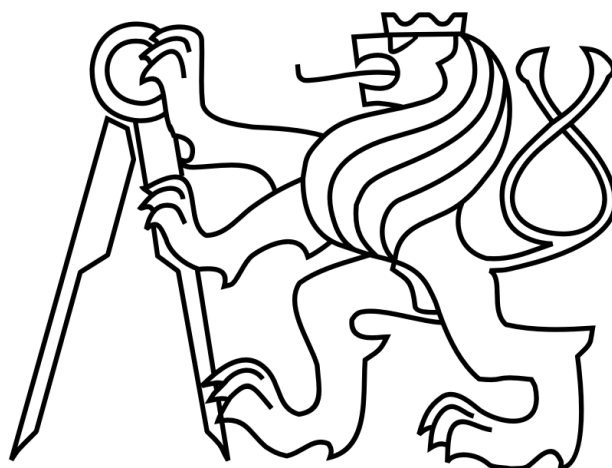


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Environmentálně-energetická optimalizace obálky
budovy bytového domu

Autor: Bc. Pavla Ryklová

Vedoucí práce: Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.

Konzultant: Ing. Martin Volf, Ph.D.

(Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT v Praze)

Praha, 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Ryková</u>	Jméno: <u>Pavla</u>	Osobní číslo: <u>410184</u>
Zadávací katedra: <u>K 124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce budov</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Environmentálně-energetická optimalizace obálky budovy bytového domu</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Enviromental and energy optimization of the building envelope of an apartment house</u>	
Pokyny pro vypracování: Cílem práce je najít environmentálně-energeticky optimální variantu řešení obálky zadaného bytového domu v rámci vybrané materiálové skupiny – "keramický zděcí systém". Nejprve provést rešerši možných skladeb a materiálů použitelných pro konstrukce obálky budovy. Z těchto skladeb vybrat několik možností pro každou konstrukci a vyhodnotit environmentální dopady budovy s danými skladbami, a to pro několik úrovní tepelněizolační kvality. Pro tyto tepelněizolační úrovně vyhodnotit rovněž provozní energetickou náročnost budovy a provozní environmentální dopady. Na základě vyhodnocení provozních a svázaných dopadů nalézt optimální variantu obálky budovy. Pro tuto variantu vyřešit klíčová napojení dílčích stavebních prvků a zpracovat vybrané výkresy (komplexní řez, detaily, vybraný půdorys a řez). Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>2.10.2017</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>7.1.2018</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>4.10.2017</u>	Podpis studenta(ky)
Datum převzetí zadání	

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne: 7.1.2018

.....
Bc. Pavla Ryklová

Ráda bych poděkovala vedoucí práce Ing. Kateřině Sojkové, Ph.D. a konzultantovi na environmentální část Ing. Martinu Volfovi, Ph.D. za odborné vedení, podnětné připomínky a cenné rady, které mi velmi výrazně pomohly ke vzniku této práce.

**Environmentálně-energetická optimalizace obálky
budovy bytového domu**

Environmental and Energy Optimization of the Building
Envelope of an Apartment House

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá environmentálně-energetickou optimalizací obálky zadaného bytového domu v rámci vybrané materiálové skupiny – "keramický zdící systém". Práce obsahuje rešerši možných skladeb a materiálů. Z nich je vybráno několik variant a jsou vyhodnoceny jejich environmentální dopady pro několik tepelněizolačních úrovní. Pro tyto úrovně je rovněž vypočtena potřeba tepla na vytápění, která je převedena na environmentální provozní dopady. Na základě vyhodnocení provozních a svázaných environmentálních dopadů je zvolena optimální varianta obálky zadané budovy i obecná doporučení pro další bytové domy. Pro výslednou variantu jsou zhotovené vybrané výkresy (půdorys s detailem ostění, řez a komplexní řez).

Klíčová slova: optimalizace, svázané dopady, provozní dopady, LCA, primární energie, GWP, bytový dům, keramický zdící systém

Abstract: This Diploma thesis deals with environmental and energy optimization of the building envelope for a specified apartment house and with focus on material group - "ceramic system". The work includes a research of possible structures and materials applicable to the specified building. Each construction method is assessed for several levels of thermal insulation quality. The energy need for heating is calculated for each thermal insulating level and then converted to an operational environmental impact. Comparison of embodied and operational impacts has been made. This has resulted in an optimal variant of the building envelope for the specified building and general recommendations for other similar buildings. Drawings have been created for the resultant building. (floor plan with detailing, cross section and complex section)

Keywords: optimization, embodied impact, operational impact, LCA, primary energy, GWP, apartment house, ceramic system

OBSAH

1. Úvod.....	10
1.1 Úvod do problematiky.....	10
1.2 Zadání a cíl práce.....	12
1.3 Použité metody.....	13
1.3.1 Energetický výpočet.....	13
1.3.2 Environmentální posouzení.....	13
2. Posuzovaný objekt.....	22
2.1 Obecný popis.....	22
2.2 Konstrukční systém.....	23
3. Obálka budovy.....	25
3.1 Přehled skladeb.....	25
3.1.A Střecha a terasa.....	26
3.1.B Obvodová stěna.....	28
3.1.C Stropní konstrukce 1.PP.....	30
3.1.D Suterénní stěna.....	32
3.1.E Podlaha suterénu.....	33
3.1.F Výplně otvorů.....	36
4. Provozní dopad.....	37
4.1 Tepelněizolační obálka budovy ve variantách.....	37
4.2 Vstupní data.....	38
4.3 Výpočet.....	42
4.4 Výsledky.....	42
4.5 Environmentální vyhodnocení.....	43
5. Svázané dopady.....	46
5.1 Porovnání jednotlivých vrstev konstrukcí.....	46
5.1.1 Tepelné izolace.....	46
5.1.2 Hydroizolace.....	49
5.1.3 Stropní konstrukce.....	49
5.1.4 Nosná/výplňová konstrukce stěny.....	50
5.2 Svázané dopady jednotlivých konstrukcí obálky budovy.....	52
5.2.A Střecha a terasa.....	53
5.2.B Obvodová stěna.....	58
5.2.C Stropní konstrukce 1.PP.....	66
5.2.D Suterénní stěna.....	68
5.2.E Podlaha suterénu.....	71

5.2.F	Výplňové konstrukce (okna)	72
5.3	Vnitřní konstrukce	73
5.4	Výsledky	75
6.	Energeticko-environmentální výsledky	77
6.1	Systém hodnocení	77
6.2	Porovnání provozních a svázaných environmentálních dopadů	78
6.3	Výsledná varianta	81
7.	Závěr	85
8.	Zdroje	86
9.	Přílohy	90
	Seznam příloh	90

SLOVNÍČEK POJMŮ:

environmentální = týkající se životní prostředí

svázané (environmentální) dopady = environmentální dopady zabudovaných konstrukcí budovy

provozní (environmentální) dopady = environmentální dopady související s provozem budovy (v této práci pouze potřeba tepla na vytápění)

SBTool = česká metodika pro hodnocení udržitelnosti budovy

konverzní faktor (faktor primární energie) = koeficient, kterým se násobí složky dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství celkové primární energie

emisní faktor = koeficient, kterým se násobí složky dodané energie po jednotlivých energonositelích k získání odpovídajícího množství celkových emisí

energonositel = hmota nebo jev, které mohou být použity k výrobě mechanické práce nebo tepla nebo na ovládání chemických nebo fyzikálních procesů (např. elektřina, zemní plyn, pelety, ...)

ZKRATKY

XPS = extrudovaný polystyrén

EPS = pěnový polystyrén

šedý EPS = expandovaný polystyrén s příměsí grafitu

MV = minerální vata

TI = tepelná izolace

ETICS = anglická zkratka pro vnější kontaktní zateplovací systém (česká zkratka KZS)

kce = konstrukce

PP = podzemní podlaží

NP = nadzemní podlaží

ŽB = železobeton, železobetonový

GWP = potenciál globálního oteplování

nPEI = neobnovitelná primární energie

EPD = environmentální prohlášení o produktu

PENB = průkaz energetické náročnosti budovy

LCA = posuzování životního cyklu (Life Cycle Assessment)

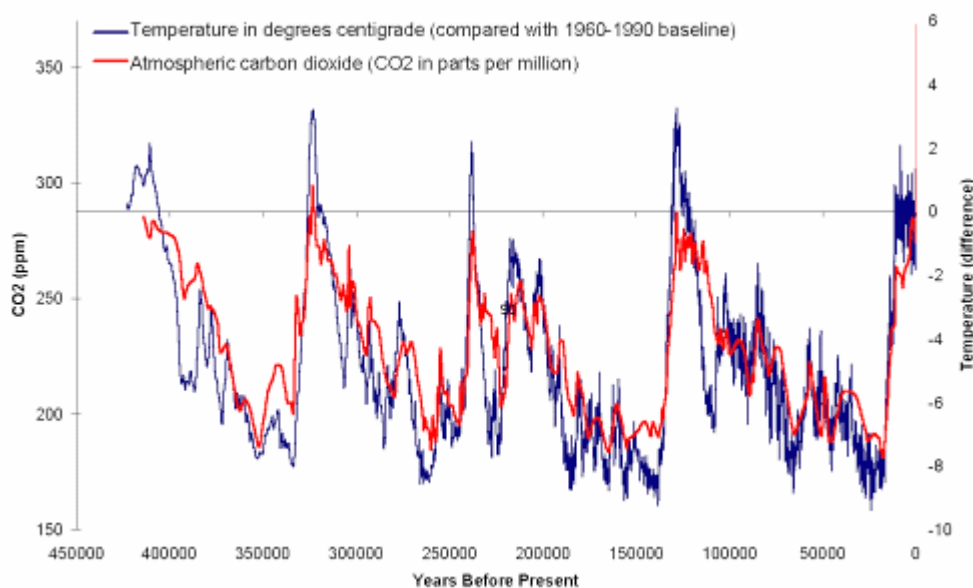
LCAI = hodnocení dopadů životního cyklu (Life Cycle Impact Assessment)

1. Úvod

1.1 Úvod do problematiky

"V dnešním moderním globalizovaném světě si stále více uvědomujeme, že planeta Země není nekonečným zdrojem neobnovitelných zdrojů energie a při stále rostoucí populaci obyvatelstva a ekonomickém a technickém rozvoji dojde někdy k jejich vyčerpání. Ve vyspělých státech světa se tudíž snažíme hledat řešení, aby zde dále mohly spokojeně žít i další generace." [3]

Nejedná se pouze o vyčerpání zdrojů, ale obecně vliv na životní prostředí. Je zřejmé, že se mění klima naší planety. Vžil se termín "globální oteplování", který, jak již dnes víme, není zcela přesný. Ano, celkově se teplota na Zemi zvyšuje. Což ale vede k celé řadě dalších procesů, které v konečném důsledku způsobují i ochlazování určitých území. Tání ledovců, zvyšování hladiny oceánů, ochlazování moří, zpomalování podmořských proudů, extrémnější počasí - sucha, tornáda, povodně, menší četnost, ale větší intenzita srážek, ... to je jen výsek změn, které již nyní na Zemi pociťujeme. Není s určitostí dokázán vliv člověka na tyto změny, ale závislost koncentrace CO_2 v ovzduší a teploty vzduchu na Zemi (viz Obr. 1.1). Spalováním fosilních paliv, tedy lidskou činností, uvolňujeme do ovzduší velké množství CO_2 .

