types of vertical perimeter structures in the passive standard, requirements for passive houses and multi-criteria analysis, which is one of the suitable variants for this type. Thanks to the performed multi-criteria analysis of selected compositions of vertical perimeter cladding, the author obtained the most suitable variant of the vertical perimeter cladding for houses in the passive standard.

Keywords:

passive house, perimeter cladding, primary energy, multicriteria analysis

Obsah

1 Úvod	9
2 Pasivní dům	10
2.1 Historie pasivního domu	10
2.2 Legislativa	11
2.3 Požadavky na pasivní dům	12
2.4 Navrhování pasivních domů	15
3 Technické požadavky na skladbu obvodových konstrukcí	18
3.1 Statické požadavky	18
3.2 Tepelně technické požadavky	19
3.2.1 Šíření tepla konstrukcí	19
3.2.2 Šíření vlhkosti v konstrukci	20
3.2.3 Šíření vzduchu konstrukcí – průvzdučnost a vzduchotěsnost	21
3.2.4 Prostup tepla obálkou budovy	22
3.3 Akustické požadavky	22
3.3.1 Zvuková izolace obvodových plášťů	22
3.4 Mechanická odolnost a životnost	23
3.5 Požární bezpečnost	23
4 Typologie konstrukcí a materiálů obvodových plášťů	25
4.1 Členění konstrukcí z hlediska difuze	25
4.1.1 Difúzně otevřená skladba konstrukce	25
4.1.2 Difúzně uzavřená skladba konstrukce	25
4.2 Dělení konstrukcí dle hmotnosti	25
4.2.1 Lehké konstrukce	25
4.2.2 Těžké konstrukce	26
4.3 Dělení obvodových konstrukcí dle materiálu	26
4.3.1 Zděné konstrukce	26
Cihelné zdivo	27
Tvárnice zdivo	28
Keramické tvárnice	28
Tvárnice z lehkých betonů	28
4.3.2 Betonové konstrukce	28
Ztracené bednění	30
4.3.3 Kovové konstrukce	30
4.3.4 Dřevěné konstrukce	31
Dřevěné rámové konstrukce	31
Dřevěné panelové konstrukce	32
Dřevěné skeletové konstrukce	32
Dřevěné roubené konstrukce	32
4.4 Tepelněizolační materiály	33
Minerální plst'	33

Celulóza	34
Dřevní vlákna	34
Expandovaný pěnový polystyren	34
Extrudovaný polystyren	34
4.5 Povrchová úprava	35
4.5.1 Omítky.....	35
Cementové, vápenocementové a vápenné omítky.....	35
Akrylátové omítky	36
Silikátové omítky	36
Silikonové omítky	36
4.5.2 Fasádní nátěry	36
Vápenné nátěry.....	37
Akrylové nátěry.....	37
Silikonové nátěry	37
4.5.3 Fasádní obklady.....	37
Dřevěné obklady	38
Kamenné obklady.....	38
Keramické obklady	38
Plastové obklady	39
5 Teorie rozhodování – Vícekriteriální analýza	40
5.1 Vícekriteriální analýza.....	41
5.1.1 Stanovení kritérií	41
5.1.2 Stanovení vah kritérií	42
Saatyho metoda	42
5.1.3 Další postup vícekriteriální analýzy	43
6 Vícekriteriální analýza skladeb svislých obvodových plášťů rodinných domů v pasivním standardu.....	45
6.1 Modelová situace.....	46
6.2 Definice kritérií	47
6.3 Váha kritérií.....	49
6.4 Definice jednotlivých variant skladeb obvodových konstrukcí.....	49
6.4.1 Skladba 1 – Difuwall Isocell Passive Plus	49
6.4.2 Skladba 2 – Prefabrikovaný železobetonový panel + grafitový EPS	50
6.4.3 Skladba 3 – Stěnový panel Vesperhomes.....	51
6.4.4 Skladba 4 – Jednovrstvá stěna z tvárnice YTONG Lambda YQ	52
6.4.5 Skladba 5 - Cihla Porotherm 25 AKU Z Profi + Isover EPS Greywall Plus.....	53
6.4.6 Skladba 6 - Cihla Porotherm 25 AKU Z Profi + Isover TF Profi.....	54
6.4.7 Skladba 7 – Jednovrstvá stěna Porotherm 50 T Profi.....	54
6.4.8 Skladba 8 – NOVATOP CLT Panely.....	55
6.4.9 Skladba 9 – Výpenopískovcové tvárnice SILKA 17,5 + EPS Grey Wall Plus	56
7 Vyhodnocení variant skladeb.....	58
8 Závěr	60

1 Úvod

Stavební průmysl je jedním z největších spotřebitelů surovin a energií spotřebovaných k výrobě stavebních materiálů během výstavby. Ukončením fáze stavby však spotřeba energií nekončí. Spotřeba energií dále narůstá během fáze užívání budov. Největšími položkami spotřeby energie během užívání stavby tvoří pokrytí tepelných ztrát vytápěním a příprava teplé vody, dále pak spotřeba elektrické energie na osvětlení a elektrické spotřebiče. Na konci životnosti se spotřeba energie naposledy zvýší při demolici budovy a recyklaci materiálů. Vzhledem k tomu, že ceny stavebních materiálů, a to i v důsledku ubývání přírodních zdrojů, i energií stále rostou, zvyšuje se tlak na snížení spotřeby energií a zpřísňují se požadavky na obálky budov i technologické zařízení budov.

V této práci se budu věnovat ekonomickému a technologickému porovnání vybraných svislých obvodových plášťů rodinných domů v pasivním standardu. V rešeršní části krátce představím historický vývoj pasivních domů, legislativu a technologické požadavky na pasivní domy. Následně se zaměřím na technické požadavky na konstrukce svislých obvodových plášťů a jejich funkci. Dále zpracuji typologii konstrukcí a materiálů, které se běžně využívají při navrhování a výstavbě svislé obálky budovy. K nim uvedu obecné informace, popíši jejich vlastnosti, některé výhody, nevýhody a jejich využití. V závěrečné části rešerše popíši vícekriteriální analýzu, včetně vybrané metody párového srovnání kritérií – Saatyho metodu.

Cílem diplomové práce je technologické a ekonomické porovnání konstrukcí svislých obvodových plášťů za účelem výběru ekonomicky a technologicky nevhodnější konstrukce pro návrh pasivního rodinného domu.

V praktické části představím zvolené skladby aplikované na modelový rodinný dům a zpracuji vícekriteriální analýzu. Zvolím vhodná kritéria, například cenu konstrukce, tepelný součinitel prostupu tepla konstrukcí či měrnou spotřebu tepla na vytápění budovy. Pomocí Saatyho metody párového porovnání určím váhy jednotlivých kritérií, které určují důležitost daného kritéria. Následně ohodnotím jednotlivé varianty a určím nejlepší variantu skladby svislého obvodového pláště.

2 Pasivní dům

Koncept pasivního domu je založen na snižování energetické náročnosti na stavbu a provoz budovy a celkové šetrnosti k životnímu prostředí. Zakládá si na zdravém vnitřním prostředí, komfortním bydlení v zimě i v létě, velmi nízkých nákladech na vytápění a provoz budovy, řízeném větrání zajišťující přísun dostatečného množství čerstvého vzduchu, kvalitním provedení obálky budovy včetně detailů konstrukcí a omezení tepelných mostů, využívání vnitřních tepelných zisků z osob a odpadního tepla z přístrojů i odpadního vzduchu a tepla ze slunečního záření.

2.1 Historie pasivního domu

Principy pasivního domu využívali lidé již ve středověku či starověku, kdy se používaly přírodní materiály jako je hlína, jíl, mech, sláma a další, k utěsnění stěn obydlí proti úniku tepla a zamezení průvanu (1).

Mezi první průkopníky využívajících principu pasivních domů pomocí silné vrstvy izolace, včetně technologie větrání, nebyl dům, nýbrž výzkumná loď z roku 1887 jménem Fram patřící polárníkovi jménem Fridtjof Nansen. Na zateplení stěn a stropu využili silnou vrstvu dehtové plsti, korek, jedlové dřevo a okna byla proti prostupu chladu opatřena trojskly. Loď byla vybavena větrnou elektrárnou, která přes dynamo vyráběla elektřinu pro obloukové lampy a poháněla větrák, který do kajut vháněl čerstvý vzduch (2).

„Dalším přelomem byla realizace komerčně využitelné solární administrativní budovy od architektů Franka Bridgerse a Dona Paxtona a spolupracovníků z roku 1956 v Novém Mexiku. Solární koncept zajišťoval příkon většiny energie ze sluníčka. Akumulace byla zajištěna vodními zásobníky. Doplňkovým zdrojem bylo pět tepelných čerpadel.“ (2)

Největší vývoj pasivních domů začal po roce 1973. Budovy byly víceméně soběstačné, avšak technologicky složité a náklady na realizaci v poměru k možným úsporám z provozu byly několikanásobné. V této době se začaly formulovat základní principy pasivních domů s ohledem na úspory na energiích, propojení jednotlivých opatření a šetrnost k životnímu prostředí. Architekt Vagn Korsgaarden postavil první pasivní dům v Kodani v roce 1976. Dům však splňoval i kritérium „nulového“ domu - byly použity solární kolektory, které spolu s vnitřními zisky plně pokrývaly spotřebu na vytápění. Následovaly

další pokusy, vývoj technologií, větrání či zpětného získávání tepla, materiálů, oken atd. Výsledkem byl projekt řadového domu se 4 byty postaveného v Hesensku v Německu v roce 1990, který položil základy nynějších parametrů pasivních domů (2).

„Nejvýznamnějším evropským střediskem podporujícím rozvoj a výstavbu pasivních domů je v novodobé historii v roce 1996 založený Passivhaus Institut v Darmstadtu vedený Dr. Wolfgangem Feistem. Jedná se o nezávislou a nevládní instituci. Výsledky svých výzkumů a zkušeností zahrnuje do průběžně aktualizovaného softwaru (PHPP), určeného pro návrh a výpočtové ověření parametrů (certifikaci) pasivních domů.“ (2)

Postupně se začínají kritéria pro stavbu pasivních domů projevovat v legislativě jednotlivých států Evropské unie. První země, spolková země Horní Rakousko, zavedla povinnost stavět budovy v pasivním standardu v roce 2007 (3). 19. května 2010 byla vládám členských zemí EU adresována Směrnice Evropského parlamentu a rady o energetické náročnosti budov (EPBD 2). Podstatou je dosažení stavu, aby od roku 2020 byly realizovány pouze budovy, jejichž potřeba energií se blíží nule.

2.2 Legislativa

Standard pasivních domů není z hlediska legislativy České republiky závazný.

„Norma, ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky, definuje pasivní domy takto: „Pasivní domy jsou budovy s roční měrnou spotřebou tepla na vytápění nepřesahující 15 kWh/m²a. Takto nízkou energetickou spotřebu budovy lze krýt bez použití obvyklé otopné soustavy, pouze se systémem nuceného větrání obsahujícím účinné zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu (rekuperaci) a malé zařízení pro dohřev vzduchu v období velmi nízkých venkovních teplot atd.“ (4)

Od roku 2016 se implementuje vyhláška Evropské unie do českého stavebnictví. Od tohoto roku platí nové energetické požadavky na nové budovy. 1.9. 2020 vstoupila v platnost vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov, která nahrazuje vyhlášku 78/2013 Sb. Tato vyhláška nastavuje technické požadavky na nový energetický standard budov, tzv. „budovy s téměř nulovou spotřebou“ (NZEB = nearly zero energy building), který je pro všechny nové budovy závazný. Tuto povinnost udává zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií (5).

„Současné nastavení požadavků na NZEB je v podmínkách České republiky velmi mírné a nedosahuje ani úrovně měrné potřeby tepla na vytápění nízkoenergetických domů ($EA = 50 \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$ za rok).“ (5)

2.3 Požadavky na pasivní dům

Požadavky na pasivní domy jsou komplexní problematika. Aby pasivní dům správně fungoval, musí se navrhout již od začátku jako celek, se správnou orientací vůči světovým stranám, umístěním budovy na pozemku, včetně správného návrhu skladeb obálky budovy – podlaha, svislé obvodové stěny, výplně otvorů, střcha, detaily. Nesmí chybět návrh technického zařízení, jako jsou vytápění, rekuperace, větrání, ohřev teplé vody, tepelná čerpadla aj. V pasivních domech se nepočítá se zařízením pro chlazení. Je však nutné navrhnout správné stínění výplní otvorů, například venkovní žaluzie či přesah střešní konstrukce.

Základní zásady pasivního domu

- *„vhodný tvar a orientace pobytových místností ke slunci*
- *perfektní tepelná ochrana – kvalitní tepelná izolace, okna s izolačními trojskly, přerušení tepelných mostů*
- *maximální využití solárních zisků, s ochranou proti letnímu přehřívání (např žaluzie)*
- *vzduchotěsná obálka proti zbytečnému provětrávání spárami*
- *řízené větrání se zpětným ziskem tepla (rekuperací)*
- *malý úsporný zdroj tepla a využívání obnovitelných zdrojů energie“ (6)*

„Pasivní dům je mezinárodně uznávaný termín pro domy, splňující kritéria Passivhaus Institutu v Darmstadtu:

Měrná roční potřeba tepla na vytápění $\leq 15 \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$

Měrná roční potřeba energie na chlazení $\leq 15 \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$

Neprůvzdušnost obálky budovy $n_{50}: \leq 0,6 \text{ l/h}$

Průměrná roční potřeba primární energie: $\leq 120 \text{ [kWh/(m}^2\text{a)]}$

(vytápění, chlazení, TV, pomocná energie, osvětlení, spotřebiče)

V návrhu detailů musejí být dodrženy komfortní teploty a řešení bez tepelných mostů. Zároveň musí být dodrženo překročení maximální teploty $25 \text{ }^\circ\text{C}$ pod 10 % času. Tím je

zaručena vysoká kvalita stavby bez poruch a výjimečná kvalita vnitřního prostředí v zimě i v létě.“ (7)

Následující tabulka ukazuje, doporučené minimální požadavky pro pasivní domy v České republice.

		Průměrný součinitel prostupe tepla U_{em} [W/(m ² ·K)]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/(m ² ·a)]	Měrná potřeba primární energie [kWh/(m ² ·a)]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 20 požadováno ≤ 15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18 °C–22 °C		≤ 0,35 ¹⁾	≤ 15	≤ 15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120

1) Uvedená hodnota je doporučena, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$ podle 5.3.2 [2].

2) Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.

Obrázek 1: Základní charakteristiky pasivních budov (8)

Passive House Institute v Rakousku říká, že aby byla budova považována za pasivní dům, musí splňovat následující kritéria:

1. Spotřeba energie na vytápění prostoru nesmí překročit 15 kWh na metr čtvereční čistého obytného prostoru (ošetřená podlahová plocha) ročně nebo 10 W na metr čtvereční ve špičce (9).