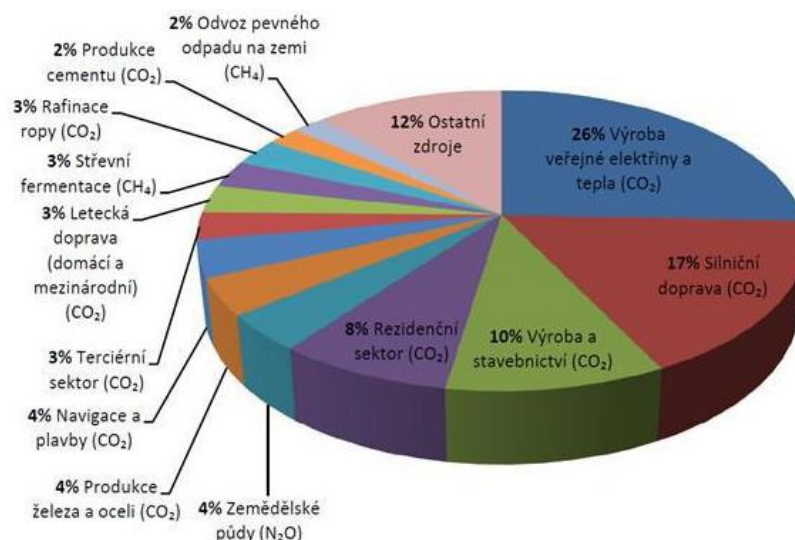


Obr. 1.1 Průběh teploty a koncentrace CO_2 v ovzduší posledních 450 00 let [32]

Jak je patrné z grafu Obr. 1.1 i v historii kolísala teplota i koncentrace CO_2 v ovzduší, ale dnes jsem již na hranici, kdy by se dle dosavadních trendů, mělo zvyšování zastavit. Koncentrace CO_2 má však od počátku průmyslové revoluce zásluhou spalování fosilních paliv vzrůstající tendenci. Pokračující nárůst teploty sebou může nést nezvratné klimatické změny, které časem mohou ohrozit existenci lidstva.

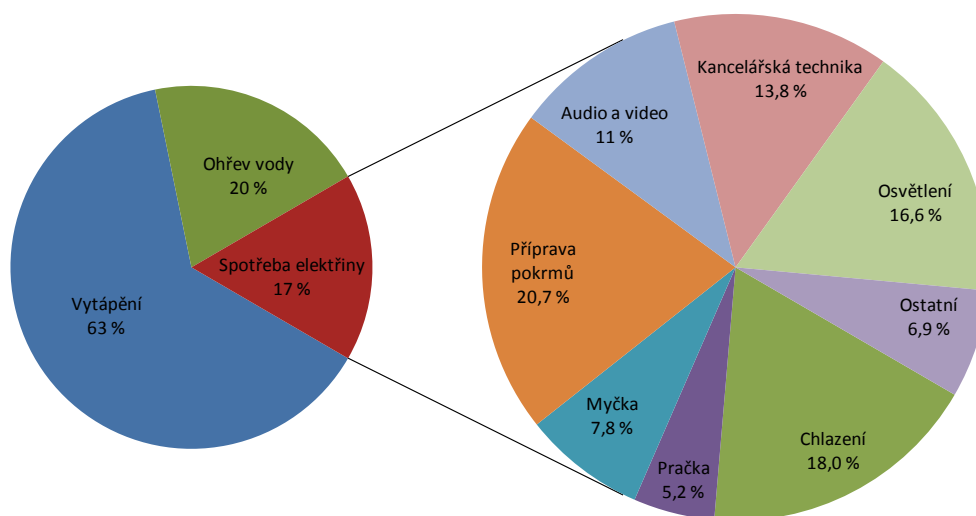
Žijeme v bohaté, zabezpečené a relativně klidné Evropě 21. století. Máme zajištěné základní životní potřeby a proto se můžeme zabývat i budoucností a problematikou

udržitelosti. Z grafu Obr. 1.2 vyplývá, že dohromady 36 % skleníkových emisí v Evropské unii tvoří výroba veřejné elektřiny a tepla (26 %) a výroba a stavebnictví (10 %) 88[33]. Jiný zdroj uvádí, že 40 % veškeré energie spotřebovávají budovy a jsou zodpovědné za 30 % emisí CO₂ [4]. Tedy jak provozní náklady, tak výstavba samotná značně ovlivňují dopad na životní prostředí.

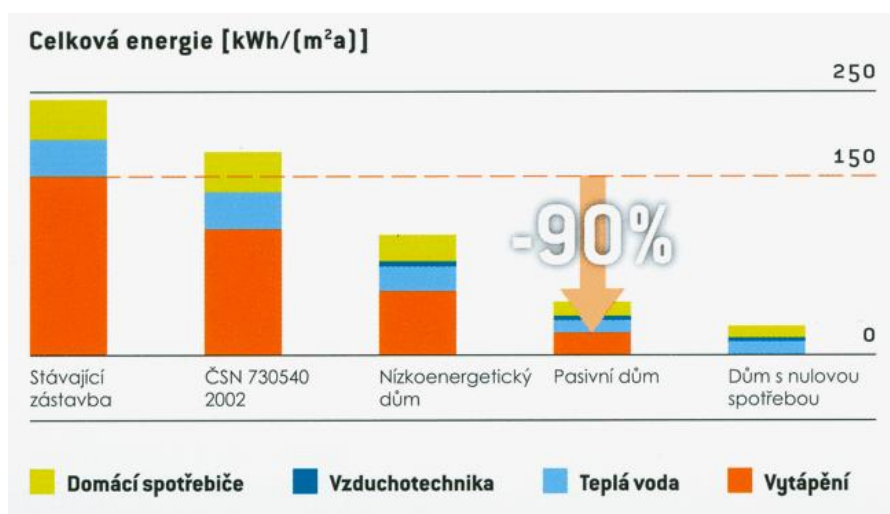


Obr. 1.2 Emise skleníkových plynů EU 27 z roku 2007[33]

Data z různých zdrojů a let se liší, ale přibližně 55-75 % energie použité v domácnostech, je využito na vytápění (viz Obr. 1.3). Jedná o plýtvání, které lze omezit, jak zobrazuje graf Obr. 1.4. Omezení potřeby tepla na vytápění úzce souvisí s tepelněizolační funkcí obálky budovy. Pasivní standard, jako příklad typu budov s nízkou potřebou tepla na vytápění, omezuje provozní náklady, tedy i provozní environmentální dopady. Na druhou stranu je pro splnění takového standardu nutnost mimojiné kvalitnější tepelněizolační funkce obálky budovy, což zvyšuje svázané environmentální dopady. Téma této práce vychází z tohoto rozporu. Jaký poměr je nejlepší z hlediska udržitelnosti a dopadu na životní prostředí - nízká tepelněizolační úroveň objektu či minimální potřeba tepla na vytápění?



Obr. 1.3 Rozložení spotřeby energie v modelové domácnosti [34]



Obr. 1.4 Spotřeba energie v budovách [35]

1.2 Zadání a cíl práce

Přínos této diplomové práce je především v pomoci, environmentálně smýšlejícím investorům bytových domů, s výběrem vhodných materiálových skladeb, mírou zateplení obálky domu a volbou energonositele pro vytápění z hlediska minimalizace dopadů na životní prostředí. V současné době se jedná především o teoretickou práci, jelikož většina současných investorů sleduje především ekonomickou návratnost projektu. Ze zákona jsou již nyní omezení energetickou náročností provozu budovy, ale zabudované tzv. svázané dopady se zatím řeší pouze v certifikátech udržitelnosti, které ale nejsou nijak závazné. [25]

Tato práce je zaměřena na bytové domy s keramickým zdícím systémem. Podobné téma, avšak pro jiné materiálové skupiny, je řešeno i ve dvou dalších diplomových pracích:

- Bc. Heda Brůhová - dřevěné konstrukce [5]
- Bc. Magdaléna Machová - silikátový zdící systém (předpokládané dokončení červen 2018)

Pro optimalizaci v této práci je zvolen jeden konkrétní dům (viz kapitola 2.). Práce je však zpracována tak, aby svým přesahem pokryla i obecné varianty bytových domů. Posuzovaný objekt je dílem autorů Ing. F. Zieglera, Ing. arch. P. Frolíka a Ing. arch. P. Frolíka ml. z architektonického ateliéru Héta spol. s r. o., Praha 7. Jedná se o bytový dům z obytného souboru Šterboholy v Praze 15, kde je se nachází 8 velmi podobných objektů. K dispozici jsem dostala elektronickou verzi výkresové dokumentace ke stavebnímu povolení z roku 2005.[1] (viz příloha č. 1 a 2)

Zadání práce v bodech:

- rešerše možných skladebných i materiálových variant pro jednotlivé konstrukce obálky budovy
- vybrané skladby posoudit z hlediska dopadu na životní prostředí v několika tepelněizolačních úrovních
- vypočítat potřebu tepla na vytápění a převést ji na provozní environmentální dopady

- porovnat svázané a provozní environmentální dopady a stanovit výslednou variantu
- pro výslednou variantu zhotovit vybrané výkresy

Cílem této práce je najít pro zadaný bytový dům optimální variantu z hlediska svázaných i provozních environmentálních dopadů a zároveň uvést obecná doporučení pro objekty podobného typu.

1.3 Použité metody

V této práci je objekt posuzován z hlediska environmentálních dopadů potřeby tepla na vytápění a použitých materiálů. Metody hodnocení provozních a svázaných dopadů jsou popsány dále v této kapitole. V závěru práce je na základě těchto environmentálních dopadů zvolena optimální varianta obálky budovy.

1.3.1 Energetický výpočet

Součástí této práce je výpočet potřeby tepla na vytápění daného objektu v několika variantách. Výpočtem potřeby tepla na vytápění se zabývá mezinárodní norma ČSN EN ISO 13790 [17]. Výpočet je proveden měsíční metodou pomocí softwaru. Byl využit online program společnosti DEKSOFT - Energetika [41].