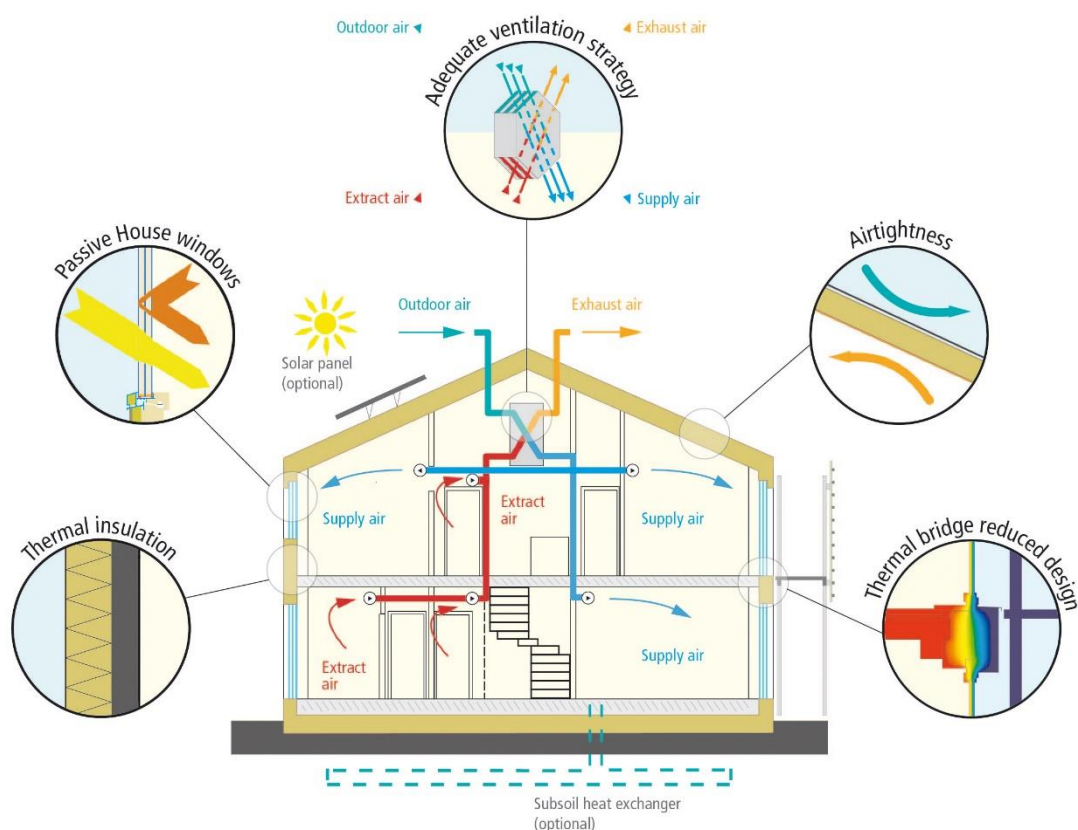
V podnebí, kde je zapotřebí aktivní chlazení, požadavek na spotřebu energie prostorového chlazení zhruba odpovídá výše uvedeným požadavkům na potřebu tepla, s dodatečným povolením na odvlhčování (9).

2. Poptávka na obnovitelnou energii z obnovitelných zdrojů (PER, podle metody PHI), celková energie použitá pro všechny domácí aplikace (vytápění, teplá voda a domácí elektřina) nesmí překročit 60 kWh/m² ošetřené podlahové plochy za rok pro pasivní dům (9).

3. Pokud jde o vzduchotěsnost, maximálně 0,6 výměny vzduchu za hodinu při tlaku 50 Pa, ověřeno tlakovou zkouškou na místě (v tlakovém i beztlakovém stavu) (9).

4. V zimě i v létě musí být splněna tepelná pohoda pro všechny obytné oblasti, přičemž více než 10% hodin v daném roce nesmí přesáhnout 25 ° C (9).

Pro stavbu pasivních domů platí následujících pět základních principů zobrazených na obrázku 2.



Obrázek 2: Pět základních principů pasivních domů (9)

Thermal Insulation - Tepelná izolace - všechny součásti obálky budovy musí být velmi dobře odizolovány. Tepelný součinitel prostupu tepla konstrukcí musí mít hodnotu maximálně 0,15 (W / (m²K)) (9).

Passive House windows - Okna pasivního domu - Okenní rámy musí být dobře izolované a opatřeny zasklením s nízkým e vyplněným argonem nebo kryptonem, aby se zabránilo přenosu tepla. Pro většinu chladného a trvalého podnebí to znamená hodnotu U 0,80 W /

(m²K) nebo méně, s hodnotami g kolem 50% (hodnota g = celková sluneční propustnost, podíl solární energie dostupné pro místnost) (9).

Adequate ventilation strategy - Rekuperace tepla větráním - Účinné větrání s rekuperací tepla je klíčové, umožňuje dobrou kvalitu vnitřního vzduchu a šetří energii. V pasivním domě se alespoň 75% tepla z odpadního vzduchu přenáší opět na čerstvý vzduch pomocí tepelného výměníku (9).

Airtightness - Vzduchotěsnost budovy - Nekontrolovaný únik mezerami musí být při tlakové zkoušce 50 Pa (jak pod tlakem, tak bez tlaku) menší než 0,6 z celkového objemu domu za hodinu (9).

Thermal bridge reduce design - Absence tepelných mostů - Všechny hrany, rohy, spoje a prostupy musí být plánovány a prováděny s velkou opatrností, aby bylo možné se vyhnout tepelným mostům. Tepelné mosty, kterým nelze zabránit, musí být pokud možno minimalizovány (9).

Průkaz energetické náročnosti budov

„Stejně jako lze měřit energetickou účinnost u spotřebičů, lze také posoudit energetickou náročnost budov. Průkaz energetické náročnosti (PENB) – který mohou zpracovávat výhradně energetičtí specialisté autorizovaní Ministerstvem průmyslu a obchodu – hodnotí, jak energeticky náročný je provoz dané nemovitosti při předem definovaných podmínkách užívání. Konkrétně zohledňuje umístění budovy na pozemku vzhledem ke světovým stranám, z jakých materiálů je postavena, jaké technologie jsou využity pro vytápění, klimatizaci, větrání, ohřev vody a osvětlení. Souhrnem je pak celkové zařazení nemovitosti do jedné ze sedmi kategorií od mimořádně úsporné (A) až po mimořádně nevhodnou (G) (9).“

2.4 Navrhování pasivních domů

Při navrhování pasivních domů je kladen důraz na propojení tři oblastí – ekonomická, sociální, environmentální.

Ekonomická oblast se zabývá snižování nákladů na pořízení materiálu, stavby, provozu a údržby budovy a na konci životnosti stavby její demolici, případně recyklaci použitých materiálů. Tedy minimalizaci nákladů celého životního cyklu budovy (LCC = Life Cycle Cost) (7).

Sociální oblast se zabývá požadavky na kvalitu bydlení z hlediska zdravého prostředí a uživatelského komfortu. To by mělo zajišťovat kvalitní větrání vnitřních prostorů s přísunem čerstvého vzduchu, stálost teploty v místnostech, akustiku, dostatečné osvětlení a také zdravotní nezávadnost použitých zdravotních materiálů (7).

Environmentální oblast se zabývá ekologickou zátěží stavby na životní prostředí během celého jejího životního cyklu. Zde hovoříme o hospodaření s vodou, odpady a odpadním teplem, emisemi CO₂ a v neposlední řadě o snižování spotřeby primární a svázané energie. Svázaná „šedá“ energie zahrnuje množství primární energie, která je spotřebována na těžbu a dopravu surovin, výrobu a životnost stavebních materiálů a konstrukcí až do konce jejich životnosti, včetně energie vynaložené na jejich odstranění a recyklaci (7). Primární energii dělíme na energii obnovitelnou a neobnovitelnou dle daného energo nositele (zemní plyn, elektřina aj.). Celková spotřeba primární energie budovy zahrnuje spotřebu energií na provoz budovy včetně domácích spotřebičů. Tato spotřeba je přepočítána pomocí koeficientů dle typu energo nositele na množství primární energie spotřebované na samostatnou výrobu dodávané energie, včetně započítaných ztrát během distribuce (7).

Primární energie

„Primární energie označuje všechny přirozeně se vyskytující zdroje energie v jejich původní a nezměněné podobě. Pojem primární energie zahrnuje obnovitelné energie, jako je sluneční energie, větrná a vodní energie, geotermální energie, přílivová energie a biomasa (živočišné a rostlinné materiály, jako je dřevo), ale také přírodní uhlí, zemní plyn, ropa a uran.

Pokud je primární energie přeměněna nebo zpracována, nazývá se sekundární energie. Aby byla primární energie využitelná jako sekundární energie, zpracování obvykle vede ke ztrátám energie (9).“

Svázaná energie

„Svázaná energie, udávající celkovou spotřebu přírodních zdrojů energie během životního cyklu výrobku. Obvykle se udává v megajoulech [MJ] (10).“

Spotřeba neobnovitelné primární energie

„Charakterizuje vliv budovy na životní prostředí, tedy celkové množství energie, kterou budova spotřebuje z neobnovitelných zdrojů (11).“

3 Technické požadavky na skladbu obvodových konstrukcí

„Obvodový plášť budovy je možné chápat jako souhrn všech konstrukcí, které oddělují vnitřní prostor budovy od vnějšího. Obvodové pláště tvoří konstrukce svislých stěn, střech, oken, dveří, a dalších výplní otvorů v OP a ostatních částí dělicích interiér od exteriéru. Všechny tyto konstrukce musejí splňovat řadu požadavků (a to nejen z hlediska odolnosti klimatických vlivů), aby byla zachována správná funkce budovy. Obvodový plášť, situovaný zpravidla do svislé polohy, musí být navržen tak, aby po celou dobu své předpokládané doby fyzické životnosti odolával bezpečně a spolehlivě všem účinkům vnějšího i vnitřního prostředí.

Obvodový plášť budovy uvažujeme jako skladbu všech vrstev svislých a vodorovných konstrukcí – od vnitřní omítky, přes nosnou konstrukci, izolace až po vnější povrchovou úpravu. Svislý obvodový plášť se skládá ze svislých obvodových stěn, z prvků výplní otvorů (okna, dveře aj.), které oddělují vnitřní prostor interiéru od vnějšího prostoru exteriéru. Chrání ho tak před vnějšími klimatickými vlivy a pomáhají udržovat stále vnitřní klima.“ . (15)

Aby bylo docíleno správné funkce obvodového pláště a kvalitního a zdravého vnitřního prostředí, musí obvodová konstrukce splňovat konkrétní technologické požadavky. Mezi základní patří požadavky statické, tepelně a akusticky izolační, ochranu proti vlhkosti, požadavky na denní osvětlení a požární ochranu. Dále pak požadavky architektonické a estetické (15).

3.1 Statické požadavky

Svislý obvodový plášť musí být vždy schopen bezpečně přenášet zatížení vyvolané vlastní tíhou a musí vykazovat dostatečnou tuhost a stabilitu, která musí odolat účinkům stálých, nahodilých i předpokládaných mimořádných zatížení, aniž by došlo ke vzniku poruch a deformací. Konstrukce musí odolat i účinkům deformačních zatížení, tj. zatížení způsobených změnami teplot (vyvolaných různou teplotní roztažností látek. (14)

Obvodový plášť můžeme ze statického hlediska rozdělit na konstrukce:

- nosné - jsou zatěžovány vlastní tíhou a klimatickými vlivy, ostatními konstrukcemi a přenášení zatížení prostřednictvím základů do základové půdy

- **samonosné** - jsou zatěžovány pouze vlastní tíhou a zatíženími vyvolanými klimatickými vlivy, a svislými nosnými konstrukcemi a musejí bezpečně přenést vlastní tíhu a zatížení vyvolané vlivem klimatu do vodorovných, resp. svislých nosných konstrukcí
- **nenosné závěsné** - jsou předsazeny před nosné konstrukce, na kterých jsou zavěšeny a nejsou tedy již přitěžovány stropy ani střechami

3.2 Tepelně technické požadavky

Tepelně technické požadavky na obvodové pláště budov se stále zvyšují. Je to způsobeno ochranou životního prostředí a s tím spojeným tlakem na snižování množství emisí CO₂, snahou o co nejnižší náklady na energie zapříčiněné zvyšováním cen surovin potřebných k výrobě energií a snahou o soběstačné domy s co nejnižší celkovou energetickou náročností. (14)

Také nás k tomu nutí technologické požadavky, které by měly zaručit tepelnou pohodu vnitřního prostředí po celou dobu předpokládané životnosti budovy a její údržbě. Nedo držení těchto požadavků může zapříčinit technické vady a poruchy v konstrukci, ze kterých mohou plynout například zdravotní potíže způsobené vzniklými plísněmi či degradace materiálu a konečně i zvýšení nákladů na jejich odstranění. (14)

3.2.1 Šíření tepla konstrukcí

Teplo, které se šíří konstrukcí obvodového pláště se dá popsat dvěma veličinami, a to nejnižší vnitřní povrchovou teplotou konstrukce a součinitelem prostupu tepla.

Nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce Θ_{si} [°C]

Je vhodné hodnotit v poměrném tvaru jako teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} , neboť f_{Rsi} je jednoznačnou vlastností konstrukce nebo styků konstrukcí ve sledovaném místě, která nezávisí na teplotách přilehlých prostředí. Teplotní faktor vnitřního povrchu se stanoví podle vzorce:

V zimním období v prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i = 60 \%$ musí být splněna podmínka pro bezrozměrný teplotní faktor vnitřního povrchu podle vztahu:

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} [-]$$

$f_{Rsi,N}$ je požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu

(14)

Součinitel prostupu tepla U

Ve vytápěných nebo klimatizovaných prostorech s relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i = 60\%$ musí součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$] dosahovat takových hodnot, aby byla splněna podmínka (14):

$$U \leq U_N \quad [\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}]$$

U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla konstrukce

Norma ČSN 73 0540 uvádí dvojí hodnoty součinitele prostupu tepla, doporučené a požadované. Zatímco požadované je nutné splnit vždy, doporučené jsou určeny pro nízkoenergetickou výstavbu. Součinitel prostupu tepla ochlazované konstrukce se stanovuje pomocí tepelného odporu konstrukce (14):

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^2/\text{K}]$$

R_{si} je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K}^1 \cdot \text{W}^{-1}$];

R_{se} je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2 \cdot \text{K}^1 \cdot \text{W}^{-1}$]

R tepelný odpor konstrukce stanovený podle vztahu:

$$R = \sum_i \frac{d_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}^{-1}]$$

d tloušťka i – té vrstvy

λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}/\text{K}$]

3.2.2 Šíření vlhkosti v konstrukci

U obvodových plášťů je nutné posoudit a sledovat množství zkondenzované a vypařené vodní páry uvnitř konstrukce.

Schopnost pohybu molekul vodní páry je dána difúzí, tj. pohybem molekul vodní páry z prostředí o vyšším parciálním tlaku do prostředí o nižším parciálním tlaku páry. V konstrukcích, které ode sebe oddělují prostory s různým teplotním režimem a z rozdílným parciálním tlakem par, dochází k difúzi nenasyčených vodních par. V místech, kde se sníží teplota par na úroveň jejího nasycení, změní se pára na vodu. Kondenzát se může vsáknout do konstrukce, odteče nebo se odpaří (14).

Odpařováním odebírá kondenzát z okolí teplo a ochlazuje konstrukci. Při odtékání rozpouští některé z materiálů a zabarvuje povrch konstrukce. Po vsáknutí se mění rozměry prvků a degradují se tepelně izolační vlastnosti materiálů. Pokud uvedené defekty nemění některé z funkcí stavby je taková stavba odolná proti kondenzaci vody.

Pokud dojde k ohrožení jejich funkci, ke kondenzaci vůbec nesmí dojít, tzn.

$$M_c = 0 \text{ [kg.m}^{-2}\text{.a}^{-1}\text{]}.$$

Pro ostatní konstrukce musí být množství zkondenzované vodní páry v celoroční bilanci menší než množství vypařené vodní páry, tzn. $M_c < M_{ev}$ [kg.m⁻².a⁻¹]. Celkové množství zkondenzované vodní páry uvnitř konstrukce je zároveň omezeno:

$$M_c \leq M_{c,N} \text{ [kg.m}^{-2}\text{.a}^{-1}\text{]}$$

$M_{c,N}$ je maximální množství zkondenzované vodní páry v celoroční bilanci. (14)

3.2.3 Šíření vzduchu konstrukcí – průvzdušnost a vzduchotěsnost

Při posuzování šíření vzduchu zkrz obvodový plášť budovy je pozornost zaměřena zejména na **průvzdušnost**. Průvzdušnost se stanovuje pro funkční spáry výplně otvorů a lehkých obvodových plášťů, pro spáry a netěsnosti ostatních konstrukcí obálky budovy a pro celou obálku budovy. U dnešních staveb s nízkou energetickou náročností se snažíme o co největší vzduchotěsnost obálky, tedy opak průvzdušnosti, aby byly tepelné ztráty co nejmenší. (14)

„Blower door test je zkušební metoda, při které se měří vzduchotěsnost obálky budovy za pomoci ventilátoru, který je po dobu zkoušky zabudován ve vstupních dveřích nebo jiném vhodném místě. Při samotné zkoušce ventilátor průběžně mění tlak v budově, kdy dle definovaného měřicího postupu dochází ke zvyšování (přetlak) a snižování (podtlak) tlaku a z výsledných hodnot lze již snadno odvodit, zda je celá obálka budovy dostatečně či

nedostatečně utěsněna. Blower door test je velmi spolehlivá metoda jak stavby zkontrolovat správné utěsnění obálky budovy, která má zásadní vliv na životnost celé konstrukce.“ (15)

3.2.4 Prostup tepla obálkou budovy

Z hlediska celkových energetických vlastností budovy se stanovuje průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} podle vztahu (14):

$$U_{em} = \frac{H_T}{A} \quad [\text{W}\cdot\text{m}^2/\text{K}]$$

$H_T = \sum U_{en} \cdot A_n$ [W/K] je měrná ztráta prostupem tepla stanovená ze součinitelů prostupu tepla všech teploměrných konstrukcí tvořících obálku budovy

A je plocha obálky budovy

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy pak musí splňovat podmínku:

$$U_{em} \leq U_{em,N}$$

$U_{em,N}$ je požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla.

3.3 Akustické požadavky

„Charakteristiky zvukově izolačních konstrukcí vyjadřuje vzduchová a kročejová neprůzvučnost. Zatímco vzduchová neprůzvučnost se stanovuje pro svislé i vodorovné konstrukce, neprůzvučnost kročejová se stanovuje jen pro konstrukce vodorovné, neboť studuje šíření zvuku vyvolaného mechanickým rozkmitáním konstrukce – kroky.“ (14)

Nové požadavky na kce udává revize ČSN 73 0532:2020 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků – Požadavky z roku 2020 (16)

3.3.1 Zvuková izolace obvodových plášťů

Vzduchová neprůzvučnost obvodových plášťů musí vyhovovat minimálním požadavkům, které jsou pro hodnocení obvodových plášťů stanoveny váženou neprůzvučností R'_w a pro hodnocení ochrany místnosti před venkovním hlukem váženým rozdílem hladin

$D_{n,T,w}$ v závislosti na venkovním hluku, vyjádřeném ekvivalentní hladinou akustického tlaku $L_{Aeq,2m}$ (14).

Zvuk můžeme charakterizovat jako mechanické vlnění části prostředí vyvolávající zvukový vjem pro lidské ucho o frekvencích 16 Hz až 20 000 Hz, tak ochrana proti zvuku (hluku) spočívá v zamezení šíření tohoto vlnění. Konstrukce, které mají potlačit přenos zvukových vln, můžeme rozdělit do dvou skupin:

- konstrukce pohlcující potlačují odraz zvukových vln;
- konstrukce zvukově izolační potlačují přenos zvukových vln konstrukcí (14).

Důležitým předpokladem ochrany proti hluku je zabezpečení normativních požadavků na neprůzvučnost konstrukcí, to můžeme prokázat pomocí zkoušky, která se skládá z měření, určení hodnoty jednočíselné veličiny a jeho porovnání s požadavkem. Pokud řešíme celou konstrukci, je nutné brát v úvahu i napojení materiálu na ostatní konstrukce, aby nedocházelo k šíření zvuku okolo zkoumaného prvku (14).

3.4 Mechanická odolnost a životnost

Mechanická odolnost se jinými slovy nazývá opotřebení, tedy ztráta materiálu z povrchu, přenos materiálu z jednoho povrchu na druhý nebo pohyb materiálu v rámci jedné plochy. Poškození pevného povrchu většinou souvisí s progresivní ztrátou materiálu, která je zapříčiněna relativním pohybem mezi tímto povrchem a kontaktní látkou nebo látkami. Podle typu vzájemného kontaktu a pohybu těles se opotřebení realizuje různým mechanismem (16).

„Opotřebení není materiálová vlastnost, nicméně je to odezva systému. Odolnost povrchů proti opotřebení je však důležitým parametrem přímo ovlivňující životnost komponent. Míra opotřebení materiálu závisí na kontaktních podmínkách, takových jako je materiál protikusů, tlak v místě kontaktu, kluzné rychlosti, tvaru kontaktu, tuhost odpružení, prostředí a mazivu.“(13)

3.5 Požární bezpečnost

„Požární bezpečnost staveb může být zajištěna pasivní i aktivní požární ochranou budovy. Zatímco pasivní požární ochrana představuje správné navržení konstrukcí, aktivní

požární ochrana je tvořena konkrétními bezpečnostními zařízeními (tj. elektrická požární signalizace, zařízení pro odvod kouře a tepla nebo samočinné hasící zařízení).

Obecně při řešení konstrukcí z hlediska požární bezpečnosti staveb se navrhuji opatření, jejichž cílem je:

- zaručit po určité době únosnost a stabilitu nosných a celistvost a izolaci požárně dělících konstrukcí*
- zajistit bezpečný únik osob, popř. evakuaci zvířat a majetku. Tomuto požadavku je nutno přizpůsobit únikové komunikace uvnitř budovy.*
- zamezit šíření požáru uvnitř objektu pomocí dělení objektu na menší celky – tzv. požární úseky*
- zabránit přenesení požáru z hořícího objektu na sousední přilehlý nebo protilehlý objekt zajištěním dostatečných odstupů*
- umožnit účinný protipožární zásah všech zasahujícím hasičským jednotkám prostřednictvím zajištění požární vody nebo budováním přístupových komunikací, nástupních ploch apod.“ (14)*

4 Typologie konstrukcí a materiálů obvodových plášťů

4.1 Členění konstrukcí z hlediska difuze

V našich klimatických podmínkách je v zimním období výrazně odlišné prostředí v interiéru (teplý vlhký vzduch) než v exteriéru (studený suchý vzduch). Tato dvě prostředí mají tendenci se vyrovnávat difuzí skrze obvodovou obálku domu. Průběh difuze závisí na tloušťce vrstvy a na její schopnosti propouštět vodní páru (10).

4.1.1 Difúzně otevřená skladba konstrukce

Tato skladba konstrukce umožňuje vodní páře prostupovat skrze obvodovou obálku ve směru teplotního spádu. Množství prostupující páry je regulováno pomocí parobrzdy – vrstvy, která je propustná pro vodní páru pouze do určité míry (ekvivalentní difuzní tloušťka S_d bývá cca 5 m). Výhodou této skladby je, že umožňuje přirozený pohyb vzduchu a přirozené chování přírodních materiálů (dřeva). Nevýhodou je vyšší cena, protože vrstvy ve skladbě musejí mít požadované difuzní vlastnosti (10).

4.1.2 Difúzně uzavřená skladba konstrukce

Tato skladba vstup vodní páry do konstrukce vůbec nepřipouští, jev difuze zde nenastává. Způsobuje to především parozábrana, což je vrstva dostatečně těsná pro průchod par (ekvivalentní difuzní tloušťka S_d bývá 40 až 200 m; v případě fólií až 1500 m). Výhodou této skladby je především jednoduchost, skladba může mít menší rozměry a tloušťky, také cena bývá nižší. Nevýhodou jsou problémy při provádění spojů a detailů parozábrany v místech prostupu touto vrstvou (10).

4.2 Dělení konstrukcí dle hmotnosti

4.2.1 Lehké konstrukce

Mezi lehké konstrukce řadíme ty s plošnou hmotností nižší než 100 kg/m². V současnosti jde hlavně o systémy dřevostaveb, ale též panelové a jiné deskové systémy na bázi plastů či lehkých kovů, obvykle sestavované tzv. suchou výstavbou (11). Dřevo a komponenty na bázi dřeva mají podstatně nižší hmotnost než zděné prvky, což přináší úsporu při zakládání a zemních pracích. Základy mohou mít podobu zemních vrutů nebo patek

se vzduchovou mezerou pod stavbou, což šetří množství použitého betonu, zásahů do zeminy i izolaci proti radonu. Vliv na cenu má také snazší a rychlejší doprava dílů na stavbu a jejich montáž (12).

4.2.2 Těžké konstrukce

K těžkým konstrukcím patří systémy železobetonové, z cihel (kromě dutinových), z kamene, z vápenopískových bloků, z dutinových tvarovek vylévaných betonem. Dále také stavby z masivního dřeva (11). Výhodou masivních materiálů je, že dovedou výrazně vylepšit vzduchotěsnost objektu a zejména stabilitu vnitřní teploty. Výborně akumulují tzv. citelné teplo v zimě nebo v létě naopak chlad (oboje pasivně, bez použití technologických zařízení). A to i v případě jednovrstvé konstrukce. Tuto jejich schopnost lze ještě navýšit aplikací vhodného izolačního materiálu na vnější stranu zdi (13).

4.3 Dělení obvodových konstrukcí dle materiálu

Volbu konstrukčního materiálu ovlivňují architektonická hlediska, stavební požadavky, funkce a účel budovy, termín dokončení stavby a ekonomická hlediska. Nosné konstrukce pozemních staveb lze podle stavebního materiálu členit na:

- Zděné konstrukce - z cihel nebo cihelných tvárnic, z kamene.
- Betonové konstrukce - z prostého betonu, železobetonu, předpjatého betonu.
- Kovové konstrukce - ocelové, litinové, hliníkové, z kovových slitin.
- Dřevěné konstrukce - z hraněného nebo deskového řeziva, z dřevěných lamel.
- Kompozitní konstrukce - ocelobetonové, plastové (14).

4.3.1 Zděné konstrukce

Zděné konstrukce jsou složeny ze dvou složek (zdicích prvků a malty), které spolu staticky působí. Zdivo je nejúnosnější při namáhání prostým tlakem oproti podstatně menší únosnosti v tahu, ohybu a smyku. Z toho plyne, že zděná rovinná stěna je dostatečně únosná na zatížení působící ve svislé rovině, a málo únosná na zatížení působící k této rovině kolmo. Proto se vyvinuly konstrukční formy, které omezují tuto nepříznivou vlastnost zdiva. Jde o tvarování stěny, její vyztužování nebo předpínání. Při použití kvalitních zdicích prvků a malty mohou být stěnové konstrukce velmi štíhlé, pokud jsou tepelné technické nároky splněny dodatečnou izolací (14).

Zdicí prvek je předem zhotovený prvek, určený pro uložení ve zdivu. Zpravidla má tvar pravoúhlého kvádrů. Na styčných plochách určených pro styčné spáry se může vyskytovat drážkování pro mechanické spojení nebo úchytné otvory pro snazší manipulaci s prvkem. Zdicí prvky bývají často vylehčovány použitím pórovitého materiálu či lehkého kameniva, nebo provedením otvorů (děr nebo dutin). Materiál mezi otvory vytváří žebra (14).

Z hlediska materiálu se rozlišují následující druhy zdicích prvků:

- Pálené (cihlářské) zdicí prvky podle ČSN EN 771-1;
- Vápenopískové zdicí prvky podle ČSN EN 771-2;
- Betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem podle ČSN EN 771-3;
- Pórobetonové tvárnice podle ČSN EN 771-4;
- Zdicí prvky z umělého kamene podle ČSN EN 771-5;
- Zdicí prvky z přírodního kamene (14).

Cihelné zdivo

Cihly se vyrábějí v různých materiálových a rozměrových variantách. Cihly plné mají plný stěp bez otvorů nebo s otvory v rozsahu maximálně do 15 % ložné plochy. Cihly lehčené mají sníženou objemovou hmotnost získanou zvětšením pórovitosti stěpu nebo vytvořením otvorů.

Mezi nejvíce používané typy cihel patří:

- Cihly pálené plné - Jsou to cihly klasického formátu; základním rozměr je 290x140x65 mm. Objemová hmotnost zdiva je 1800 kg/m³. Skladebné rozměry konstrukcí jsou v násobcích 150 mm. Nejmenší tloušťka zdiva pro nosné konstrukce je 300 mm.
- Cihly pálené voštinové - Mají základní rozměr 290x140x65 mm. Objemová hmotnost zdiva je 1300 kg/m³.
- Cihly děrované metrické - Mají základní rozměr 240x115x113 mm. Objemová hmotnost zdiva je 1450 kg/m³. Skladebné rozměry konstrukcí jsou v násobcích 125 mm.
- Cihly vápenopískové plné - Mají základní rozměr 290x140x65mm (nebo 240x115x72 mm). Objemová hmotnost zdiva je 200 kg/m³ (15).

Tvárníkové zdivo

Po zpřísnění tepelně technických požadavků na obvodové konstrukce se začaly používat efektivnější konstrukční materiály – tvárnice s odlišným tvarem, většími rozměry a lepšími tepelně izolačními vlastnostmi. Podle revidované normy ČSN 73 0540-2 se zvýšil požadavek na tepelný odpor obvodových konstrukcí na $R=2,46$ [m^2K/W]. Tomuto požadavku vyhovují tvárnice (bloky), které jsou vylehčeny dutinami nebo ve hmotě. Pro nosné zdivo jsou určeny tvárnice keramické nebo tvárnice z lehčených betonů (15).

Keramické tvárnice

V současnosti se používá nová generace tvárnic (např. Porotherm, Kintherm, Supertherm), vyráběných v rozměrových řadách pro jednovrstvé nosné zdivo. Vedle základních prvků jsou dostupné i prvky doplňkové (tvárnice poloviční, koncové a jiné). Maltová vrstva v ložné případně i styčné spáře snižuje tepelně izolační vlastnosti zdiva – ve spárách mezi tvárnicemi vznikají tepelné mosty. Proto se styčné spáry vyplňují maltou jenom zčásti, a v ložných spárách se provádí přerušované maltové lože. Tepelné mosty v maltovém loži může odstranit také speciální malta vylehčená perlitem (15).

Tvárnice z lehkých betonů

Nejvíce se používají pórobetonové tvárnice (Hebel, NSM, Ytong), vyráběné v různých pevnostních třídách. Tyto výrobky mají vysokou přesnost; ve styčných spárách se mohou spojovat "nasucho" bez malty nebo na pero a drážku. Přesné kalibrované tvárnice lze slepovat tmelem (tloušťka ložné spáry 1 až 3 mm). Malá objemová hmotnost pórobetonu (500 až 1000 kg/m³) umožňuje používat tvárnice velkorozměrové, což urychluje zdění. Pórobetonové výrobky lze snadno opracovat a rozměrově přizpůsobit. Nevýhodou je jejich vysoká nasákavost, proto se bez vhodné povrchové úpravy nesmějí používat pro konstrukce vystavené vlhkosti. Poměrně malá pevnost v tlaku omezuje jejich použití na objekty nízkopodlažní (15).

4.3.2 Betonové konstrukce

Beton je kompozitní materiál složený z kameniva (šterku a písku) a spojený tmelem, vzniklým hydratací cementu. Strukturu betonu tvoří prostorová kostra z hrubého kameniva (šterku), jejíž mezery vyplňují zrna jemného kameniva (písku) a cementový tmel. Touto strukturou prostupují mikropóry a kapiláry obsahující chemicky nevázanou vodu,

vodní páru a vzduch. Během tvrdnutí betonu se množství vody mění, v závislosti na postupující hydrataci a vlhkosti prostředí. Voda chemicky reaguje s částicemi cementu, nepotřebná záměšová voda se odpařuje do okolí. S tím souvisí také proces smršťování a dotvarování betonu (16).

Z hlediska využití betonu ve stavební praxi jsou jeho nejdůležitějšími vlastnostmi: pevnost (odolnost proti účinkům zatížení) a přetvárnost (schopnost přetvoření při účinku zatížení). Na tyto vlastnosti má vliv nejen složení betonové směsi, ale také způsob výroby, doprava, zpracování a ošetřování betonu (16).