Výsledná potřeba tepla na vytápění ve variantách je dle energonositelů a zdrojů tepla převedena na spotřebu tepla na vytápění ve variantách a určen její environmentální dopad viz následující kapitola 1.3.2.

1.3.2 Environmentální posouzení

Tato část práce se zabývá posouzením dopadů budovy na životní prostředí. Dělení, principy a postup posuzování životního cyklu materiálů je definován v normách ČSN EN ISO14040 [18] a ČSN EN ISO14044 [19]. Metoda je známá pod anglickou zkratkou LCA = Life Cycle Assessment, tedy česky posuzování životního cyklu. Celá metoda LCA je velmi rozsáhlá a proto existují databáze, které již obsahují, environmentální dopady pro různé výrobky, materiály, energonositele či procesy a usnadňují práci.

Svázané environmentální dopady

Obecně je v této oblasti velký problém jakákoliv data získat. Organizace, které data získávají, shromažďují a zadávají do databází, si jich cení a není lehké k nim získat přístup. U většiny databází je pro nahlížení nutná registrace a nezdědka je přístup zpoplatněn. Pro potřeby této práce je využita předplacená školní licence online databáze Ecoinvent [10]. Jedná se o švýcarskou databázi celosvětového rozsahu. Existují i jiné databáze environmentálních dat o stavebních výrobcích - např. Environdec, INIES, IBO Baustoffdatenbank, ... [37]. V České republice již také vznikla podobná databáze Envimat [11]. Tato databáze vznikla na Fakultě stavební ČVUT v Praze a je v českém jazyce.



Obr. 1.5 Loga 2 environmentálních databází (českého Envimatu a švýcarského Ecoinventu)86[11][10]

K jednotlivým prvků v budově se po dobu jejich životního cyklu váže mnoho procesů, které mají vliv na životní prostředí. K vymezení procesů, které budou posuzovány slouží systémová hranice. Čím jsou hranice rozsáhlejší, tím je práce komplikovanější a náročnější na získání dat. Existuje několik systémových hranic. Nejčastěji používané jsou:

- **cradle to grave** (od kolébky do hrobu)
 - celý životní cyklus: těžba surovin - výroba materiálu - doprava - zabudování - údržba - likvidace
 - tento přístup je nejobsáhlejší
- **cradle to site** (od kolébky na místo stavby)
 - těžba surovin - doprava na výrobu - výroba materiálu - doprava na místo stavby
- **cradle to gate** (od kolébky k bráně) - zvoleno pro tuto práci
 - těžba surovin - doprava na výrobu - výroba materiálu (případně skladování)
 - výsledná varianta pro tuto práci
 - nejjednodušší, obecná, nejvíce environmentálních dat, ve stavebnictví jedna z nejčastěji používaných

Hranice určují také geografický rozsah studie. Pro datasey v Ecoinventu jsou uváděny i lokality zdroje dat. Nejrelevantnější by bylo použít data pouze z jedné lokality, aby byla porovnatelná. To by ale výrazně omezilo počet dostupných materiálů s environmentálními daty. Proto bylo pro potřeby této práce určeno pořadí lokalit, podle kterého jsou datasey vybírány, pokud jsou k dispozici data z více lokalit.

Tab. 1.1 Pořadí při výběru lokality

pořadí lokality	zkratka použitá v databázi	anglický význam zkratky	český význam
1.	RER	Europe	Evropa
2.	GLO	Global	Globální data
3.	RoW	Rest of the World	Zbytek světa
4.	CH	Switzerland	Švýcarsko

Během výše popsanych procesů (těžba surovin, doprava na výrobu, výroba materiálu, skladování) je ovlivňováno životní prostředí mnoha různými způsoby. Dopad se nedá přesně určit. Míru dopadu na životní prostředí popisují tzv. indikátory - měřitelné prvky či sloučeniny, které se při daných procesech uvolňují či naopak spotřebovávají. Samotných indikátorů je mnoho a bylo by velmi obtížné s takovým množstvím dat dál pracovat. Z toho

důvodu jsou sloučeny do tzv. kategorií dopadu. Jedná se o seskupení se stejným předpokládaným dopadem na životní prostředí. Jednotlivé indikátory jsou přepočítány na ekvivalentní sloučeninu dle stejného dopadu na životní prostředí.

Nejběžnější z nich jsou uvedeny (i s typickou anglickou zkratkou):

- Potenciál globálního oteplování [kg CO₂ ekv.]
 - GWP = global warming potential
- Potenciál okyselování prostředí [SO₂ ekv.]
 - AP = acidification potential
- Potenciál eutrofizace prostředí [(PO₄)³⁻ ekv.]
 - EP = eutrophication potential
- Potenciál ničení ozonové vrstvy [g R-11 ekv.]
 - ODP = ozone depletion potential
- Potenciál tvorby přízemního ozonu [g C₂H₄ ekv.]
 - POCP = photochemical ozone creation potential

- (Spotřeba primární energie [MJ])
 - PEI = primary energy intensity

K pěti kategoriím dopadu je zde přidán parameter spotřeby primární energie. Těchto šest je používáno k porovnávání v České republice (Envimat, SBTool), ale ve světových databázích je mnoho dalších např. znečištění sladkovodní i slané vody, ionizační záření,.... Při porovnání v této práci jsou použity pouze - **GWP** (potenciál globálního oteplování) a **nPEI** (či PEInre). Význam zkratky nPEI (non-renewable primary energy intensity) se od PEI liší tím, že zahrnuje pouze neobnovitelnou složku spotřebované energie.

Přidáním dalších kritérií by násobně vzrostl rozsah práce, což již není žádoucí. Výběr těchto dvou parametrů je mou subjektivní volbou, ale jedním z podkladů pro rozhodování sloužila metodika SBToolu, v které je GWP a PEI přiřazena nejvyšší váha při porovnání environmentálních kritérií. Dohromady mají ze všech 14 environmentálních parametrů váhu 32 % . (viz Tab. 1.2). Tvoří tedy významnou část v komplexním hodnocení kvality budovy. Ostatní kategorie dopadů mají v této metodice poloviční váhu oproti GWP a pouze čtvrtinovou oproti PEI.

Tab. 1.2 Váhování environmentálních kritérií v metodice SBTool pro bytové domy z roku 2013[36]

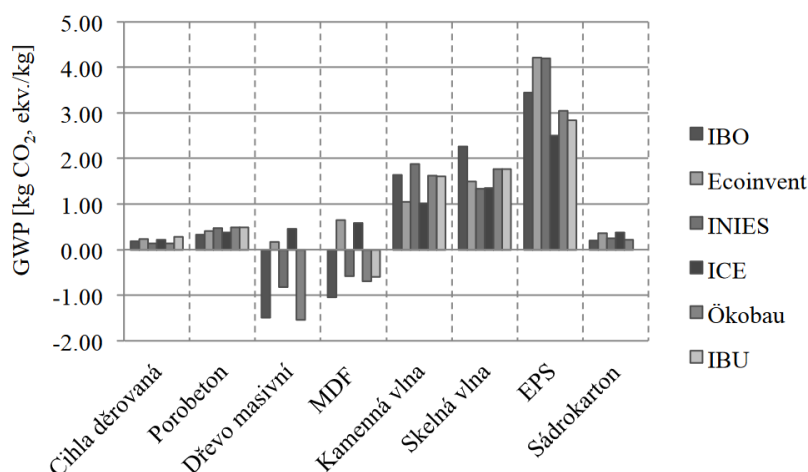
Skupina E - kritérium	Váha
E.01 Spotřeba primární energie	22,3 %
E.02 Potenciál globálního oteplování	9,7 %
E.03 Potenciál okyselování prostředí	4,8 %
E.04 Potenciál eutrofizace prostředí	5,0 %
E.05 Potenciál ničení ozonové vrstvy	3,8 %
E.06 Potenciál tvorby přízemního ozonu	4,6 %
E.07 Výroba obnovitelné energie	5,4 %
E.08 Použití materiálů a výrobků při výstavbě	7,7 %
E.09 Hodnocení stavebních výrobků	5,3 %
E.10 Spotřeba pitné vody	6,1 %
E.11 Zachycení dešťové vody	5,9 %
E.12 Využití půdy	6,0 %
E.13 Zeleň na budově a pozemku	6,7 %
E.14 Ekologická hodnota místa	6,7 %
Celkem	100 %

Pro této práci byla vytvořena vlastní excelová databáze ze zdrojů dat z online databáze Ecoinvent. Je použita verze 3.3 z roku 2016 se systémovým modelem "Allocation, cut-off by classification". Pomocí anglických ekvivalentů a klíčových slov vyhledávány různé datasety. Po vyhledání vhodného datasetu zobrazíme jeho LCIA (life cycle impact assessment). Zde jdou již veškerá dostupná data o materiálu (např. název, popis, vztažná jednotka, lokace, environmentální parametry, ...). Z environmentálních parametrů jsou pro potřeby této práce vyhledávány pouze GWP, které je zde pod CML 2001 - climate change - GWP 100a, jež uvádí, že envi. dopad se uvažuje v řádu 100 let. Druhý parametr je ještě obtížnější z databáze vyzískat. Parametr nPEI je součtem řádků v tabulce "cumulative energy demand", která začínají "non-renewable". Materiálové charakteristiky jsou průměrem hodnot výrobců, databáze Envimat a materiálové databázi programu Teplo.