Základní vlastnosti betonu jsou následující:

- Velká pevnost v tlaku - běžně až 60 MPa, u vysokopevnostních betonů okolo 120 MPa, u ultra vysokopevnostních betonů nad 120 MPa.
- Malá pevnost v tahu - zhruba desetina až patnáctina pevnosti tlakové. Aby nevznikaly trhliny v tažených oblastech, vyztužují se tyto oblasti výztuží.
- Křehkost - beton není schopen velkých deformací.
- Trvanlivost - v neagresivním prostředí je beton trvanlivý ve vzduchu i ve vodě a odolává mechanickému opotřebení. Je nutné ho chránit před účinky chemikálií a prosakující vody
- Ohnivzdornost - beton má velmi dobrou požární odolnost (16).

Podle technologie výroby se nosné betonové konstrukce člení na:

- Systémy monolitické (železobetonové, z předpjatého betonu) - umožňují velkou variabilitu tvarů a polohy nosných prvků v půdoryse. Výztuž a betonová směs se zde ukládají do předem připraveného bednění, dochází k účinnému propojení svislých a vodorovných nosných konstrukcí, styky nosných prvků mají značnou tuhost (14).
- Systémy prefabrikované - jsou sestavovány na stavbě z předem vyrobených celoplošných nebo tyčových dílců. Předností těchto systémů je úspora materiálu a spolehlivé mechanické vlastnosti (vysoká únosnost, jakost betonu, přesná poloha výztuže). Problémem je určení statických vlastností na styku nosných dílců, jejich výpočet, návrh a realizace (14).
- Systémy prefamonolitické - kombinují vlastnosti obou výše uvedených systémů. Prefabrikáty tvoří část nosných prvků a mají také funkci ztraceného bednění. Tyto

prefabrikované prvky se zabetonují monolitickým betonem. Důležité je omezit vznik trhlin způsobených odlišným smršťováním betonů různých vlastností a stáří (14).

Ztracené bednění

Součástí betonové konstrukce může být trvale zabudované bednění (ztracené bednění). Může tvořit povrchovou úpravu konstrukce, plnit nosnou funkci, zabezpečovat vodotěsnost. Používá se zejména v případech, kdy po provedení betonové konstrukce není bednění přístupné pro odstranění. Jako ztracené bednění se používají:

- betonové, keramické a jiné obkladové dílce;
- profilované ocelové plechy;
- železobetonové tenkostěnné desky s nosnou výztuží;
- ocelové síťoviny a ocelové trouby (sloupy);
- dílce a tvárnice, které po vyplnění betonem vytvářejí sendvičové konstrukce (17).

4.3.3 Kovové konstrukce

Ocel se při stavbě budov používá v mnoha podobách. Využíváme ocelové kotvící i nosné prvky, z ocele může být schodiště nebo balkón, ale i konstrukce střechy nebo celé budovy: výrobních hal, skladů, velkých komerčních budov, výškových bytových domů, dokonce i rodinného domu (13).

Ocelové konstrukce mohou být sestavené z tyčových nebo plošných prvků. Podle způsobu namáhání rozlišujeme tlačené a tažené pruty, ohýbané a kroucené nosníky, nebo jejich kombinace. Ocelové konstrukce jsou spojovány konstrukčně (svary, šrouby a nýty) nebo staticky (klouby a vetknutím) (13).

Plnostěnné nosníky se používají válcované, svařované a prolamované. Jsou však těžké a neekonomické, proto jsou rozšířenější nosníky příhradové. Dosahuje se tak nižší spotřeby materiálu a nižší hmotnosti. Jejich realizace a údržba je však pracnější. Nosníky dále členíme na rovinné a prostorové. Styčníky příhradových konstrukcí lze realizovat z otevřených profilů anebo z trubek (13).

Hospodárným řešením jsou tenkostěnné konstrukce, jejichž stěny mohou být volné nebo vyztužené. Dále se používají konstrukce spřažené, u kterých dochází ke spolupůsobení

materiálů, přičemž využíváme jejich výhodných vlastností. Obvyklá je například kombinace (spřažení) oceli a betonu. Používají se tlačené prvky (ocelový plášť a betonové jádro) nebo ohýbané prvky (betonová část odolává tlaku, ocelová tahu) (13).

Nevýhodou oceli je její nízká požární odolnost, přičemž za zvýšené teploty dochází u oceli k mechanickým změnám. Vlivem tepelné roztažnosti vzniká napětí, pokud je bráněno dilataci. Účinnou ochranou jsou izolace, které zabraňují přístupu tepla k oceli. Používají se omítky sádrovermikulitové, sádroperlitové a vápenné, obklady z anorganických hmot (sádroperlitové, perlitbetonové, sádrové, sádrokartonové), obezdívky, zpěňující nátěry a tmely (13).

4.3.4 Dřevěné konstrukce

Dřevo pro stavební konstrukce musí splňovat normami předepsané požadavky na minimální pevnost, tuhost atd. Vlhkost dřeva se obvykle předepisuje podle jeho použití v konstrukci (například dřevěné prvky lepené mohou mít vlhkost nejvýše 15 %, dřevěné prvky spojované hřebíky nejvýše 20%).

Podle tvaru příčného řezu se stavební dřevo člení na:

- deskové řezivo (prkna, fošny)
- hraněné řezivo (hranoly a latě)
- polohraněné řezivo
- výřezy pro stavební účely (sloupy, piloty apod.) (18).

Z hlediska jakosti se na dřevěné konstrukce nebo nosné prvky musí používat dřevo zvlášť vybrané pro tento účel. Pro vizuální třídění jehličnatého řeziva platí ČSN 73 2824-1, podle které se rozlišují následující třídy:

- třída S 13: řezivo vysoké pevnosti
- třída S 10: řezivo normální pevnosti
- třída S 7: řezivo nízké pevnosti (18).

Dřevěné rámové konstrukce

Jsou realizovány na bázi dřevěných ráků. Nosná konstrukce je vytvořena z dřevěných stojek a sloupků, spojených nahoře paždíkem (horním prahem) a dole pražcem (dolním prahem) do pevného rámu. Ztužení rámu zajišťují zpravidla velkoformátové desky. Dřevěné rámové konstrukce se vyznačují malými průřezy dřevěných profilů a malou

vzdáleností nosných stojek (nejčastěji 400, 600, 625 mm). Z ekonomického hlediska patří dřevěné rámové konstrukce mezi levnější varianty. Finální úprava stěn se provádí obkladem z palubek nebo fošen. Pokud má objekt působit dojmem zděné stavby, provádí se finální povrchová úprava štukovou omítkou nebo lícovými cihlami (19).

Dřevěné panelové konstrukce

Od rámových konstrukcí se liší ve výrobním procesu, kde je v maximální možné míře uplatňován princip prefabrikace. Základním prvkem této konstrukce je dřevěný rám, který je nahrubo opláštěn a přizpůsoben svému umístění ve stavbě (obvodová stěna, strop, podlaha). Tomuto umístění jsou také přizpůsobeny rozměry prvků. Komplexní výroba dřevěných panelů probíhá s různými druhy povrchové úpravy (opláštění z jedné strany, panely se zabudovanými dveřmi a okny, panely se zabudovanými rozvody apod.). Panely se provádějí v běžných rozměrech (1200 x 2600 mm) nebo jako celostěnové panely (až dvanáctimetrové) – zde je již nutná těžká mechanizace pro přepravu i montáž (19).

Dřevěné skeletové konstrukce

Skládají se z podpěr, nosníků (nejčastěji z lepeného dřeva) a výztužných prvků. Podpěry (sloupy) bývají umístěny zpravidla v osové vzdálenosti 3 až 6 metrů na celou výšku podlaží, mezi nimi jsou umístěny nosníky. Výplň skeletu je tvořena podobně jako u dřevěných konstrukcí rámových a panelových. Výhodou skeletových konstrukcí je, že není nutné členit vnitřní prostor nosnými prvky.

Další vlastnosti jsou:

- stěny a nosný skelet jsou vzájemně nezávislé
- spoje jsou většinou řešeny pomocí ocelových prvků
- dřevěný skelet může být viditelný (z interiéru či exteriéru) nebo zakrytý
- volnost při řešení půdorysu (19).

Dřevěné roubené konstrukce

Současné roubené stavby se postupem zhotovení odlišují od historických roubených staveb, kde se uplatňovalo pouhé skládání kmenů. V současnosti se jedná o rámové dvouplášťové konstrukce, které mají ze strany exteriéru tradiční vzhled a ze strany interiéru využívají aplikaci velkoformátových desek, obkladů apod. Princip roubení spočívá

v kladení neopracovaných kmenů nebo hraněných (polohraněných) trámů na sebe ve vodorovném směru. Jako materiál se nejčastěji používá jehličnaté dřevo (smrk). Ochrana dřeva se docíluje impregnací a nátěry. Stabilita konstrukce je zajištěna převázáním prvků v rozích (vazba pomocí přesahů, přeplátování apod.) (19).

4.4 Tepelněizolační materiály

Za tepelně izolační materiály považujeme ty, které mají součinitel tepelné vodivosti λ menší než 0,15 W/(mK). Tepelně izolační vrstva udržuje požadovaný teplotní stav vnitřního prostředí, brání nežádoucímu úniku tepla z objektu a chrání stavební konstrukce před nepříznivým účinkem teploty (20). Významným tepelným izolantem je vzduch, proto mají tepelně izolační materiály pórovitou nebo vláknitou strukturu.

Existují tyto skupiny tepelně izolačních materiálů:

- anorganické materiály – skelná vlna, minerální vlna, pěnové sklo
- organické materiály přírodní – celulózová vata, dřevní vlákna
- pěnové polymery – expandovaný a extrudovaný polystyren, pěnový polyuretan (20).

Minerální plst'

Minerální plst' se vyrábí tavením jednotlivých surovin, rozvlákňováním taveniny na vlákna a přidáváním přísad pro úpravu vlastností. Existují dvě základní skupiny minerální plsti:

- skleněná vlna – má čistě žlutou barvu; obsahuje křemičitý písek (nebo staré sklo), sodu, dolomit, živec a vápenec;
- minerální (kamenná) vlna – má žlutozelenou barvu; obsahuje hlavně vyvřelé nerosty (čedič, bazalt nebo dolomit) (20).

Minerální plst' má velmi dobré tepelně izolační vlastnosti. Je difuzně propustná (pokud je chráněna před vlhkostí), stabilní a odolná vůči stárnutí a vůči škůdcům. Požární odolnost je vyšší u čedičového vlákna (nad 1000 °C). Skleněná vlákna jsou pružnější než minerální a používá se u nich více pojiva. Minerální vlákna jsou tužší, pevnější a křehčí. Od vlastností je odvozen finální tvar výrobku. Skleněná vlákna jsou dodávána ve formě rolovatelných kobereců, které lze snadno komprimovat. Minerální vlákna jsou dodávána převážně ve tvaru desek, nebo jako foukaná minerální vlna ve formě granulátu (20).

Celulóza

Celulózová vata se vyrábí z odpadového materiálu jeho rozvlákněním a předepsaným chemickým ošetřením. Tvoří ji recyklovaný papír (85 %) a nenavlhající ohnivzdorné materiály (15 %). Ochranu proti vzplanutí zaručují přísady (kyselina boritá a borax), které také poskytují ochranu proti hnilobě, hlodavcům a dalším škůdcům. Celulózovou vatu lze bez ochranných opatření použít v prostředí se vzdušnou vlhkostí do 60 %. Aplikuje se foukáním nebo mokrým procesem. Používá se také ve formě desek zesílených jutovými vlákny (20).

Dřevní vlákna

Dřevní vlákna ve formě upraveného dřevitého odpadu (hoblíny vzniklé při strojním zpracování převážně jehličnatého dřeva) se modifikují procesem mineralizace za použití anorganických pojiv (nejlépe cementovou kaší), kdy dojde k přeměně pórovité struktury výchozího materiálu. Ve srovnání s foukanou celulózovou vatou mají dřevní vlákna vyšší hodnotu tepelné kapacity $c=1560 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$. Z požárního hlediska se jedná o zápalný materiál. Foukaná dřevní vlákna lze bez ochranných opatření použít v prostředí se vzdušnou vlhkostí do 60 %. Často bývají součástí skladeb difuzně otevřených konstrukcí (20).

Expandovaný pěnový polystyren

Expandovaný pěnový polystyren (EPS) je hlavním představitelem pěnových polymerů. Jedná se o tuhý lehčený materiál s pěnovou strukturou, obsahující až 98 % vzduchu uzavřeného v drobných buňkách napěněné hmoty. Mezi důležité příznivé vlastnosti EPS patří: zdravotní nezávadnost, snadné pokládání, snadná opracovatelnost, odolnost proti všem ve vodě rozpustným látkám. Nevýhodou EPS je, že neodolává organickým rozpouštědlům, má poměrně vysoký koeficient lineární teplotní roztažnosti ($\alpha = 0,05$ až $0,07 \text{ K}^{-1}$), dále je nevýhodný z hlediska akustiky a difúze vodních par (20).

Extrudovaný polystyren

Extrudovaný polystyren (XPS) je jiným typem pěnového polystyrenu, vyráběným odlišnou technologií – protlačováním suroviny ve speciálním tunelu (extrudéru). Na rozdíl od EPS má uzavřenou buněčnou strukturu, což podstatně snižuje jeho tepelnou vodivost a nasákavost; díky struktuře má také minimální kapilaritu. Podobně jako EPS má XPS

tyto výhodné vlastnosti: je zdravotně nezávadný, snadno se pokládá a opracovává, odolává všem ve vodě rozpustným látkám. Avšak XPS (podobně jako EPS) neodolává organickým rozpouštědlům, takže není kompatibilní s hydroizolačními fóliemi na bázi měkčeného PVC (20).

4.5 Povrchová úprava

Vnější povrchová úprava slouží především k ochraně konstrukcí před nepříznivými vlivy počasí. Zajišťuje, aby se voda a nečistoty nedostaly dovnitř konstrukce a ta následně nedegradovala. Vnitřní úpravy povrchů mají převážně dekorativní funkci.

4.5.1 Omítky

Omítka je jednovrstvá nebo vícevrstvá úprava stěn a stropů. Má estetickou funkci (ovlivňuje konečný vzhled povrchu), a zároveň musí splňovat stavebně-fyzikální nároky stavby. Omítka vzniká zatvrdnutím maltové směsi, která má tři hlavní součásti: plniva, pojiva a speciální přísady. Pro členění omítek podle složení je hlavním kritériem pojivo.

Rozlišujeme omítky:

- na bázi minerálního pojiva: omítky vápenné, cementové, vápenocementové, sádrové, vápenosádrové a hliněné.
- na bázi organického pojiva: omítky silikonové, akrylátové a silikátové (21).

Dobře provedená omítková vrstva chrání fasádu před atmosférickými vlivy, zajišťuje trvanlivost zdiva a svojí strukturou a barvou dotváří vzhled budovy. Pro povrchové úpravy fasád nejsou vhodné omítky sádrové, vápenosádrové a hliněné, které nejsou dostatečně odolné vůči atmosférickým vlivům (22).

Cementové, vápenocementové a vápenné omítky

Plnivo tvoří písek, kamenná drť, kamenná moučka a jiné látky. Dalšími složkami mohou být přísady (do 5 % hmotnosti pojiva) a příměsi (5 až 15 % hmotnosti pojiva), které zlepšují vlastnosti omítkových směsí – vodotěsnost, probarvení, odolnost proti tvorbě plísní apod. Tyto omítkové směsi se vyrábějí průmyslovým způsobem ve stálých výrobnách. Na stavbu jsou dodávány buď v suché formě (pytlované nebo volně ložené) nebo ve formě disperzní ve kbelících (22).

Akrylátové omítky

Akrylátové omítky jsou nejrozšířenějším druhem tenkovrstvých ušlechtilých omítek. Jsou dodávány ve kbelcích. Pojivem těchto omítek je akrylátová nebo styren-akrylátová disperze, která se rozmíchává s vodou ve stanoveném poměru. Spolu s dalšími přísadami, jemnými plnivými a vodou vytváří kaši, schopnou pojít hrubší kamenivo, a tak vytvářet strukturu omítky. Vhodná skladba kameniva ovlivňuje výsledný estetický vzhled. Obvyklé jsou dva typy těchto omítek: škrábaná a rýhovaná. Škrábané struktury se docílí plynulou zrnitostí – skladbou kameniva od 0,5 do 3,0 mm; mezery mezi těsně uspořádanými většími zrny vyplňují zrna menší. Rýhované omítky jsou zhotoveny ze směsi kameniva s přerušovanou zrnitostí; maximální zrno bývá 2,0 nebo 3,0 mm; zrna střední velikosti chybí (22).

Silikátové omítky

Silikátové omítky jsou tenkovrstvé ušlechtilé omítky podobné akrylátovým. Jejich hlavním pojivem je draselné vodní sklo. Působením vzdušného oxidu uhličitého a vysycháním se vylučuje gel oxidu křemičitého, což umožňuje samovolné tuhnutí omítkové směsi. Tyto omítky obsahují ještě doplňkové organické pojivo, které po dobu skladování stabilizuje vodní sklo a po vyžrání omítky snižuje křehkost hlavního pojiva. Silikátové omítky se vyznačují vysokou životností. Dodávají se v pastovité formě ve kbelcích o hmotnosti 30 kg. Vyrábějí se ve struktuře škrábané i rýhované. Při aplikaci je nutné dodržet předepsané podmínky a postup, aby se zaručil vzhled a životnost provedených povrchových úprav (22).

Silikonové omítky

Silikonové omítky obsahují jako pojivo silikonovou pryskyřici, což způsobuje jejich vnitřní hydrofobizaci. Jsou méně náročné na dodržení podmínek při nanášení a vyznačují se vysokou propustností vodních par. Provádějí se jako rýhované i škrábané, s velikostí zrna 1 až 3 mm. Provedená povrchová úprava má velmi dobrou odolnost proti zašpinění. Prach ulpívající na povrchu může být snadno splavován deštěm (22).

4.5.2 Fasádní nátěry

Exteriérové stěny budov opatřené omítkou je nutné v co nejkratším čase po jejím vyžrání vybavit konečným nátěrem. Funkce takového nátěru není pouze estetická, ale především

ochranná. Nátěr chrání vrstvu omítky před nadměrným průsakem vody a vlhkosti do struktury omítky. Některé nátěrové hmoty navíc obsahují aditiva, která působí antibakteriálně (23).

Vápenné nátěry

V minulosti patřily k nejpobulárnějším, protože jejich zpracování nevyžadovalo složitou technologii a příprava nátěrové hmoty se mohla provádět přímo na staveništi. Nátěr však snadno absorboval vzdušnou vlhkost a v důsledku toho se snadno odlupoval. Také jeho probarvování bylo obtížné, protože díky příliš zásaditému pH vápenného roztoku docházelo k poškozování organických pigmentů. Dnes se vápenný nátěr používá zřídka, například při rekonstrukcích historických budov (23).

Akrylové nátěry

Mezi nejvýznamnější přednosti akrylátových nátěrů patří velmi nenáročná aplikace, rozsáhlé možnosti tónování odstínů, možnost použití na převážnou většinu omítek a povrchů, výhodou je také příznivá cena. Akrylátové nátěry mají nižší propustnost vodních par, takže mohou být preferovány tam, kde je třeba zabránit prostupu alkálií, vody a CO₂ do betonových konstrukcí a předejít tak korozi výztuh (23).

Silikonové nátěry

Dodávají se spolu se silikonovým penetračním roztokem, jehož úkolem je vyplnit kapilární póry omítky do potřebné hloubky a spolu s konečným nátěrem zabránit pronikání vody do omítky, například při dešti. Silikonový nátěr je vhodným způsobem ochrany pro stavby situované do prostředí s vysokou mírou srážek, vlhka a teplotních zvrátů. Tento nátěr lze použít na všechny běžné druhy minerálních omítek i betonu. Barevná škála pro pigmentování je podobná jako u akrylátu (23).

4.5.3 Fasádní obklady

Obklady obvodových stěn dotvářejí estetický vzhled objektu a zároveň ho chrání před povětrnostními vlivy. Technologicky lze obklady realizovat mokřým procesem (lepením), suchým procesem (kotvením) nebo jejich kombinací. Podle druhu obkladového materiálu rozlišujeme obklady dřevěné, kamenné, keramické, silikátové, plastové a kovové (15).

Dřevěné obklady

Patří mezi historicky nejdéle používané. Aktuálně jsou na trhu dostupné obklady z deskového řeziva nebo fošen, dále obklady z ušlechtilého dřeva (překližky, vrstvené lisované dřevo, lamelové dřevo apod.) a obklady z aglomerovaného dřeva (desky dřevotřískové, desky dřevovláknité nebo desky sendvičové, desky z dřevité vlny a cementu) (15).

Nejvhodnější jsou tvrdá dřeva (buk, jasan, dub, ořech), která jsou odolnější proti povětrnosti, ale používají se i dřeva měkká (smrk, jedle, borovice) a polotvrdá (modřín). Výhodou dřeva při použití na obklady je snadná opracovatelnost, dobrá montovatelnost, houževnatost a pružnost jednotlivých prvků, jedinečný vzhled a nízké výrobní náklady. K nevýhodám dřeva patří kolísání objemu (sesychání, bobtnání), vysoké udržovací náklady a riziko napadení houbami a hmyzem. Proto se stále častěji používají obklady ze dřeva ušlechtilého nebo aglomerovaného, které mají výhodu v tom, že nevykazují objemové ani tvarové změny. Jsou stálobarevné, dobře se čistí a lze je snadno řezat i vrtat (15).

Kamenné obklady

Využívají přírodní kámen, a to jeho různé druhy:

- tvrdé kameny s tloušťkou 30 mm (žuly, syenity, diority, andezity a ryolity);
- středně tvrdé kameny s tloušťkou 25 mm (mramory, vápence a travertiny);
- měkké kameny s tloušťkou 40 mm (pískovce a trachyty) (15).

Novou technologií kamenných obkladů jsou TF panely (mramorová nebo granitová deska spleená s nosnou voštinovou deskou). Povrchová úprava kamene závisí na jeho vlastnostech na estetických požadavcích – vzhled kamenné plochy může být: lámaný, hrubý, plasticky zvýrazněný, drsný, hladký či leštěný. Výhodou obkladů z přírodního kamene je vysoká pevnost, malá nasákavost, dobrá mrazuvzdornost a trvanlivost. Nevýhodami jsou vysoká hmotnost, malá tepelně izolační schopnost, obtížná opracovatelnost a vysoká cena (15).

Keramické obklady

Jsou to tenkostěnné desky, vyrobené z rozemleté homogenizované směsi jílu, písku, taviciv, barviv a jiných surovin. Tato směs se tvaruje, suší a vypaluje. Keramické obklady

mají pěkný vzhled, zvyšují odolnost konstrukce proti povětrnosti a mechanickému opotřebení, zajišťují hygienické parametry konstrukce a pomáhají udržovat povrch čistý (15).

Výhodou montovaných keramických obkladů je, že umožňují eliminovat tvarové změny v konstrukci obvodového pláště. Vytvořením odvětrané vzduchové mezery zabezpečíme vhodný vlhkostní režim v obvodové konstrukci a použitím dekorativních předsazených prvků zlepšíme ochranu objektu před slunečním zářením (15).

Plastové obklady

Vyrábějí se z tvrzeného polyvinylchloridu, z polyesterových laminátů zpevněných skleněným vláknem nebo z polymethylmetakrylátu. Chceme-li zlepšit tepelně izolační vlastnosti obkladů, můžeme plastové profily vyplnit tepelně izolačním materiálem (polyuretanovou pěnou) (15).

K výhodám plastů patří dobrá pevnost při malé hmotnosti, různorodost barevného povrchu, dobré tepelně izolační vlastnosti, vysoká životnost, odolnost proti povětrnosti, snadné tvarování obkladových prvků a minimální údržba. Nevýhodou plastových obkladů je hořlavost a velká tepelně objemová roztažnost (15).

5 Teorie rozhodování – Vícekriteriální analýza

Základní prvky rozhodování jsou cíl, kritéria, subjekt, objekt, varianty rozhodování a jejich důsledky a stavy světa. Rozhodovací procesy dělíme například na dobře a špatně strukturované. Dle situace probíhají rozhodovací procesy za jistoty, rizika anebo nejistoty. Dále pak dělíme procesy na jednokriteriální a vícekriteriální (24).

V prvotní fázi rozhodovacích procesů si musíme definovat, k čemu naše rozhodovací analýza povede, jaký je její účel. Může se jednat o dílčí cíle, jako například volba nejvhodnějšího materiálu, zvýšení zisku, zlepšení spokojenosti zaměstnanců či volba nejvhodnější dopravy materiálu z jedné strany světa na druhou. Jednotlivé dílčí cíle se mezi sebou mohou podporovat a doplňovat, a tak mezi nimi vznikají vazby, což nazýváme komplementarita dílčích cílů. Například volba nejvhodnější dopravy, materiálu či realizační firmy může celkově vézt ke snížení nákladů na realizaci projektu. Mezi dílčími cíli však mohou vzniknout cíle konfliktní. Chci-li ušetřit na materiálu, mohu snížit jeho kvalitu, ušetřit náklady, ale mohu tím snížit spokojenost zákazníků s výsledným produktem.

Výsledné cíle rozhodovacích procesů můžeme prezentovat čísly – kvantitativní cíle (např. zvýšení výroby na určité množství), nebo slovním popisem – kvalitativní cíle (např. zvýšení spokojenosti zákazníků) (3).

Cíle, kterých se má v řešeném rozhodovacím problému docílit, využijeme pro stanovení kritérií hodnocení. Definovaná kritéria slouží k porovnání vlastností jednotlivých variant řešení, zdali daná variantní řešení vyhovují stanoveným cílům.

„Soubor kritérií má být úplný. Každé kritérium musí mít jasný a jednoznačný smysl, musí být srozumitelné a měřitelné. Jednotlivá kritéria se nesmí překrývat (pokud jsou kritéria duplicitní, vchází hodnocený aspekt do hodnocení dvakrát a má tudíž dvojnásobnou váhu). Pro přehlednost vyhodnocení je požadován minimální počet kritérií, nesmí být ale narušena úplnost souboru kritérií. Pokud se hodnocení variant v určitém kritériu liší jen velmi málo, lze toto kritérium vypustit jako redundantní. Redukovat lze i dvojice kritérií podobného obsahu. Soubor kritérií musí zabezpečovat hodnocení variant ze všech podstatných hledisek. Pro výstižný výsledek rozhodovacího procesu je zadání, jakými

rozhodovacími kritérii je popsán. Proces vytváření souboru kritérií je subjektivním tvůrčím procesem, na kterém se podílejí odborníci různých odborností podle druhu hodnoceného předmětu.“ (24)

5.1 Vícekriteriální analýza

Principem vícekriteriální analýzy je matematické modelování. Nicméně se nejedná o složitou matematiku. Výklad této problematiky je nicméně silně rigorózní a odrazuje tak od využití, při náročném rozhodování. Určité části, zejména vícekriteriální hodnocení variant, jsou snadno pochopitelné bez hlubších matematických znalostí (25).

Cílem analýzy je dojít k rozhodnutí, které je založeno na validních datech. Tedy ze seznamu v dané situaci potenciálně realizovatelných variant je zvolena jedna na základě vyhodnocení většího množství kritérií (26).

5.1.1 Stanovení kritérií

Pro možnost vytvoření rozhodovací analýzy je třeba mít zaprvé seznam kritérií, které vysvětlující a formují cíl rozhodovací analýzy (25). Kritéria se určují na základě cílů, kterých se má řešením rozhodovacího problému dosáhnout. Kritéria zobrazují stupeň splnění cílů u různých variant řešení. Každému dílčímu cíli odpovídá jedno a více kritérií. Kritéria musí být jasné, jednoznačné, srozumitelné a měřitelné. Kritéria se nesmí překrývat. Proces tvoření souboru kritérií je subjektivní a tvůrčí proces a participují na něm odborníci různých odborností dle druhu hodnoceného předmětu (24). Zároveň je důležité, aby kritérií nebylo příliš mnoho a nestal se tak problém zcela nepřehledným. Kritéria lze členit dle jejich povahy a dle kvantifikovatelnosti (26).

„Dělení podle povahy:

- Kritéria maximalizační, u kterých je nejlepší variantou ta, která má dle daného kritéria nejvyšší hodnotu.*
- Kritéria minimalizační, které jsou přesným opakem kritéria maximalizačního a je tedy zřejmé, že nejlepší varianty v tomto případě budou mít nejnižší hodnotu podle tohoto kritéria.*

Dělení podle kvantifikovatelnosti:

- Kritéria kvantitativní, u tohoto typu kritérií jsou hodnoty variant jasně měřitelné údaje, z toho důvodu se tyto kritéria také jinak nazývají objektivními.*

- *Kritéria kvalitativní, u kritérií kvalitativních není možné hodnoty jednotlivých variant objektivně změřit, často se tedy jedná o hodnoty subjektivně zvolené nebo odhadnuté uživatelem, proto se tato kritéria občas nazývají jako kritéria subjektivní.*“ (26)

5.1.2 Stanovení vah kritérií

Váhy jsou číselným vyjádřením významu a různé důležitosti kritérií. Existuje nespočet metod pro výpočet vah, které se liší výpočetní složitostí, náročností na informace, které je třeba k jejich stanovení získat (24). Příkladem stanovení váhy kritérií může být Saatyho metoda.

Saatyho metoda

Postup této metody je možné rozdělit do dvou kroků. V prvním kroku se užije metoda párového porovnání, tedy zjistí se preferenční vztahy mezi dvojicemi kritérií. Dále se udává také velikost této preference vyjádřené přiřazeným počtem bodů z předem vybrané bodové stupnice (24).

Pro vytváření matice párových porovnání $S = (s_{ij})$ kdy $i, j = 1, 2, \dots, k$, se užívá konečná stupnice 1, 2, ..., 9 a reciproké hodnoty. Jednotlivé prvky matice jsou odhady podílu vah kritérií - i-tého a j-tého kritéria (25).

$$s_{ij} \approx \frac{v_i}{v_j} ; i, j = 1, 2, \dots, k$$

Tato matice se nazývá Saatyho matice.

Rozsah stupnice je zvolen dle okolností a všechny prvky by měly být ve stejném řádu.

Příkladem vhodné verbální stupnice může být následující:

„1 – rovnocenná kritéria i a j

3 – slabě preferované kritérium i před j

5 – silně preferované kritérium i před j

7 – velmi silně preferované kritérium i před j

9 – absolutně preferované kritérium i před j

Hodnoty 2, 4, 6, 8 jsou takzvanými mezistupni.“ (25)

Řekněme, že jsme již definovali kritéria f_1, f_2, \dots, f_k , vzájemně jsme je porovnali sestavným párovým porovnáním $S = (s_{ij})$, při $i, j = 1, 2, \dots, k$. Dalším krokem je zjištění způsobu, jakým se budou z matice párových porovnání odvozovat váhy kritérií. Vektor hodnot budeme značit $v = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ (25).