– cumulative energy demand		
– biomass		
renewable energy resources, biomass	17903	MJ-Eq
– fossil		
non-renewable energy resources, fossil	4588.3	MJ-Eq
– geothermal		
renewable energy resources, geothermal, converted	0.77559	MJ-Eq
– nuclear		
non-renewable energy resources, nuclear	673.18	MJ-Eq
– primary forest		
non-renewable energy resources, primary forest	2.6904	MJ-Eq
– solar		
renewable energy resources, solar, converted	0.088707	MJ-Eq
– water		
renewable energy resources, potential (in barrage water), converted	81.501	MJ-Eq
– wind		
renewable energy resources, kinetic (in wind), converted	30.001	MJ-Eq

Obr. 1.6 Ukázka LCIA z Ecoinventu pro dataset "oriented strand board [m³]" (zisk environmentálního parametru nPEI)

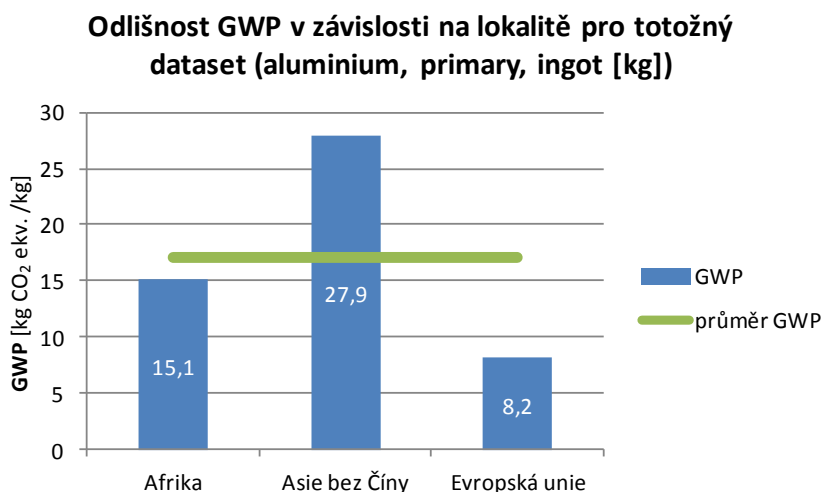
Výsledky LCA jsou značně nepřesné. Důvody vzniku nepřesností bych chtěla demonstrovat na několika příkladech. V grafu Obr. 1.7 je patrné jak se liší GWP pro vybrané materiály z odlišných databází. Databáze nemají stejné systémové hranice pro získání environmentálních parametrů, proto se např. u dřevěných výrobků některé databáze dostávají i do záporných hodnot, protože je započítáno CO₂, které do sebe při růstu stromy naváží. Dalším příkladem je v stejném grafu kamenná vlna u které se environmentální dopady z různých zdrojů liší téměř dvanásobně. V této práci je využita pouze jedna databáze, takže tento vliv by měl být eliminován.



Obr. 1.7 Graf zobrazující rozdíly environmentálních dat z různých databází [37]

Dalším příkladem je již zmíněný vliv lokality sběru dat. Jak se patrné z grafu Obr. 1.8 výrazně se mohou lišit i data ze stejné databáze, ale pouze změnou lokace. Pro totožný název datasetu hliníku, jsou porovnány hodnoty GWP. Hodnoty GWP z Asie (mimo Čínu)

vychází téměř 3,5násobně víc než totožná data, ale z Evropské unie. Tento fakt přisuzuji faktu, že Evropa se snaží být ohleduplná k životnímu prostředí a naopak do Asie se často prodávají naše emisní povolenky. Tato nepřesnost je již do této diplomové práce vnesena, jak je již popsáno výše, především z důvodu potřeby různých materiálů, které nejsou k dispozici se stejnou lokací.



Obr. 1.8 Odlišnost GWP v závislosti na lokalitě pro totožný název datasetu z Ecoinventu

Z důvodu takových to odchylek environmentálních výsledků jsou řešeny pouze hlavní vrstvy konstrukcí. Z důvodu pracnosti a rozsahu práce není posuzován environmentální dopad překladů, kotvicích hmoždinek v zateplovacím systému, některá lepidla,... . U skladeb (kapitola Svázané dopady jednotlivých konstrukcí 5.2) je vždy vypsáno, jaké vrstvy jsou uvažovány.

Získ dat

I přesto, že Ecoinvent je daleko rozsáhlejší a aktuálnější databáze než český Envimat, je získáno pouze omezené množství datasetů stavebních materiálů. Některé další jsou uměle vyrobené ze získaných environmentálních dat. Pro některé inovativní (vakuová, PUR či PIR izolace,...) či alternativní (tepelná izolace z konopné či ovčí vlna, ...) materiály, nejsou v této verzi datasety k dispozici a proto nejsou porovnávány

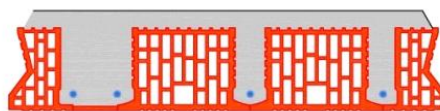
a) procentuální zastoupení

Procentuálním zastoupením jednotlivých materiálů ve výrobku je vytvořen požadovaný prvek. Většinou se jedná o určení daných ploch v řezu a následná přepočítání na procenta. Je problém, který výrobek zvolit jako výchozí, jelikož je mnoho různých výrobců, typů a velikostí. Je snaha vybrat průměrný, nejčastěji používaný či průměr z několika výrobků.

Příklad stanovení zastoupení dílčích materiálů pro stropní konstrukci z keramických panelů = beton + (keramika + beton + ocel) (viz Tab. 1.3)

Tab. 1.3 Procentuální podíl zastoupení materiálů ve stropní konstrukci z keramických panelů

STROPNÍ KONSTRUKCE Z KERAMICKÝCH PANELŮ		
materiál	plocha	zastoupení
	[m ²]	[%]
beton v panelu	0,0901	58,60
ocel v panelu	0,0008	0,52
keramika v panelu	0,0629	40,88
panel CELKEM	0,1538	100
panel	0,1538	92,78
dobetonávka	0,0120	7,22
CELKEM	0,1657	100



b) přes objemovou hmotnost

Tento postup je použit u většiny teplených izolací, jelikož se dle objemové hmotnosti mění jejich vhodnost použití do určité konstrukce. V databázi se environmentální data uvádí obvykle na 1 kg daného materiálu. Kilogramy se tedy přenásobí příslušnou objemovou hmotností daných materiálů a tím lze získat odlišné výrobky s environmentálními dopady na 1 m³.

c) výrobní procesy

V databázi jsou kromě materiálu i procesy výroby. Pokud zde není dataset výrobku, ale je znám výrobní proces, lze získat data tímto způsobem. Nalezne se dataset daného materiálu a potřebné hodnoty se sečtou s hodnotou envi. dat u výrobního procesu. Tímto způsobem jsou vytvořeny např.:

- nopová folie = HDPE (vysokohutní polyethylén) + proces vytahování plastů
- hliníkové profily = hliník + proces ohýbání hliníku

d) EPD

Je anglická zkratka pro Environmental Product Declaration, česky environmentální prohlášení o produktu. Označuje dokument, který si může výrobce objednat u specializované certifikované společnosti, která detailně analyzuje proces výroby daného materiálu v dané fabrice a vyhodnotí environmentální dopad konkrétního výrobku.

Uvádí se v nich i environmentální parametry posuzované v této práci. Pro toto práci však data z EPD nejsou příliš vhodná, protože jsou úzce orientovaná. Popisují pouze jednoho výrobce a jeho jeden konkrétní výrobek. Jsou použita pouze na ověření dat.

Keramické tvarovky, na které je tato práce zaměřena především, se v databázi Ecoinvent vůbec nenachází. Z důvodu, že se jedná o důležitou část této práce, jsou zvoleny hned 2 různé procesy získání dat. Zaprvé umělé vytvoření keramických tvarovek procentuálním zastoupením z cihly plně pálené, ke které jsou envi. data v této databázi k dispozici. Keramických tvarovek je velké množství - různí výrobci, tloušťky, různé výrobní řady. Je proto vybráno několik výrobků a zprůměrováno procentuální zastoupení keramiky a dutin. Vznikly obavy, že

pouhým přenásobením envi. dat cihly plně pálené 52 %, tedy skoro poloviční hodnotou, nevzniknou data příliš relevantní a vycházejí překvapivě dobře. Proto jsou pro ověření využita data z EPD. Tento certifikát vlastní například firma Heluz, která se zabývá výrobou keramických tvarovek [27],[12]. Data z obou zdrojů jsou převedena na shodné jednotky a porovnána (viz Tab. 1.4). Milým zjištěním je, že data z obou zdrojů jsou podobná. Environmentální data, která jsou použita do celkového porovnání, vznikla zprůměrováním obou dvou postupů.

V dokumentu EPD na webových stránkách firmy Heluz jsou environmentální data uvedena ne pro jednotlivé výrobky, ale pro jednotlivé fabriky. Sortiment této společnosti je rozsáhlý. Byla snaha data zprůměrovat.[12]

Tab. 1.4 Environmentální data keramických tvarovek z různých zdrojů [10][12]

	GWP	nPEI	vztažná jednotka	průměrná ploš. hmotnost [kg/m ²]	průměrná tloušťka [m]
	kg CO ₂	MJ			
EPD průměr všech výrobků firmy Heluz, specializující se na keramické tvarovky	282,0	2882,0	na 1000 kg	250	0,3
data vycházející z cihly plně pálené (52 %)	235,0	2401,7	na m ³	→ 833,3 kg/m ³	
keramická tvarovka	234,4	2470,7	na m³		

Dalším kombinovaným způsobem byla získána data pro okna. Ve švýcarské databázi jsou rámy a zasklení uvedené zvlášť. Rámy oken jsou uvedeny na jednotku 1m² viditelné plochy (stavebního otvoru). Proto je provedena zjednodušená analýza možných variant rozměrů okna s plochou 1m².

Tab. 1.5 Analýza možných variant rozměrů okna s plochou 1m²

rozměry okna		obvod rámu
šířka	délka	
[m]	[m]	[m]
0,40	2,50	5,80
0,60	1,67	4,53
0,80	1,25	4,10
1,00	1,00	4,00
1,20	0,83	4,07
1,40	0,71	4,23
1,60	0,63	4,45
průměrný obvod		4,45

Z tohoto analýzy, jsem si pro účely této práce stanovila, že dataset odpovídá délce rámu 4,45 m. Z výkresů je odečtená délka všech rámu oken a podělena průměrnou hodnotou 4,45 m a až poté vynásobena danými envi. daty z databáze. Takovýmto způsobem byl stanoven celkový envi. dopad rámu oken pro tento objekt.

Envi. data zasklení jsou již vztažena na obvyklou jednotku - m², tudíž byla pouze přenásobena plochou zasklení, která je získána z celkové plochy oken odečtením plochy rámu.

Sečtením výše popsaných envi. dat zasklení a rámu, získáme envi. dopad oken celého objektu. Pro možnost porovnání s ostatními konstrukcemi je celkový dopad oken objektu vydělen jejich plochou. Výsledná porovnávaná jednotka je na m² oken tohoto domu.

Provozní environmentální dopady

Environmentální dopad potřeby tepla na vytápění závisí na daném energonositeli a zdroji tepla. Pro každý energonositel jsou charakteristické určité hodnoty účinnosti - zdroje, rozvodů a sdílení tepla do prostoru. Proto jsou environmentální dopady počítány ze spotřeby tepla na vytápění, která na rozdíl od potřeby účinnost zahrnuje. Spotřeba se nadále vynásobí danými konverzními a emisními faktory, které jsou převzaty z metodiky SBToolu 87[15] viz Tab. 1.6. Konverzní faktory jsou uvedeny i ve vyhlášce č. 78/2013 Sb. [24], ale již zde nenajdeme GWP, které k porovnání také potřebujeme. Z důvodu zisku dat k oběma environmentálním parametrům z jednoho zdroje a ovlivněnosti konverzních faktorů ve vyhlášce politickým směřováním v dané zemi, je použita metodika SBToolu.