Matice obsahuje data, které uživatel o vztahu dvojic usoudil. Prvek s_{ij} lze interpretovat jako poměr důležitosti prvků f_i a f_j . Z výše zmíněného plynou vlastnosti prvků této matice:

- „prvky na diagonále $s_{ii} = 1$ při $i = 1, 2, \dots, k$
- matice S je reciproční matice – platí tedy: $s_{ij} = 1/s_{ji}$

Matice S můžeme tedy zapsat následovně:“ (25)

$$\begin{matrix} & f_1 & f_2 & \dots & f_k \\ f_1 & \left[\begin{array}{cccc} 1 & s_{12} & \dots & s_{1k} \\ 1/s_{12} & 1 & \dots & s_{2k} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 1/s_{1k} & 1/s_{2k} & \dots & 1 \end{array} \right] \end{matrix}$$

Následným postupem je poté určení vah kritérií ze zadané matice S . Tento způsob určení vah spočívá ve výpočtu geometrického průměru každého řádku dané matice (25).

$$g_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k s_{ij}}; \quad i, j = 1, 2, \dots, k$$

Následuje normalizace daných vah, tak, aby byla splněna podmínka:

$$\sum_{i=1}^k v_i = 1; \quad v_i \geq 0$$

Normalizovat lze například jednoduchým vztahem, uvedeným níže.

$$v_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^k g_i}; \quad i, j = 1, 2, \dots, k \quad (25)$$

5.1.3 Další postup vícekritériální analýzy

Po splnění výběru validních kritérií je za třeba vytvořit množinu (seznam) možností, ze kterých se finální rozhodnutí bude vybírat. Protože je spíše výjimečné mít k dispozici předem striktně daný seznam potenciálních variant, je dobré zmínit, že seznam může být

uveden explicitně (výčet konečného počtu možností) ale i implicitně – tedy udáním podmínek, které musí varianty splňovat, aby se daly považovat za přípustnou. Důležitým faktem je, že do všech etap analýzy vstupují subjektivní vlivy, studium mínění expertů nebo vlivy zadavatelů (25).

Dalším krokem je poté uvážení formy, kterou má výsledné rozhodnutí mít. Pokud musíme vybrat pouze jednu ideální později realizovanou variantu je třeba si uvědomit, že z dat, které nejsou dostatečně spolehlivá a obsažná chceme získat něco, co v nich jistě není plně obsaženo. Speciálním případem je pak seřazení rozhodovacích variant dle míry jejich souladu s variantou optimální (25).

6 Vícekriteriální analýza skladeb svislých obvodových plášťů rodinných domů v pasivním standardu

Obvodový plášť budovy je nejdůležitější částí stavby. Skládá se ze svislých obvodových stěn, střechy, podlahy a výplní otvorů. Určuje nám, jak kvalitní bude vnitřní prostředí, které ovlivňuje naši psychickou pohodu. Nejvíce nám ovlivňuje množství tepla na vytápění dodávané v chladných obdobích, kterým musíme kompenzovat tepelné ztráty prostupem tepla obvodovým pláštěm budovy a větráním. To má také vliv na volbu technologií pro vytápění, větrání, rekuperaci a další technologie. Čím menší tepelné ztráty, tím bude menší potřeba tepla na vytápění.

Problém nastává při volbě, jaký typ obvodového pláště vybrat. Obvodový plášť musí splnit požadované normy, které jsou k dnešní situaci s ubývajícím materiálem, kvalitními technologiemi i stavebními prvky a zvýšenými požadavky na úspory a ochranu životního prostředí velmi mírné a nedosahují ani požadavků na nízkoenergetické domy. Proto se lidé v dnešní době více ohlížejí po domech v pasivním standardu, který má vysoké požadavky na snižování potřeby tepla na vytápění, spotřebu primární energie na provoz budovy a v neposlední řadě i zvyšující tlak na ochranu životního prostředí, který má za cíl snížení spotřeby energií při výrobě stavebních materiálů.

V této části práce se věnuji porovnání typů konstrukcí svislých obvodových plášťů pro rodinné domy v pasivním standardu pomocí vícekriteriální analýzy s využitím metody kvantitativního párového srovnávání kritérií, tzv. Saatyho metodou. Pro tento účel jsem zvolil modelový rodinný dům, na jehož svislou konstrukci aplikuji několik vybraných variant skladeb obvodových konstrukcí. Ty byly vybrány či navrženy tak, aby byly zastoupeny různé typologie svislých konstrukcí a různé spektrum nejčastěji používaných stavebních materiálů.

Jelikož předmětem analýzy jsou pouze svislé obvodové pláště, tak pro výpočty každé modelové konstrukce uvažuji stejné rozměry základové desky, stejné rozměry a typ výplňových konstrukcí (okna, dveře), stejnou skladbu podlahy a střechy i orientaci budovy.

6.1 Modelová situace

Modelový rodinný dům bude je navržen na místě staršího domu určeného pro přestavbu. Ten se nachází v Rožmitále pod Třemšínem ve Středočeském kraji. Město leží v okrese Příbram nedaleko pohoří Brdy v nadmořské výšce 519 m.n.m. (27). Původní rodinný dům byl navržen a postaven v roce 1928, ale kvůli nevyhovujícímu stavu konstrukcí bude zbourán a na jeho místě o stejných půdorysných rozměrech bude navržen dům nový v pasivním standardu.

Modelový dům je navržen s dvěma nadzemními podlažími o půdorysných rozměrech základové desky 11 x 9,05 m a výšky stěny budovy od základové desky 6 m. Stavba je založena na základových pasech se základovou deskou přilehlou k zemině. Soklová část stavby je izolována pomocí XPS do nezámrazné hloubky. Vytápění a ohřev vody bude zajišťovat rekuperace a tepelné čerpadlo. Dům bude napojen na vodovodní řad, elektrickou a plynovou přípojku.

Skladba podlahy na základové desce je tvořena extrudovaným polystyrénem Bachl XPS 300 SF tl. 280 mm a anhydritovým potěrem s podlahovým vytápěním tl. 55mm . Povrchová úprava není ve výpočtu uvažována. Součinitel prostupu tepla skladby podlahy je $U = 0,125 \text{ [W/m}^2\text{K]}$.

Skladbu střechy tvoří nosná část ze složeného panelu CLT tl. 40 mm, vzduchová mezera s I nosníky STEICO vyplněná foukanou celulózou STEICO Zell tl. 300 mm uzavřenou druhým CLT panelem tl. 40 mm. Další vrstvu tvoří hydroizolace a střešní polystyren EPS 100 tl. 100 mm. Součinitel prostupu tepla skladby střechy je $U = 0,11 \text{ [W/m}^2\text{K]}$.

Pro výplně otvorů jsou navržena dřevěná okna s izolačním trojsklem VEKRA Natura 94 se součinitelem prostupem tepla $U_w = 0,7 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ (28) a vchodovými dveřmi $U_d = 1,0 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ (29). Plochy otvorů a jejich orientace vůči světovým stranám jsou uvedeny v tabulce (Plochy stěn, výplní otvorů a jejich světová orientace) níže.

	Výška od ZD k stropu střechy	Plocha Stěny Východ	Plocha stěny Jih	Plocha stěny Západ	Plocha stěny Sever	Dveře Plocha Východ	Otvory Plocha Východ	Otvory Plocha Jih	Otvory Plocha Západ	Otvory Plocha Sever
Skladba 1 - ISOCELL PASSIVE PLUS	6,00	59,34	46,74	56,94	54,54	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 2 - ŽB prefa panel ALPH	6,00	61,50	48,90	59,10	56,70	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 3 - Sendvičový panel VESPERHOMES	6,00	59,25	46,65	56,85	54,45	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 4 - YTONG YQ 550	6,00	59,10	46,50	56,70	54,30	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 5 - PTH 25 AKU Z Profi + Isover EPS Greywall Plus	6,00	60,54	47,94	58,14	55,74	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 6 - PTH 25 AKU Z Profi + Skelná vata Isover TF Profi	6,00	61,02	48,42	58,62	56,22	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 7 - Cihla Porotherm 50 T Profi	6,00	59,70	47,10	57,30	54,90	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 8 - NOVATOP CLT Panely	6,00	61,26	48,66	58,86	56,46	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20
Skladba 9 - SILKA 17,5+ ISOVER EPS G	6,00	61,02	48,42	58,62	56,22	2,10	6,00	9,00	10,50	1,20

Tabulka 1 - Plochy stěn, výplní otvorů a jejich světová orientace

Zdroj: vlastní tvorba

6.2 Definice kritérií

Kritérií pro porovnání stavebních konstrukcí je mnoho. Odvíjí se od technických, technologických a normových požadavků. Jako nejdůležitější jsem pro posouzení konstrukcí stěn obvodových pláštěů zvolil cenu, součinitel prostupu tepla U, měrnou potřebu tepla na vytápění, spotřebu svázané energie materiálů a posledním je celková vnitřní plocha budovy.

1. K1 - Cena

Cena je v dnešní době velmi významné kritérium. V tomto období navíc ceny materiálů velmi výrazně rostou. Ve veřejném sektoru bývá při splnění zadaných podmínek projektu považována jako hlavní kritérium. U soukromého sektoru mohou hrát stejnou či důležitější roli i jiná kritéria, například kritéria pro získání financí z dotačních programů (např. Nová zelená úsporám), které zvyšují požadavky na konstrukci a tím často i cenu konstrukce.

Navržené skladby konstrukcí budeme hodnotit dle ceny na 1 m². Ceny jsou uvedeny dle interního ceníku stavební firmy Trigema Building a.s. Ceny jsou uvedeny v příloze č. 1 – Rozpočet. Čím nižší hodnota ceny skladby na 1 m² konstrukce, tím lepší.

2. K2 - Součinitel prostupu tepla konstrukce U

Součinitel prostupu tepla konstrukcí U je důležité kritérium vzhledem k normovým požadavkům, a především k tepelným ztrátám a následující spotřebě energie na vytápění. Passive House Institute v Rakousku uvádí pro stěny pasivních domů maximální

horní hranici $U = 0,15$ [W/(m².K)]. Doporučovány jsou hodnoty $U = 0,12$ [W/(m².K)]. Snažíme se tedy o co menší součinitel prostupu tepla konstrukcí U . Hodnoty součinitele byly vypočteny v programu DEKSoft 1D.

3. K3 - Měrná potřeba tepla na vytápění

Měrná potřeba tepla na vytápění se vypočítá poměrem potřeby tepla na vytápění budovy a podělí se celkovou vztažnou plochou všech podlaží. Vztažná plocha je plocha ohraničená vnějším lícem obvodové konstrukce. Čím lepší a kvalitněji provedou obálku budovy postavíme, tím menší bude měrná potřeba tepla na vytápění. Na měrnou potřebu tepla má samozřejmě vliv mnoho věcí – skladba střechy, podlahy, kvalita oken, větrání, details atd. Proto uvažuji stejné prostředí a stejné konstrukce. Při změně jednotlivých svislých konstrukcí můžeme sledovat i změnu potřeby tepla na vytápění. Hodnoty měrné potřeby tepla byly vypočteny v programu DEKSoft ENER.

4. K4 - Spotřeba svázané energie na stavební materiál

Spotřeba svázané energie nám říká, kolik energie bylo spotřebováno na těžbu, dopravu, zpracování, výrobu a likvidaci materiálu použitého pro stavbu (7). Pro výpočet spotřeby svázané energie stavebních materiálů byl využit katalog stavebních materiálů a konstrukcí ENVIMAT, který vychází z mezinárodní databáze Ecoinvent. Envimat svázanou energii udává v jednotce MJ/kg. Hodnotu kritéria svázané energie je přepočtena vahou 1m² posuzované konstrukce. Finální jednotkou je teda MJ/m². Výpočet je dostupný v Příloze 2 - Výpočet svázané energie PEI, emise CO₂ a SO₂. Zde jsou pro zajímavost uvedeny i emise CO₂ a SO₂.

5. K5 - Celková vnitřní plocha

Pro mnoho investorů je důležité získat co největší užitnou plochu pro bydlení či prodej nemovitosti. V tomto kritériu hraje roli tloušťka uložení konstrukce na základové desce. Čím užší bude šířka stěny na základové desce, tím větší vnitřní plochu získáme. V tomto modelovém případě nepočítám s plochou vnitřních příček aj. zařízení. Uvažuji tedy plochu ohraničenou vnitřním lícem obvodové konstrukce.

Př.: Máme postavit místnost na základové desce o rozměrech 5 m x 5 m = 25 m². V jednom případě použijeme pro obvodové zdivo tvárnice o tloušťce 200 mm a ve druhém 300 mm. Plocha tvárnic tl. 200 mm je 3,84 m² a plocha tvárnic tl. 300 mm je 5,64 m². Při použití tvárnic o šířce 200 mm ušetříme 1,84 m² užité plochy místnosti. Výhodnější vzhledem k užité ploše je tedy menší šířka stěny na základové desce.

6.3 Váha kritérií

Váha kritéria říká, jak je dané kritérium a vlastnosti, které prezentují, důležité v porovnání s ostatními kritérii. Váha kritérií byla určena pomocí Saatyho matice – viz Tabulka 2.

		K1	K2	K3	K4	K5	Geom. Průměr	Váha
Cena [Kč]	K1	1	3	3	7	5	3,16	0,46
Součinitel prostupu tepla kce U [W/(m ² .K)]	K2	1/3	1	3	5	3	1,72	0,25
Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² rok]	K3	1/3	1/3	1	5	3	1,11	0,16
Spotřeba svázané energie na stavební materiál [MJ/m ²]	K4	1/7	1/5	1/5	1	1/5	0,26	0,04
Užitná plocha [m ²]	K5	1/5	1/3	1/3	5	1	0,64	0,09
Suma							6,89	1,00

Tabulka 2 - Stanovení vah kritérií - Saatyho matice

Zdroj: Vlastní tvorba

6.4 Definice jednotlivých variant skladeb obvodových konstrukcí

Skladby obvodových konstrukcí byly vybírány na základě prohledávání webových stránek prodejců pasivních domů či výrobců, kteří nejčastěji nabízeli skladby na bázi dřeva. Pro porovnání jsem zvolil konstrukce dřevěné, zděné, betonové, jednovrstvé, dvouvrstvé a vícevrstvé.

6.4.1 Skladba 1 – Difuwall Isocell Passive Plus

Skladba Difuwall Isocell Passive Plus je lehká rámová dřevěná difúzně otevřená konstrukce. Dřevěná rámová konstrukce je příčně ztužena OSB deskami, které zároveň slouží jako parobrzdná vrstva a je důležité veškeré spáry důkladně přelepit (30). Celková tloušťka stěny je 456 mm.

Skladba stěny z INT do EXT:

- Sádrokartonová deska tl. 12,5 mm
- Instalační mezera + laťový rošt – vzduchová mezera vyplněná tep. izolací dřevovláknitou rohoží PAVAFLEX tl. 80 mm
- Deska OSB tl. 18 mm
- Nosná dřevěná rámová kce z masivního smrkového dřeva v profilu 60/240 mm třídy S10 s osovou vzdáleností sloupků max. 625 mm. Mezery mezi nosnými sloupky jsou vyplněny foukanou izolací ISOCELL tl.240 mm
- Dřevovláknitá deska PAVATEX tl. 100 mm
- Vnější termoizolační omítka SUPERTHERM tl. 5 mm (31)

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 3535,00 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,112 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 17,80 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 458,60 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 330,5 mm. Celková vnitřní plocha je 173,50 m²

6.4.2 Skladba 2 – Prefabrikovaný železobetonový panel + grafitový EPS

Prefabrikované montované panely umožňují rychlou výstavbu hrubé stavby bez mokrého procesu. Nutná je však přítomnost dostatečně velkého jeřábu pro montáž panelů a větší nároky jsou kladeny i na dopravu těžkých panelů. Železobetonová konstrukce kvůli větší objemové hmotnosti déle udrží naakumulované teplo ve stěně a tím snižuje potřebu tepla na vytápění. Také se vyznačuje dobrými akustickými vlastnostmi. Díky vysoké pevnosti mohou být nosné stěny relativně úzké a tím zvětšují vnitřní plochu pro užívání. Nevýhodou železobetonových konstrukcí je vysoká tepelná vodivost a tím větší tepelné ztráty. Proto je nutné stěnu velmi dobře zateplit pomocí silnější vrstvy izolačního materiálu. Fasádní grafitový EPS patří mezi izolanty s nejnižším součinitelem prostupu tepla. Velmi dobře se s ním pracuje, má však velmi vysokou spotřebu svázané energie. Celková tloušťka konstrukce je 467 mm.

Skladba stěny i INT do EXT:

- Sádrová omítka Baunit RatioSlim tl. 10 mm
- Železobetonový panel tl. 150 mm
- Fasádní grafitový EPS Styrotherm 70 tl. 300 mm
- Lepicí stěrková malta Baunit DuoContact s výztužnou mřížkou tl. 5 mm
- Silikonová fasádní omítka Baunit SilikonTop tl. 2 mm

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 3965,90 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,107 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 16,40 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 1230,60 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je pouze 170 mm. Celková vnitřní plocha je 186,48 m²

6.4.3 Skladba 3 – Stěnový panel Vesperhomes

Výroba stěnového panelu Vesperhomes 02 OS 160TMF probíhá z 80 % mimo staveniště (32) a tím je během výroby lépe chráněna vůči vlivům vnějšího prostředí. Prefabrikací se zrychluje fáze výstavby, je však nutné zařídit jeřáb. Stěnový panel se řadí mezi lehké dřevěné rámové konstrukce a jako hlavní izolační materiál je použita minerální vlna. Dřevěná konstrukce je chráněna proti vnitřní vlhkosti parobrzdnou fólií (33). Nevýhodou konstrukce je horší akumulární schopnost. Konstrukce je oproti ostatním užší a má i horší tepelné vlastnosti. Celková tloušťka konstrukce je 357 mm.

Skladba stěny i INT do EXT:

- Sádrokartonová deska 12,5 mm
- SDK deska Fermacell tl. 12,5 mm
- Instalační předstěna z CD profilů vyplněná minerální vlnou ISOVER Multiplat 35 tl. 40 mm
- Vnitřní opláštění dřevěného rámu – Fermacell tl. 12,5 mm
- Parozábrana

- Nosná konstrukce z KVH hranolů 60/160 mm á 625 mm s mezerami vyplněnými tepelnou izolací z minerální vlny ISOVER Woodsil tl. 160 mm
- Vnější opláštění dřevěného rámu Fermacell tl. 12,5 mm
- Minerální fasádní tepelná izolace ISOVER Multimax 30 tl. 100 mm
- Omítkový systém STO tl. 7 mm (33)

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 3651,00 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,139 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 20,40 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 354,40 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 237,5 mm. Celková vnitřní plocha je 180,54 m²

6.4.4 Skladba 4 – Jednovrstvá stěna z tvárnic YTONG Lambda YQ

Pórobetonové tepelněizolační tvárnice Lambda YQ se vyznačují dobrými tepelně izolačními vlastnostmi ($\lambda = 0,083 \text{ W}/\text{mK}$) a pevností (34). Malá hmotnost a snadná opracovatelnost nám umožňuje i díky velkým rozměrům tvárnic rychlé zdění. Tyto tvárnice jsou určeny pro jednovrstvé stěny. Nevýhodou je velká tloušťka konstrukce a oproti ostatním vícevrstevným konstrukcím má tato jednovrstvá konstrukce nejhorší tepelně izolační vlastnosti. Celková tloušťka konstrukce je 570 mm (34).

Skladba stěny i INT do EXT:

- Ytong vnitřní omítka tepelněizolační tl. 10 mm
- Tvárnice Ytong Lambda YQ tl. 550 mm
- Ytong vnější omítka tepelněizolační vyztužená výztužnou tkaninou tl. 10 mm (34)

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 3160,00 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,144 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 21,00 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 684,70 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 450 mm. Celková vnitřní plocha je 163,90 m²

6.4.5 Skladba 5 - Cihla Porotherm 25 AKU Z Profi + Isover EPS Greywall Plus

Tato skladba díky použitým cihlám s vyšší objemovou hmotností, systémem děrování a systémem pero-drážka kladenými na tenkovrstvou maltu má skvělé akumulční a akustické vlastnosti (35). Spolu se zateplením z šedivého polystyrenu s výbornými tepelnými vlastnostmi vytváří kvalitní obvodovou konstrukci. Celková tloušťka stěny je 487 mm.

Skladba stěny i INT do EXT:

- Sádrová omítka Baumit Ratio Slim tl. 10 mm
- Děrovaná tvárnice Porotherm 25 AKU Z Profi P15 tl. 25 mm na tenkovrstvou maltu
- Tepelná izolace Isover EPS Greywall Plus tl. 220 mm
- Fasádní lepidlo Baumit DuoContact s výztužnou mřížkou tl. 5 mm
- Tenkovrstvá silikonová omítka Baumit SilikonTop tl. 2 mm

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 3066,40 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,127 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 18,70 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 1369,10 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 260 mm. Celková vnitřní plocha je 178,78 m²

6.4.6 Skladba 6 - Cihla Porotherm 25 AKU Z Profi + Isover TF Profi

Tato skladba využívá stejné cihly jako předchozí skladba, akorát jsem místo šedivého EPS navrhl izolaci z minerální vlny Isover TF Profi. Ta má o něco horší součinitel tepelné vodivosti, a aby měla skladba podobný součinitel prostupu tepla, je tloušťka minerální vlny o něco větší. I tak 4 cm izolace navíc nezaručily stejnou hodnotu součinitele prostupu tepla. Minerální vlna má oproti EPS výhodu v tom, že je paropropustná, tedy nezadržuje páru v konstrukci. Pokud však pára v konstrukci zkondenzuje, zhorší se tepelné vlastnosti minerální vlny. Celková tloušťka stěny je 527 mm.

Skladba stěny i INT do EXT:

- Sádrová omítka Baunit Ratio Slim tl. 10 mm
- Děrovaná tvárnice Porotherm 25 AKU Z Profi P15 tl. 25 mm na tenkovrstvou maltu
- Tepelná izolace Isover TF Profi tl. 260 mm
- Fasádní lepidlo Baunit DuoContact s výztužnou mřížkou tl. 5 mm
- Tenkovrstvá silikonová omítka Baunit SilikonTop tl. 2 mm

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 3367,30 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,130 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 18,80 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 1054,4 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 260 mm. Celková vnitřní plocha je 178,78 m²

6.4.7 Skladba 7 – Jednovrstvá stěna Porotherm 50 T Profi

Tento typ broušených cihel je určen pro jednovrstvé omítané konstrukce. Dutiny této cihly jsou vyplněny hydrofobizovanou minerální vlnou již ve výrobě (36). Díky tomu nemusíme na stavbě provádět lepení a kotvení izolantů, což ušetří čas výstavby. Tato

cihla má díky zabudované minerální vlně skvělé tepelněizolační vlastnosti. Je však doporučeno provést vrstvu termoizolační malty. Skladba této konstrukce je přebrána z technologického listu Wienerbergr (37). Celková tloušťka konstrukce je 547 mm.

Skladba stěny i INT do EXT:

- Sádrová omítka Baumit Ratio Slim tl. 10 mm TL
- Cihla Porotherm 50 T Profi tl. 500 mm
- Baumit Termo omítka tl. 30 mm
- Fasádní lepidlo Baumit DuoContact s výztužnou mřížkou tl. 5 mm
- Tenkovrstvá silikonová omítka Baumit SilikonTop tl. 2 mm

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 4511,70 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,128 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 19,00 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 764,40 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 390 mm. Celková vnitřní plocha je 169,04 m²

6.4.8 Skladba 8 – NOVATOP CLT Panely

Nosná část konstrukce je tvořena masivními dřevěnými panely CLT Novatop Solid z lepených lamel („*CLT = cross laminated timber = křížem lepené dřevo*“ (38)). Díky velikosti panelu až 12x2,95 m a přesnému vyřezání potřebných tvarů již ve výrobě je stavba nosné části skladby velice rychlá a přesná. Tloušťka a nosnost konstrukce je dána počtem k sobě nalepených panelů. Díky dobré pevnosti může být nosná část velice tenká. Novatop dodává pouze CLT panely, ostatní části konstrukce musí být dodány a namontovány na stavbě. Výhodou oproti ostatním dřevěným konstrukcím je větší tuhost a pevnost nosné části konstrukce a lepší akumulární vlastnosti. Celková tloušťka konstrukce je 403,5 mm.

Skladba stěny i INT do EXT:

- Sádroláknitá deska FERMACELL tl. 12,5 mm
- Masivní dřevěná stěna NOVATOP SOLID tl. 84 mm
- Nosná konstrukce z I nosníků STEICO-Wall SW 60 á 625 mm s dutinami vyplněnými foukanou izolací na bázi dřeva STEICO-Zell tl. 280 mm ($\lambda = 0,040 \text{ W/mK}$; $q=40 \text{ kg/m}^3$)
- Dřevoláknitá deska STEICO tl. 20 mm ($\lambda = 0,050 \text{ W/mK}$; $q = 265 \text{ kg/m}^3$) (STEICOprotect TYP H)
- Fasádní lepidlo Baunit DuoContact s výztužnou mřížkou tl. 5 mm
- Tenkovrstvá silikonová omítka Baunit SilikonTop tl. 2 mm (39)

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 5092,00 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,121 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 16,30 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 744,70 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 96,5 mm. Celková vnitřní plocha je 191,46 m²

6.4.9 Skladba 9 – Výpenopískovcové tvárnice SILKA 17,5 + EPS Grey Wall Plus

Vápenopískovcové tvárnice mají vysokou objemovou hmotnost a tím skvělé akumulární a akustické vlastnosti. Jsou velmi těžké, a proto se používá jeřábku pro strojní zdění. Tvárnice jsou velmi přesné a díky strojnímu zdění probíhá stavba rychleji než u zdění například z cihel Porotherm. Tvárnice mají horší tepelněizolační vlastnosti, proto je nutné použít tepelnou izolaci. Celková tloušťka skladby je 452,5 mm.

Skladba stěny i INT do EXT:

- Ytong vnitřní omítka tepelněizolační tl. 10 mm
- Vápenopískové bloky SILKA HM tl. 175 mm
- ISOVER EPS GreyWall Plus tl. 260 mm
- Fasádní lepidlo Baunit DuoContact s výztužnou mřížkou tl. 5 mm

– Tenkovrstvá silikonová omítka Baunit SilikonTop tl. 2 mm

K1. Cena: Přibližná cena skladby je 2614,90 Kč/m²

K2. Součinitel prostupu tepla: $U = 0,117 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

K3. Měrná potřeba tepla na vytápění: 17,30 kWh/m² rok

K4. Svázaná energie (PEI): 1358,30 MJ/m²

K5. Celková vnitřní plocha: Tloušťka konstrukce na základové desce je 185 mm. Celková vnitřní plocha je 184,46 m²

7 Vyhodnocení variant skladeb

Pro hodnocení variant skladeb konstrukcí byla použita stupnice 1-10, kde hodnota 10 je nejlepší a hodnota 1 nejhorší. Každé skladbě a k ní vázanému kritériu byly přiřazeny body. Tyto body byly přenásobeny váhou daného kritéria. Výsledné hodnoty od každého kritéria se sečetly a vzniklo výsledné bodové ohodnocení, které nám určilo pořadí od nejlépe hodnocené skladby s nejvíce body po nejhůře hodnocenou skladbu s nejméně body.

Váha kritéria	0,46	0,25	0,16	0,04	0,09							
	CENA dle rozpočtových cen TRIGEMA Building	Součinitel prostupu tepla kce U	Měrná potřeba tepla na vytápění	Svázaná energie (PEI)-	Celková vnitřní plocha 2NP (bez příček)	Suma bodů	Pořadí					
	Kč / m ²	[W/(m ² .K)]	[kWh/m ² rok]	MJ/m ²	[m ²]							
Skladba 1 - ISOCELL PASSIVE PLUS	3 535,00 Kč	6	0,112	9	17,8	7	458,6	9	173,50	4	6,38	3
Skladba 2 - ŽB prefa panel ALPH	3 965,90 Kč	4	0,107	10	16,4	10	1230,6	2	186,48	8	6,30	4
Skladba 3 - Sendvičový panel VESPERHOMES	3 651,00 Kč	5	0,139	3	20,4	2	354,4	10	180,54	6	4,76	8
Skladba 4 - YTONG YQ 550	3 160,00 Kč	8	0,144	2	21,0	1	684,7	7	163,90	1	5,60	5
Skladba 5 - PTH 25 AKU Z Profi + Isover EPS Greywall	3 066,40 Kč	9	0,127	5	18,7	5	1369,1	1	178,78	6	5,40	6
Skladba 6 - PTH 25 AKU Z Profi + Isover TF Profi	3 367,30 Kč	7	0,130	4	18,8	5	1054,4	4	178,78	6	4,77	7
Skladba 7 - Cihla Porotherm 50 T Profi	4 511,70 Kč	3	0,128	5	19,0	4	1368,0	1	169,04	2	2,76	9
Skladba 8 - NOVATOP CLT Panely	5 092,00 Kč	1	0,121	7	16,3	10	744,7	6	191,46	10	7,27	2
Skladba 9 - SILKA 17,5+ ISOVER EPS G	2 614,90 Kč	10	0,117	8	17,3	8	1358,3	1	184,46	8	7,74	1
Bodové hodnocení: 10 nejlepší - 1 nejhorší						Pořadí: 1 nejlepší - 9 nejhorší						

Tabulka 3 - Vyhodnocení variant

Zdroj: Vlastní tvorba

Skladba 9 má výrazně nejmenší pořizovací cenu 2614,90 Kč/m². Ostatní konstrukce se pohybují v rozmezí 3000 – 4000 Kč/m². Nejhůře hodnocená konstrukce s ohledem na cenu je Skladba 8, jejíž cena je 5092,00 Kč/m² a Skladba 7 s cenou 4511,70 Kč/m². Cenu Skladby 8 oproti ostatním dřevěným konstrukcím nejvíce ovlivnila cena nosného CLT panelu.

Nejllepší hodnotu součinitele prostupu tepla konstrukcí 0,107 W/m²K má Skladba 2 s železobetonovým panelem tl. 150 mm a tepelnou izolací z grafitového EPS tl. 300 mm. Na druhou stranu má třetí nejvyšší pořizovací cenu. Pod hodnotu 0,12 se dostaly konstrukce Skladba 1 a Skladba 9. Nejhorší součinitel má jednoplášťová Skladba 4 z termoizolačních tvárníc Ytong 0,144 W/m²K. Druhý nejhorší součinitel má Skladba 3, tato skladba je ale nejtěnější.

Na měrnou potřebu tepla na vytápění objektu má vliv tepelný součinitel prostupu tepla konstrukcí (podlaha, stěny, okna, střecha...), ale také velikost vnitřního objemu objektu, plochy stěn, založení stěn na základové desce i vlastnosti materiálů skladby a další vlivy. Měrná potřeba tepla na vytápění se tedy počítá na celý objekt. Proto je pořadí skladeb u kritéria měrné potřeby tepla rozdílné vůči kritériu tepelného součinitele. V Tabulce 3 je

vidět, že ani jedna skladba by v navrženém modelovém domě neumožnila vyhovět podmínce standardu pasivního domu 15 kWh/m²rok. To může být způsobeno více vlivy. Je však možné vypočítat, která skladba se této podmínce přiblíží nejvíce. Tou jsou Skladba 8 s hodnotou 16,3 kWh/m²rok a Skladba 2 s hodnotou 16,4 kWh/m²rok.

Co se týče vlivu skladby na životní prostředí posuzovaném kritériem svázané energie, nejlépe dopadly skladby s konstrukcí na bázi dřeva s použitými přírodními materiály na tepelné izolace. Dřevěné prvky konstrukcí mají vyšší hodnoty svázané energie MJ/kg než konstrukce z betonu či tvárnic. Konstrukce z betonu či tvárnic jsou ale výrazně těžší, než konstrukce na bázi dřeva. A tím, že výsledná hodnota je udávána v MJ/m², vychází dřevěné konstrukce mnohem lépe. Z tabulek v příloze 2 lze vyčíst, že tepelné izolace z minerální vlny mají hodnotu 20 MJ/kg, šedivý EPS má hodnotu 105 MJ/kg, foukaná celulóza 7,4 MJ/kg a dřevovlnáknité desky 5 MJ/kg. Z toho vychází, že EPS, byť má výborné vlastnosti a zpracovatelnost, má výrazně nejhorší vliv na životní prostředí. Stálo by teda za zvážení, jestli nezvolit přírodní materiál.