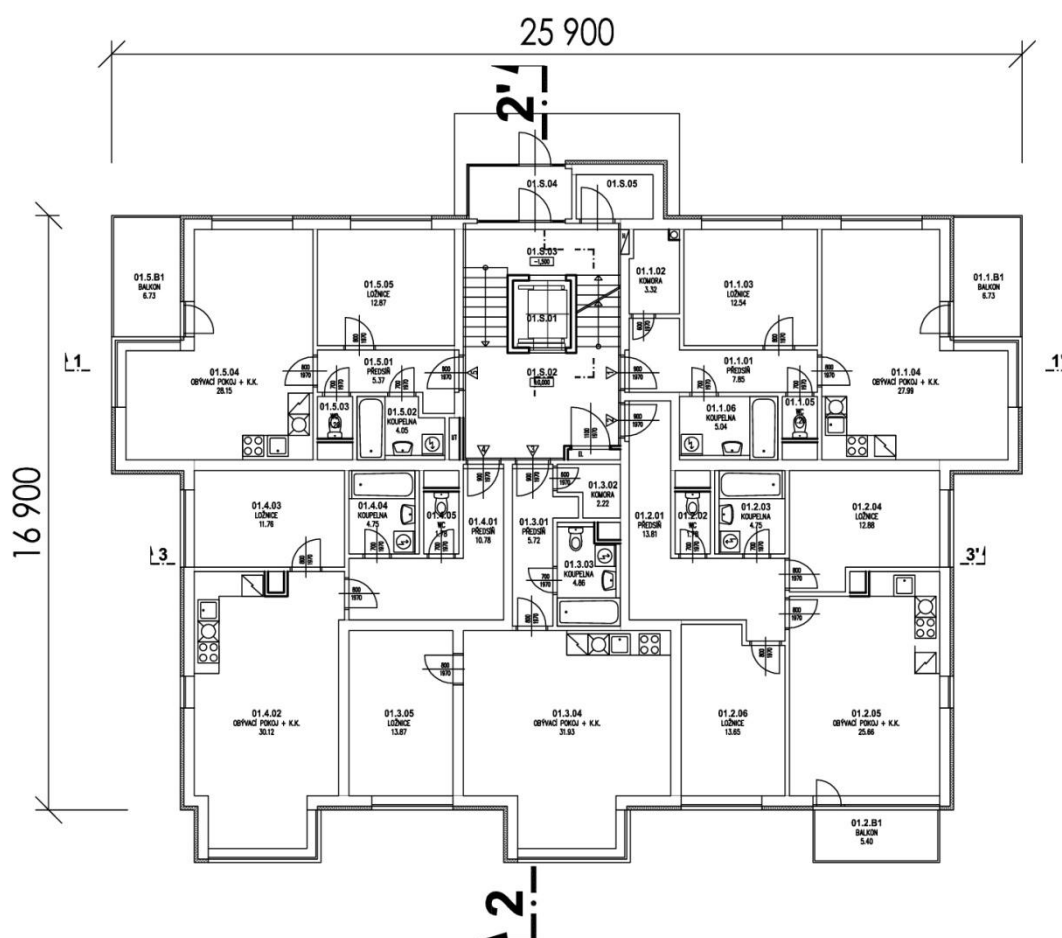
Tab. 1.6 Konverzní a emisní faktory [15]

Zdroj energie/tepla	Faktor energetické přeměny	emisní faktor				
		CO _{2,ekv.} (GWP)	SO _{2,ekv.} (AP)	kg Phosphate-Equiv. (EP)	ethen (POCP)	kg R11-Equiv. (ODP)
	[MJ/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]
kotel na palivové dřevo	0,05	0,0052	0,0001280	0,000046500	0,000002345	0,0000000003075
kotel na dřevěné pelety	0,15	0,0147	0,0001149	0,000056950	0,000003765	0,0000000009940
kotel na černé uhlí	1,40	0,124	0,0006880	0,000171400	0,000168000	0,0000000006948
kotel na zemní plyn	1,20	0,0716	0,0000569	0,000011059	0,000006302	0,0000000007461
solární kolektor	0,05	0,0029	0,0000230	0,000016800	0,000001400	0,0000000003540
elektrická energie – mix ČR	3,00	0,211	0,0005961	0,001080860	0,000020738	0,0000000049386
elektrická energie – fotovoltaická elektrárna	0,20	0,0238	0,0001143	0,000071800	0,000007034	0,0000000046880
teplárna na uhlí	1,40	0,106	0,0001619	0,000093680	0,000006126	0,0000000002382
teplárna na zemní plyn	1,40	0,0684	0,0000744	0,000009457	0,000005688	0,0000000007784
teplárna ORC (spalování biomasy)	0,10	0,0109	0,0000863	0,000035770	0,000001645	0,0000000003040

2. Posuzovaný objekt

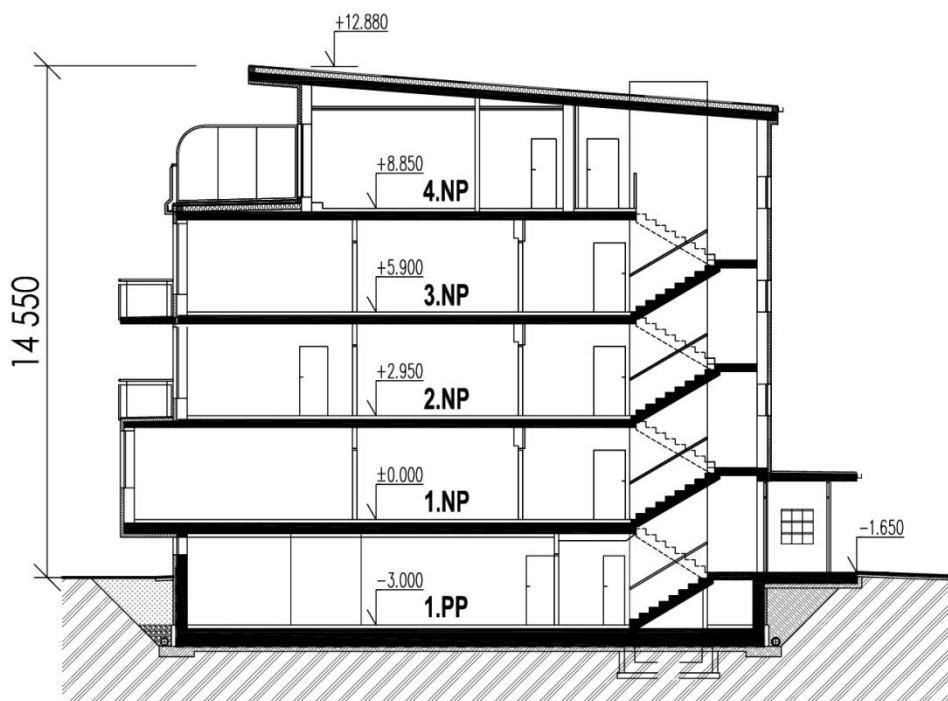
2.1 Obecný popis

Jedná se o 5-ti podlažní bytový dům (viz přílohy č. 1 a 2 a Obr. 2.1, Obr. 2.2) přičemž 1.PP je částečně zapuštěné a slouží jako garáže. V nadzemních podlažích se nachází bytové jednotky. V 1.NP - 3.NP se nachází vždy 5 různě velikých bytových jednotek na jednom podlaží. Každý byt má vlastní balkon, pouze 2 byty v 1. NP mají místo balkonů arkýř a byty nad nimi využívají střechu arkýře. Poslední podlaží (4.NP) je ustupující, nachází se zde pouze 2 větší byty s terasou. Střecha je pultová.



Obr. 2.1 Schéma objektu - Půdorys 1.NP [1]

Objekt je vysoký 14,5 m (viz Obr. 2.2) Obr. 2.2 Schéma objektu - Řez 22 [1] a rozkládá se na přibližně obdélníkovém půdoryse s rozměry 17 x 26 m (viz Obr. 2.1). Podlaha posledního podlaží je ve výšce 8,85 m nad podlahou 1.NP. Objekt tedy splňuje požární požadavky pro dům s požární výškou do 12 m a fasádní zateplovací systém nemusí být z materiálů třídy A1/A2, tedy nehořlavé [21]. Detailní popis v kapitole 5.1.1 Tepelné izolace.

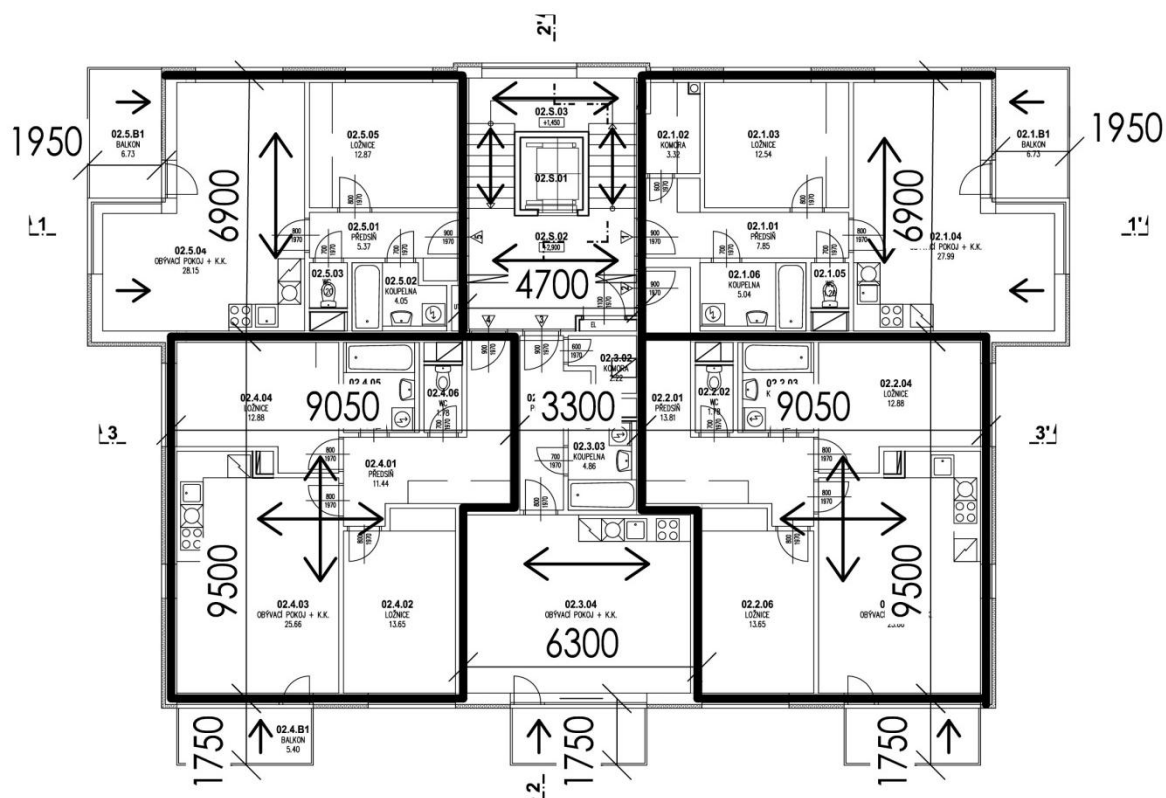


Obr. 2.2 Schéma objektu - Řez 22' [1]

2.2 Konstrukční systém

Tato diplomová práce se zaměřuje na keramický zdicí systémem. Konstrukční systém je tedy stěnový, který v 1.PP přechází do sloupového z důvodu volné dispozice pro automobily. Rozpony a pnutí stropů jsou odvozené z výkresové dokumentace dle tloušťky zdi. Vnitřní stěny tl. 300 jsou považovány za nosné a ve většině případů i mezibytové, tedy širší z důvodu akustiky.