V hodnocení posledního kritéria celkové vnitřní plochy, na které má vliv šířka založení konstrukce stěny, vychází nejlépe Skladba 8 s CLT nosnými panely, která má šířku na základové desce pouze 94 mm a celkovou plochou 191,4 m². Což je o 27,56 m² více, než má Skladba 4 z Tvárnic Ytong a šířkou založení 450 mm a plochou 163,90 m².

Nejlepšího výsledku vícekritériální analýzy obvodových pláštů dle zadaných kritérií dosáhla Skladba 9 – SILKA 17,5 + Isover EPS Greywall Plus, která získala 7,74 bodů. Na druhém místě je Skladba 8, která získala 7,27 bodů. Největší rozdíl mezi těmito konstrukcemi je cena a spotřeba svázané energie. Na třetím místě skončila Skladba 1 s 6,38 body. Jen o 0,08 bodu skončila na čtvrtém místě Skladba 2. Nejhůře hodnocenou skladbou je Skladba 7 z keramických tvárnic vyplněných minerální vlnou.

8 Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval problematikou konstrukcí skladeb svislých obvodových plášťů pro pasivní domy. V rešeršní části jsem přiblížil historii a postupný vývoj pasivních domů a získával jsem informace o požadavcích a standardech pro pasivní domy a jejich konstrukce. Zjistil jsem, že od roku 2020 je povinnost stavět veškeré budovy ve standardu NZEB (nearly zero energy building = téměř nulová budova). Je to snaha o stavění budov, které budou mít menší spotřebu energií a budou šetrnější k životnímu prostředí. Tento záměr je z mého hlediska skvělý. Avšak v porovnání se standardem pasivního domu je stále relativně mírný.

Dále jsem zpracoval technologické požadavky a po té typologii konstrukcí a materiálů používaných na konstrukce svislých obvodových plášťů. Zde jsem popsal jejich vlastnosti a některé výhody a nevýhody. V závěru rešeršní části práce jsem se obecně věnoval teorii rozhodování a vícekriteriální analýze s využitím metody kvantitativního párového porovnávání kritérií, tzv. Saatyho metodou, kterou jsem následně aplikoval v praktické části diplomové práce.

Cílem diplomové práce bylo technologické a ekonomické porovnání konstrukcí svislých obvodových plášťů za účelem výběru ekonomicky a technologicky nejvhodnější konstrukce pro návrh pasivního rodinného domu.

V praktické části jsem se rozhodl z pohledu pomocí vícekriteriální analýzy zjistit, jaká konstrukce a skladba svislého obvodového pláště je z technologického a ekonomického hlediska nejvýhodnější pro stavbu pasivního domu. Materiálových variant, jak skladbu poskládat, je velké množství. Pro porovnání jsem zvolil devět konstrukcí z různých typů materiálů, abych pokryl širší spektrum možných skladeb konstrukcí. Dřevěné konstrukce jsem volil na základě konstrukcí navržených od výrobců či prodejců (Difuwall Isocel, Vesperhomes, Novatop), stejně tak jednovrstvé skladby Porotherm 50 T profi a Ytong Lambda YQ. Ostatní skladby jsem navrhl tak, aby vyhověly podmínce součinitele prostupu tepla menšího než $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Všechny skladby byly aplikovány na modelový dům, díky čemuž jsem získal potřebné hodnoty pro výpočty jednotlivých kritérií. Kritéria jsem volil z pohledu investora, který má zájem postavit pasivní dům, který by splňoval dané podmínky s ohledem především na pořizovací cenu, ale i s ohledem na náklady spojené s provozem domu, ohledem na životní prostředí a se ziskem co největší užitné plochy. Z pohledu těchto kritérií se jeví jako nejvýhodnější varianta Skladba 9, jelikož má nejnižší pořizovací hodnotu, velmi malý součinitel prostupu tepla a velkou užitnou plochu. Má však jednu z nejvyšších hodnot spotřeb svázané energie. Druhá nejvhodnější varianta je Skladba 8. Zde je největší problém pořizovací cena, která je skoro dvakrát vyšší, než cena Skladby 9. Pokud by tedy investor nepovažoval cenu jako důležité kritérium, byla by Skladba 8 tou nejlepší volbou. Tím, že jsem jednotlivé varianty a důležitosti

kritérií mezi sebou vybíral na základě subjektivního dojmu, mohlo by v případě hodnocení kritérií jinou osobou dojít k odlišným výsledkům daným jinými preferencemi.

V diplomové práci jsem splnil stanovené cíle. Zpracoval jsem technologické požadavky na obvodové konstrukce, popsal jsem specifika pasivních domů, provedl a vyhodnotil vícekriteriální analýzu skladby obvodových plášťů pro pasivní rodinné domy. Nejlepší variantu skladby konstrukce svislého obvodového pláště jsem vyhodnotil na základě pěti kritérií z devíti zvolených variant.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Základní charakteristiky pasivních budov (8) 13

Obrázek 2: Pět základních principů pasivních domů (9)..... 14

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Plochy stěn, výplní otvorů a jejich světová orientace Zdroj: vlastní tvorba	47
Tabulka 2 - Stanovení vah kritérií - Saatyho matice	49
Tabulka 3 - Vyhodnocení variant	58

Seznam literatury

1. **Centrum pasivního domu.** Z historie pasivních domů. *Centrum pasivního domu*. [Online] 27. leden 2013. [Citace: 15. květen 2021.] <https://www.pasivnidomy.cz/z-historie-pasivnich-domu/t1083>.
2. **Smola, Ing. Arch. Josef.** *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2011. ISBN 978-80-247-2995-4.
3. **FOTR, Jiří a Jiří DĚDINA.** *Manažerské rozhodování*. Praha : Ekopress, 1997. ISBN 8090199178.
4. **Prof. Ing. Jan Tywoniak, CSc., Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda a Doc. Ing. Tomáš Matuška, PhD.** ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Centrum technické normalizace, Fakulta stavební ČVUT v Praze, IČ 68407700, 2011.
5. **Čejka, Ing. Michal.** Novela vyhlášky č. 78/2013 Sb. – Část 4: Úprava požadavků na NZEB. *tzb-info.cz*. [Online] 8. červen 2020. [Citace: 16. květen 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/20768-novela-vyhlasky-c-78-2013-sb-cast-4-uprava-pozadavku-na-nzeb>.
6. **Ing. Libor Hrubý.** Co je pasivní dům. *Centrum pasivního domu*. [Online] Únor 2020. [Citace: 10. květen 2021.] Dokument PDF dostupný z webu: <https://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2?s=102>. <https://www.pasivnidomy.cz/infolist-19-01-pasivni-domy-zakladni-principy/f8152>.
7. **Hazucha, Juraj.** *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy - Doporučení pro návrh a stavbu*. Praha : Grada Publishing, a.s., 2016. ISBN 978-80-271-9027-0.
8. **Tywoniak, Jan.** Pasivní a nulové budovy na společné cestě. *tzb-info.cz*. [Online] 14. listopad 2011. [Citace: 3. červen 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/8029-pasivni-a-nulove-budovy-na-spolecne-ceste>.
9. **Passive House Institute.** Passive House requirements. *Passive House Institute*. [Online] [Citace: 3. květen 2021.] https://passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm.
10. **Šance pro budovy.** Průkazy energetické náročnosti budov. *Šance pro budovy*. [Online] [Citace: 2. červen 2021.] <https://sanceprobudovy.cz/prukazy-energeticke-narocnosti/>.
11. **Vaillant.** Co je primární energie? *Vaillant*. [Online] [Citace: 12. duben 2021.] <https://www.vaillant.cz/pro-zakazniky/technicka-podpora/slovnicek-pojmu/primarni-energie/>.
12. **Envimat.** Slovník pojmů. *Envimat*. [Online] [Citace: 4. červen 2021.] <http://www.envimat.cz/metodika/pojmy/>.
13. **Šance pro budovy.** Energetické standardy budov. *Šance pro budovy*. [Online] [Citace: 2. červen 2021.] <https://sanceprobudovy.cz/wp-content/uploads/2018/03/energeticke-standardy-1.pdf>.
14. **Mareček, Jan, a další.** 1. TEPelně TECHNICKÉ POŽADAVKY NA OBVODOVÉ PLÁŠTĚ. *POZEMNÍ STAVITELSTVÍ III*. [Online] VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2006. [Citace: 5. březen 2021.] <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps3/1.html#1-2>. ISBN 978-80-248-1470-4.
15. **Vextadomy.** BLOWER DOOR TEST - CO TO JE A K ČEMU SLOUŽÍ? *Vextadomy*. [Online] [Citace: 4. březen 2021.] <https://www.vextadomy.cz/zkousime-nase-domy-blower-door-test>.

16. **Rubáš, Pavel.** Nové požadavky ve stavební akustice v revizi ČSN 73 0532:2020. *Tzb-info*. [Online] 1. březen 2021. [Citace: 5. březen 2021.] <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/21919-nove-pozadavky-ve-stavebni-akustice-v-revizi-csn-73-0532-2020> .
17. **Růžička, Martin.** *Moderní dřevostavba*. Praha : Grada Publishing, 2014. ISBN 978-80-247-3298-5..
18. **Široká, Helena.** Akumulační materiály, nástroje proti teplotním šokům. [Online] 12. březen 2019. [Citace: 3. červen 2021.]
19. **Němcová, Lucie.** Jaké výhody sebou přináší stavba domu ze dřeva . *Dřevostavby.cz*. [Online] 12. březen 2019. [Citace: 3. červen 2021.] <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/konstrukce-drevostaveb/3755-7-vyhod-drevostaveb>.
20. **Pojar, Petr.** Co nabízí ocelové konstrukce stavebnictví? . [Online] 3. červen 2014. [Citace: 2. červen 2021.] <https://www.ceskestavby.cz/clanky/co-nabizi-ocelove-konstrukce-stavebnictvi-22901.html>.
21. **Lorenz, Karel.** *Nosné konstrukce I: Základy navrhování nosných konstrukcí*. 2005 : Vydavatelství ČVUT, Praha. ISBN 80-01-03168-3.
22. **Matoušková, Dagmar a Solař, Jaroslav.** *Pozemní stavitelství I*. Ostrava : Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2005. ISBN 80-248-0830-7.
23. **Hanzalová, Hana a Šmejkal, Jiří.** *Betonové a zděné konstrukce 1: Základy navrhování*. Praha : Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05323-2.
24. **Motyčka, Vít.** *Technologie staveb I: technologie stavebních procesů. Část 2: Hrubá vrchní stavba*. Brno : CERM, 2005. ISBN 80-214-2873-2..
25. **Kuklík, Petr.** *Dřevěné konstrukce*. Praha : Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03310-4..
26. **Lokaj, Antonín.** *Dřevostavby a dřevěné konstrukce, I. a II. díl*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-7204-732-1.
27. **Straka, Bohumil.** *Konstrukce šikmých střech*. Praha : Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-4205-2.
28. **Blaha, Martin.** *Omítky: druhy, provádění, opravy*. Praha : Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0898-1.
29. **Lank, Jiří a Havlíček, Pavel.** *Rekonstrukce fasád*. Brno : ERA, 2006. ISBN 80-7366-072-5.
30. **Borovec, Petr.** *Malby a nátěry*. Brno : ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-083-3.
31. **SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta, Václav BERAN a Petr DLASK.** *Rozhodování: (vstupní data, významnost kritérií, hodnocení variant)*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 9788001049822.
32. **Korviny, Ing. Petr.** Teoretické základy vícekritériálního rozhodování. *korviny.cz*. [Online] [Citace: 30. květen 2021.] https://korviny.cz/Korviny/soubory/teorie_mca.pdf.
33. **Charvát, Pavel.** *Technologická optimalizace návrhu fasády ve zvolených podmínkách*. Diplomová práce.

34. **RIS - Regionální informační servis.** Rožmitál pod Třemšínem (okres Příbram). *RIS - Regionální informační servis.* [Online] 22. 05 2021. [Citace: 05. 05 2021.] <https://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/541231-rozmital-pod-tremsinem>.
35. **Vekra.** Natura 94. *Vekra.* [Online] [Citace: 2. květen 2021.] <https://www.vekra.cz/produkt/eurookna-natura-94/>.
36. —. Dveře Trend. *Vekra.* [Online] [Citace: 2. květen 2021.] <https://www.vekra.cz/produkt/trend/>.
37. **INSOWOOL.** DIFFUWALL – ISOCELL. *INSOWOOL.* [Online] INSOWOOL. [Citace: 3. DUBEN 2021.] <https://insowool.cz/diffuwallisocell/>.
38. **Insowool s.r.o.** *Insowool.* [Dokument PDF] Praha : autor neznámý, Listopad 2020. Technická dokumentace Dřevěné rámové prefabrikované stavební sestavy s vnějším zateplením provedeným tepelně izolačními dřevovláknitými nelisovanými deskami určené jako difúzně otevřené obvodové stěny systému diffuwall®. Zaslán na e-mail panem Ivo Holubem, technickým konzultantem INSOWOOL s.r.o..
39. **Vesperhomes.** ON SITE / OFF SITE. *Vesperhomes.* [Online] [Citace: 27. duben 2021.] <https://www.vesperhomes.cz/technicka-sekce/on-site-off-site>.
40. —. Technická sekce. *Vesperhomes.* [Online] [Citace: 27. duben 2021.] Dostupné z: <https://www.vesperhomes.cz/technicka-sekce>. <https://www.vesperhomes.cz/technicka-sekce/vrstvy-z-nas-delaji-to-co-jsme/90945a50cc6361faaa87>.
41. **Ytong.** Tepelněizolační tvárnice Lambda YQ. *Ytong.* [Online] [Citace: 19. březen 2021.] <https://www.ytong.cz/cs/docs/tepelneizolacni-tvarnice-lambda-YQ.pdf>.
42. **Wienerberger.** Porotherm 25 AKU Z Profi \ Akustická broušená cihla. *Wienerberger.* [Online] [Citace: 19. duben 2021.] <https://www.wienerberger.cz/produkty/zdivo/cihly-porotherm/porotherm-25-aku-z-profi.html>.
43. —. Porotherm 50 T Profi \ Tepelněizolační broušená cihla. *Wienerberger - Stavební materiály pro vaši stavbu.* [Online] [Citace: 2. červen 2021.] <https://www.wienerberger.cz/produkty/zdivo/cihly-porotherm/porotherm-50-t-profi.html>.
44. —. Technický list - podklad pro provádění. *Wienerberger.* [Online] [Citace: 27. květen 2021.] https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/instructions-guidelines/CZ_Podklad_pro_provadeni.pdf.
45. **Novatop.** JAK NOVATOP FUNGUJE V PRAXI? *novatop-system.cz.* [Online] [Citace: 1. červen 2021.] <https://novatop-system.cz/system-novatop/>.
46. **NOVATOP.** Technická dokumentace. *NOVATOP-SYSTEM.* [Online] [Citace: 17. 04 2021.] Dostupný z <https://novatop-system.cz/ke-stazeni/technicka-dokumentace/>. https://novatop-system.cz/wp-content/uploads/2018/09/KD_CZ_DE_I_1.pdf.
47. **DIFFUWALL – ISOCELL. INSOWOOL.** [Online] 3. duben 2021. <https://insowool.cz/diffuwallisocell/>.
48. **Šace pro budovy.** Energetická politka. *Šace pro budovy.* [Online] [Citace: 2. červen 2021.] <https://sanceprobudovy.cz/energeticka-politika/>.

49. Mareček, Jan, a další. 2. Obvodové pláště budov. *POZEMNÍ STAVITELSTVÍ III.* [Online] 2006. [Citace: 3. březen 2021.] <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps3/2.html>. ISBN 978-80-248-1470-4.

Přílohy

Příloha 1 – Rozpočet

Příloha 2 – Výpočet svázané energie PEI, emise CO₂ a SO₂

Příloha 3 - Výsledné hodnoty výpočtu tepelného součinitele a spotřeby energie – energetický štítek PENB - skladby 1-9