Konkrétní zadání je poměrně komplikované, vzhledem ke statickému návrhu. Rozpony stropních konstrukcí se pohybují v rozmezí od 3,3 m do 9,5 m (viz Obr. 2.3). V některých částech jsou ještě vykonzolované navazují předsazené konstrukce balkonů či arkýřů. Objevují se zde rohová okna bez sloupků s délkou až 4,7 m. Úkolem této diplomové práce není navrhování nosných systémů, ale environmentální posouzení zadané výkresové dokumentace s možností měnit skladby. Dispoziční řešení je tedy ponecháno bez jakékoliv změny, ale z toho důvodu se nabízí jediná možná varianta - železobetonový monolitický stop. Cílem je sice navrhnout optimální variantu pro zadaný bytový dům, ale práce by měla mít i určitý přesah. Měly by zde být i obecné poznatky, které by případně pomohly environmentálně založenému investorovi. Proto jsou v práci posouzeny i další možné varianty.



Obr. 2.3 Schéma pnutí stropů

Výrobci keramických tvárníc mají obvykle celé systémové řešení z jejich výrobků (stěny, překlady, stropy). Možnosti keramických stropů neumožňují takové rozpory a proto jsou z výslední varianty předem vyloučeny. Z důvodu rohových oken bez sloupku jsou keramické překlady nahrazeny železobetonovými. Snaha o kombinaci (použití keramiky pouze v některých případech) by byla technologicky zmatečná.

3. Obálka budovy

Obálka budovy je dle zákona 406/2000 Sb. O hospodaření energií § 2 Základní pojmy "soubor všech teplosměnných konstrukcí na systémové hranici celé budovy nebo zóny, které jsou vystaveny přilehlému prostředí, jež tvoří venkovní vzduch, přilehlá zemina, vnitřní vzduch v přilehlém nevytápěném prostoru, sousední nevytápěné budově nebo sousední zóně budovy vytápěné na nižší vnitřní návrhovou teplotu".[25]

V této práci jsou oproti této definici do hodnocení přidány konstrukce nevytápěného prostoru, které sice netvoří tepelněizolační obálku budovy, ale oddělují objekt od okolního prostředí.

Právě přes obálku budovy dochází k interakci odlišných prostředí. Dominantní vliv má exteriérové prostředí na intriérové. Míra ovlivňování závisí především na rozdílnosti obou prostředí a skladbě dělicích konstrukcí. Z hlediska konstrukce závisí především na ploše, tepelněizolačních a akumulacích vlastnostech a na počtu pláštíků dané konstrukce.

Materiálových i skladebných variant konstrukcí obálky budovy bytového domu je nepřeberné množství. I přes snahu, o co nejširší přehled možných skladeb, se nejedná o konečný výčet. Pro potřeby této diplomové práce to však není stěžejní. Pro následné hodnocení (viz kapitola 5.2) budou vybrány pouze některé z představených skladeb

3.1 Přehled skladeb

Obálka budovy se v tomto konkrétním případě skládá z 6 základních konstrukcí:

- A. Střecha (terasa)
- B. Obvodová stěna
- C. Stropní konstrukce 1.PP
- D. Suterénní stěna
- E. Podlana suterénu
- F. Výplně otvorů (okna/dveře)

V 1. NP se nacházejí ještě 3 konstrukce, které tvoří tepelněizolační obálku budovy, ale díky své velmi malé rozloze nejsou řešeny ve variantách, ale pouze logicky navazují na okolní konstrukce. V energetickém posouzení je s nimi počítáno. Z hlediska environmentálního posouzení je zjednodušeně pouze přičtena jejich plocha k obdobné konstrukci. Jedná se o podlahu a střechu arkýřů (v dalších patrech již pouze balkóny) a o prostor vstupu do objektu, který, jak je popsáno v energetické části (kapitola 4.2), je uvažován jako součást vytápěné zóny. Tvoří tedy rozhraní vytápěný prostor - zemina, který se jinde u objektu nevyskytuje.

Posuzovaný objekt obsahuje i balkóny. Ty jsou uvažovány vykonzolované ze stropní konstrukce přes tepelněizolační prvky (izokorby) v úrovni stropní konstrukce. Nejsou tedy již zahrnuty do tepelněizolační obálky.

U jednotlivých konstrukcí je vždy přehled možných skladebných variant s obecným popisem. Přehled materiálových možností je souhrnný pro všechny konstrukce, a je uveden až za poslední stavební konstrukcí, tedy za kapitolou 3.1.E Podlana suterénu. Z uvedených

skladeb a materiálů nejsou vždy všechny zcela kompatibilní. Konstrukce jsou zjednodušené a vždy záleží na konkrétním případě a použitých materiálech zda není třeba nějakou vrstvu (lepidla, parotěsnou fólii,..) přidat. V některých případech může naopak některá vrstva plnit více funkcí a skladba se může zredukovat.

3.1.A Střecha a terasa

Střecha a terasa jsou sloučeny do jedné kategorie, jelikož jejich skladby jsou velice podobné. Terasu můžeme brát, jako pochozí střechu. Ve skladbě se liší pouze poslední exteriérovou vrstvou. U střechy hovoříme o krytině a na terase se jedná o pochozí souvrství.

Střešní konstrukce může mít mnoho různých podob. V tomto konkrétním případě se jedná o plochou pultovou střechu se sklonem 4° (tedy 7 %) a uvedené skladby tomu odpovídají.

Obecné dělní střešních konstrukcí:

- jednoplášťová konstrukce
 - klasické pořadí vrstev
 - inverzní
- dvouplášťová konstrukce

dle konstrukce, která tvoří spád

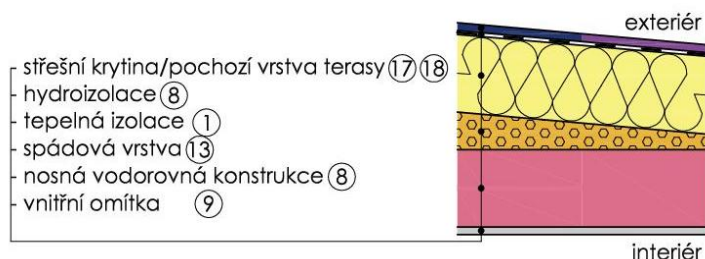
- spádová vrstva
- nosná konstrukce ve sklonu

Jednoplášťová konstrukce

Jsou kompaktní, a proto mívají menší tloušťku než dvouplášťové konstrukce. Hydroizolační vrstva je zabudovaná do skladby a hrozí zde problém s průchodností vodních par z interiéru. Proto je vhodné takovou skladbu vždy detailně posoudit a případně doplnit o parozábranu či parobrzdnu fólii.

Klasické pořadí vrstev

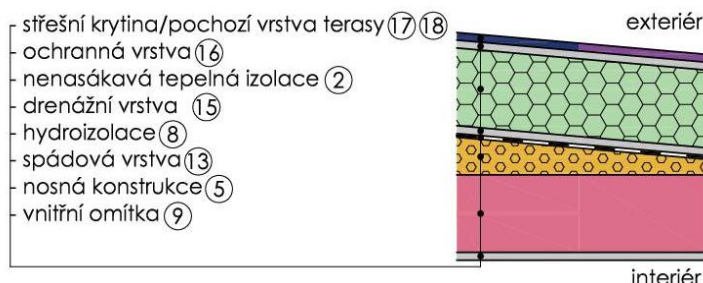
U teras je tento typ často problematický z důvodu dlouhodobé soudržnosti pochozí vrstvy a hydroizolace.



Obr. 3.1 Střecha A 1.1. jednoplášťová s klasickým pořadím vrstev

Inverzní

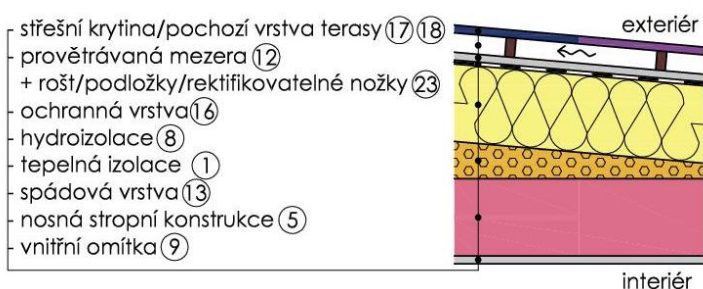
Hydroizolační vrstva je ve skladbě posunuta blíže k interiéru. Je zde nutné použít nenasákavou tepelnou izolaci. Hydroizolační vrstva je více chráněna před změnami teplot.



Obr. 3.2 Střecha A 1.2 jednoplášťová - inverzní.

Dvouplášťová konstrukce

Jedná se o konstrukci, ve které je provětrávaná vzduchová mezera. Nejsvrchnější vrstva je tedy oddílátována od dalšího souvrství a proto je zde menší namáhání konstrukce z důvodu teplotních změn. Je vhodná pro přirozený odvod vodní páry

Spádová vrstva

Obr. 3.3 Střecha A 2.1.dvouplášťová

Střešní konstrukce obecně se skládá z nosné konstrukce a střešního pláště. Kritériem pro volbu nosné části je kromě důležitých parametrů jako zatížení sněhem, rozpon, sklon,.. , také to, jakou stropní konstrukci si můžeme v posledním patře dovolit.

Konstrukce ve spádu

Obr. 3.4 Střecha se stropem ve spádu

3.1.B Obvodová stěna

Jedná se o konstrukci, která má důležitý vliv jak na energetický výpočet, tak na environmentální dopady. Důvodem je, že plocha obvodové stěny tvoří na většině bytových domů největší část obálky. Tento objekt není výjimkou a v tomto případě je to přes 718 m²(bez oken). Konstrukce s druhou největší plochou je strop na garážemi s rozlohou 386 m². Plocha je stěžejním parametrem jak pro výpočet tepelných ztráty prostupem, tak pro environmentální dopad celého objektu.

Na konstrukce obvodové stěny byla uplatněna zadaná materiálová skupina - keramický zdící systém. Pálené keramické bloky jsou tradičním materiálem. V minulosti hojně používané cihly plně pálené, jsou již dnes nahrazeny velkoformátovými keramickými tvárnici, které je předčí hned v několika ohledech - lepší tepelněizolační vlastnosti, menší pracnost při zdění, větší rychlost výstavby, větší přesnost a menší hmotnost.

Jsou uvažovány 4 typy velkoformátových keramických tvarovek:

- keramické tvarovky pro jednovrstvé zdivo
 - keramické tvárnice vyplněné EPS [27]
 - keramické tvárnice vyplněné MV [26]
 - speciálně vylehčené keramické tvárnice [26]
- klasické keramické tvárnice

U keramických tvárnice pro jednovrstvé zdivo je jejich lepší tepelněizolační vlastnost vykoupena nižší pevností a proto není jisté, zda by únosnost byla dostačující pro 4 podlaží bytového domu. Pro environmentální posouzení je však ve výběru ponechávám.

Nepálené cihly či dusaná hlína jsou v mnoha státech světa využívány po staletí až dodnes. Na našem území byly využívány v minulosti, poté je nahradily cihly pálené. Dnes, v době, kdy se zabýváme energetickou náročností výrobků a zdravým vnitřním prostředím, se opět navrací. Pro svou nestálost z hlediska vlhkosti nejsou pro obvodovou stěnu bytového domu vhodné. Je možné je využít na vnitřní příčky, ale do obvodové stěny se používají jen ve výjimečných případech.

Obvodová zeď může být také formou nosného železobetonového skeletu s vyzdívkou z keramických tvárnice. Toto řešení je pracné, časově náročné a u 4. podlažního objektu zbytečně předimenzované, proto ho zde neuvádím. Vnitřní zateplení stěn zde rovněž není uvažováno. Používá se především pro dodatečné zateplení historického objektu.

Obecné dělní obvodových konstrukcí:

- jednovrstvá konstrukce
- vícevrstvá konstrukce
 - jednoplášťová konstrukce
 - dvouplášťová konstrukce

Jednovrstvá konstrukce

Jedná se o variantu, kde zdivo plní, mimo jiné, i funkci tepelněizolační. Jedná se o keramické tvarovky, které jsou vyplněné tepelněizolačním materiálem či speciálně lehčené.



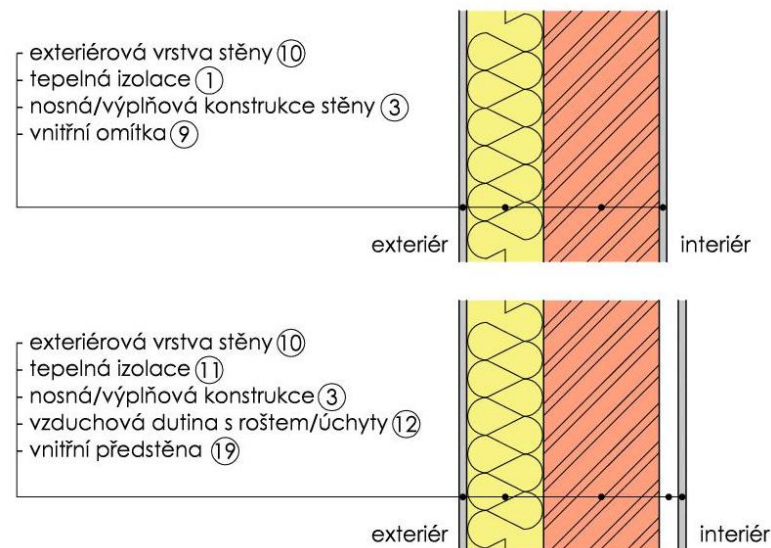
Obr. 3.5 Obvodová stěna C 1. jednovrstvé zdivo

Vícevrstvá konstrukce

Tradiční řešení, ve kterém tepelněizolační funkci stěny, plní jiná vrstva než zdivo.

Jednoplášťová konstrukce

Tento typ je znám pod zkratkami ETICS (anglická zkratka - external thermal insulation composite system) či KZS (česky - kontaktní zateplovací systém). Jedná se o nejrozšířenější systém.

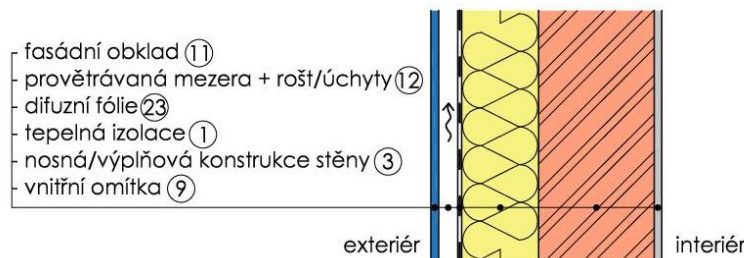


Obr. 3.6 Obvodová stěna C 2.1. jednoplášťová ETICS

Varianta s předstěnou není příliš častá. Předstěna může být z různých důvodů např. akustický obklad, instalační předstěna, ...

Dvouplášťová konstrukce

V konstrukci stěny je ponechána vzduchová mezera (obvykle 40 mm). Představený plášť tvoří ochranou funkci a snižuje nesilové namáhání konstrukce z důvodu povětrnostních vlivů.



Obr. 3.7 Obvodová stěna C2.2. dvoulášt'ová

3.1.C Stropní konstrukce 1.PP

V tomto konkrétním bytovém domě se v 1.PP nachází velkoprostorové garáže. Při pohybu automobilů vzniká jedovatý oxid uhlenatý a další škodliviny. V těchto uzavřených prostorech se ovšem pohybují i lidé a je tedy nutností tyto prostory důkladně odvětrávat. Za přirozeně, odpadním vzduchem z bytů či vlastním systémem je již na detailnějším prozkoumání vzduchotechnika. Pro potřeby této práce to znamená, že zde bude velká výměna vzduchu a je zbytečné tyto prostory vytápět.

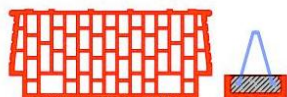
Obvykle se stropní konstrukce bytových domů dělají ze železobetonu. V případě, když na svislé konstrukce používáme keramický zdicí systém, se naskýtá nepříliš časté řešení aplikovat keramiku i na vodorovné konstrukce. Skládané keramické stropy mohou ve dvou variantách. Mají obvykle menší únosnost, jsou pracné a nevyhneme se mokřým procesům na stavbě. Výhodami takových systémů jsou např. váha, tepelněizolační vlastnost, požární odolnost a že jsou samonosné.

Železobetonových stropních konstrukcí je mnoho druhů, zde je možné základní rozdělení:

- monolitická
 - desková
 - trémová
 - kazetová
- prefabrikovaná
 - trámy
 - panely
 - předpnuté dutinové panely - spirally
- prefa-monolitická

Pro keramické skládané stropy jsou typické 2 základní varianty:

- MIAKO vložky + nosníky



- keramické panely



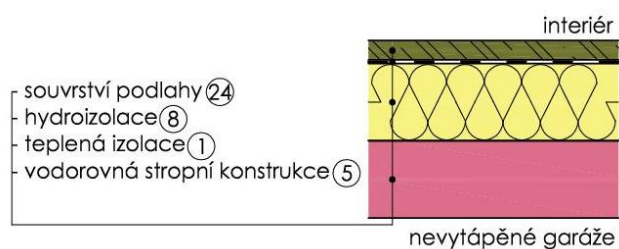
Obecné dělení zateplených stropních konstrukcí:

- Dle umístění tepelné izolace
 - v podlaze
 - na stropě
 - kombinace

Dle umístění tepelné izolace

V podlaze

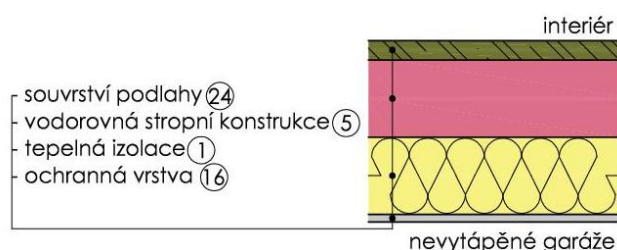
Do souvrství podlahy se v bytových domech dává akustická izolace, která může sloužit i jako tepelná izolace. Zde odpadá problém s kotvením, ale díky stěnám vznikají liniové tepelné mosty. Zda je na tepelné izolaci potřeba hydroizolace, závisí na zvoleném podlahovém souvrství. Při mokřem procesu je nutné tepelnou izolaci ochránit před vlhkostí.



Obr. 3.8 Stropní konstrukce 1.PP C 1.1. tepelná izolace v podlaze

na stropě

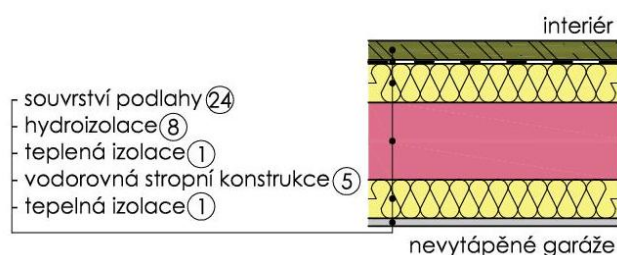
V tomto případě jdeme proti gravitaci a nevýhodou je nutné kotvení. Je vhodné použít desky tepelné izolace již s povrchovou úpravou. Z požárního hlediska je možné zde využít pouze nehořlavý materiál.



Obr. 3.9 Stropní konstrukce 1.PP C 1.2.tepelná izolace na stropě

kombinace

Kombinace je pracná a časově náročná, ale lze tak dosáhnout velmi dobrých tepelných vlastností.



Obr. 3.10 Stropní konstrukce 1.PP C 1.3.kombinace

3.1.D Suterénní stěna

Jedná se o stěnu 1. PP, která je částečně zapuštěná do země a z části vystupuje nad terén. Výsledná varianta musí odolat vodorovnému zatížení od zeminy. Toto podlaží slouží jako společné parkovací prostory a proto zde není nutno esteticky upravovat vnitřní stranu.

Obecné dělení suterénních stěn(lze i různě kombinovat):

zateplená

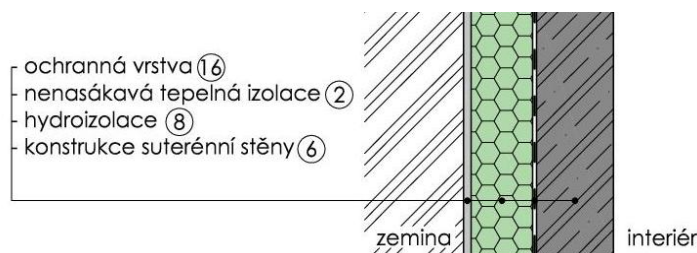
nezateplená

hydroizolace

nosná stěna s hydroizolačními vlastnostmi

zateplená konstrukce

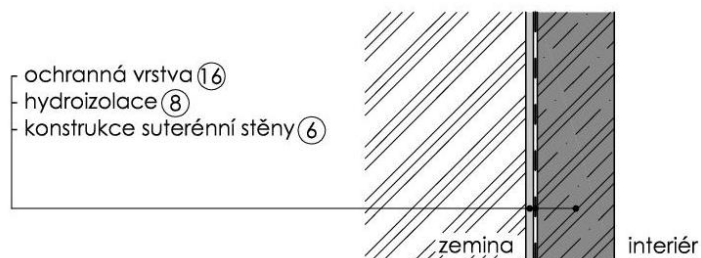
Jedná se o variantu, kde je suterén vytápěn nebo tepelná izolace slouží jako ochranná vrstva zdi. V tomto případě bude zateplená pouze vrchní část z důvodu zmírnění tepelného mostu.



Obr. 3.11 Suterénní stěna D 1. zateplená

nezateplená konstrukce

hydroizolace



Obr. 3.12 Suterénní stěna D 2.1. nezateplená s hydroizolací

nosná stěna s hydroizolačními vlastnostmi

Železobetonová konstrukce se speciálními hydroizolačními přípravky je technologicky náročná.



Obr. 3.13 Suterénní stěna D 2.1. bílá vana

3.1.E Podlaha suterénu

Jelikož tepelněizolační obálku budovy tvoří stropní konstrukce 1. PP a objekt je po obvodu založen na základových pasech a vnitřní sloupy na patkách. Jedná se tedy pouze o nezateplenou desku pro pojízdné souvrství.

Obecné rozdělení konstrukcí na zemině:

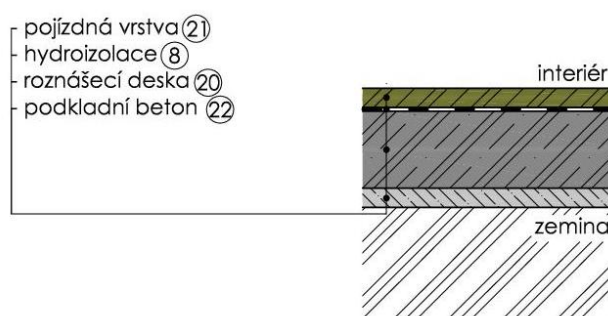
- nezateplená
- zateplená

tepelná izolace na vnitřní straně

tepelná izolace na vnější straně

- nezateplená

Pouze jednoduchá konstrukce, která roznáší zatížení od vozidel. Na vnitřní straně je v mírném spádu. Tvoří spodní hydroizolační obálku objektu.

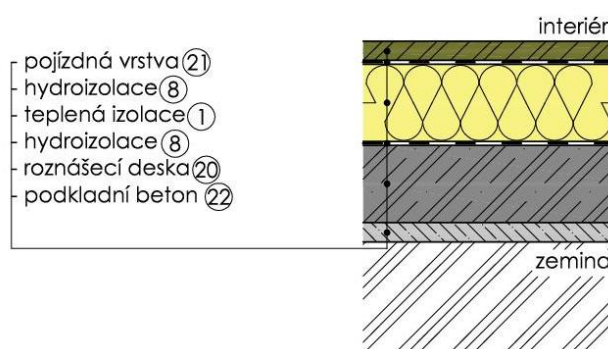


Obr. 3.14 Základová deska E 1. bez tepelné izolace

- **zateplená**

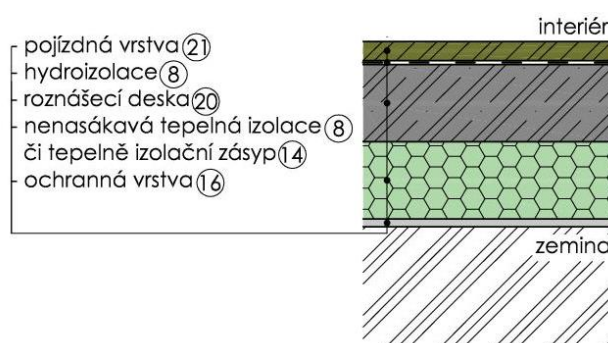
Neobjevuje se v tomto konkrétním případě, ale u bytových domů bez podzemních garáží. V obou případech se musí jednat o únosnou a tuhou tepelnou izolaci.

tepelná izolace na vnitřní straně



Obr. 3.15 Základová deska E 2.1. tepelná izolace na vnitřní straně

tepelná izolace na vnější straně



Obr. 3.16 Základová deska E 2.2. tepelná izolace na vnější straně

MATERIÁLOVÉ VARIANTY:**① tepelná izolace**

- obvyklé řešení
- EPS (pěnový polystyrén)
- šedý EPS
- XPS (extrudovaný polystyrén)
- minerální vata
- netradiční řešení
- dřevovláknitá izolace
- ovčí rouno
- konopná izolace
- lněná izolace
- korková izolace
- stříkaná
- foukaná - celulózová

**② nenasákavá tepelná izolace**

- XPS
- pěnové sklo

**③ nosná/výplňová konstrukce stěny**

- keramické tvárnice
- broušené tvárnice na lepidlo (lepidlo = malta pro tenkou spáru na bázi cementu)
- broušené tvárnice na pěnu (pěna = polyuretanové tenkovrstvé lepidlo)
- nebroušené tvárnice na maltu

**④ konstrukce stěny - jednovrstvé zdivo**

- keramické tvárnice vyplněné EPS
- keramické tvárnice vyplněné minerální vatou
- keramické tvárnice velké šířky

**⑤ nosná stropní konstrukce**

- železobetonová
- monolitická
- desková
- trémová
- kazetová
- prefabrikovaná
- trámy
- panely
- předpnuté dutinové panely - spirally
- prefa-monolitická
- keramické panely
- nosníky + MIAKO vložky
- keramické panely

**⑥ konstrukce suterénní stěny**

- železobetonová
- monolitický
- prefabrikovaný
- ztracené bednění
- keramický zdící systém
- zdivo

**⑦ konstrukce suterénní stěny s hydroizolačními vlastnostmi**

- bílá vana

⑧ hydroizolace

- asfaltový pás
- fóliová hydroizolace
- krystalizační nátěr

⑨ vnitřní omítka

- obvyklé řešení
- jádrová
- + štuková
- + stěrková
- + sádrová
- + natahovaná
- netradiční řešení
- hliněná

⑩ exteriérová vrstva stěny

- omítky
- silikonová
- silikátová
- akrylátová
- cementový štuk
- tepelně izolační
- obklad
- keramické obkladové pásy
- předstěna
- režné zdivo

⑪ fasádní obklad

- cementotřískové desky
- dřevo
- keramické obklady
- kámen
- betonové desky
- laminátové desky
- hliníkové lamely

⑫ rošt/bodové úchyty na fasádě

- hliníkový
- ocelový
- dřevěný

⑬ spádová vrstva

- XPS
- EPS
- pórobeton
- lehčené betony

⑭ tepelně izolační zásyp

- šterk z pěnového skla
- keramzit

⑮ drenážní vrstva

- nopová fólie
- asfaltové body (terčíky)
- smyčková rohož



- | | |
|--|--|
| <p>①⑥ ochranná vrstva</p> <ul style="list-style-type: none"> - geotextilie - nopová folie <p>①⑦ střešní krytina</p> <ul style="list-style-type: none"> - asfaltové pásy - foliová hydroizolace - plechová krytina - zelená střecha <p>①⑧ pochozí vrstva terasy</p> <ul style="list-style-type: none"> - obvyklé řešení - dlaždice - do lepidla - na pryžové podložky - na rektifikovatelné plastové nožky - dřevěný rošt - odolné dřevo - tropické, nátěr | <p>①⑨ vnitřní předstěna</p> <ul style="list-style-type: none"> - sádkokartón - akustický materiál <p>②⑩ roznášecí deska</p> <ul style="list-style-type: none"> - ŽB monolitická - drátkobeton - beton se sklenými vlákny <p>②⑪ pojízdná vrstva</p> <ul style="list-style-type: none"> - roznášecí/spádová vrstva + dlažba - betonový potěr - strojně hlazený beton - epoxidová stěrka/nátěr <p>②⑫ podkladní beton</p> <p>②⑬ difuzní fólie</p> <p>②⑭ souvrství podlahy</p> |
|--|--|

3.1.F Výplně otvorů

Výplně otvorů jsou oproti doposud popisovaným konstrukcím atypické, avšak součástí tepelněizolační obálky budovy. Z hlediska energetického výpočtu se jedná o velmi významný prvek. I přes veškerou snahu výrobců se totiž stále jedná o konstrukci s nejhorsími izolačními parametry. Na druhou stranu přes prosklené části, vnikají do objektu solární zisky, které snižují potřebu tepla na vytápění. Plocha prosklených částí a orientace vzhledem ke světovým stranám je v dnešní době často otázkou energetických optimalizací objektů. Dalším faktorem, jenž se k takovým optimalizačním úlohám váže, je i letní přehřívání objektů. Energetická optimalizace zasahující do dispozice a architektonického návrhu však není obsahem této diplomové práce, jelikož zde pracuji již s konkrétním projektem, kde je dispozice oken vyřešena.

Při detailnějším porovnání oken nalezneme mnoho parametrů, kterými se jednotlivé výrobky liší. Pro potřeby této práce uvažujeme pouze základní dělení:

- dle materiálu
 - plastové
 - dřevěné
 - hliníkové
- dle počtu tabulek skla
 - dvojsklo
 - trojsklo

Pro zjednodušení jsou dveře a garážová vrata uvažována celodřevěná ve všech variantách.

4. Provozní dopad

Environmentální dopady provozu budovy reálně obsahují i dopady energii na přípravu a rozvod teplé vody, úpravy a rozvod vzduchu, osvětlení, chlazení a dalších spotřebičů. Tato práce se zabývá optimalizací obálky budovy, tedy pro účely této práce je stěžejní pouze potřeba tepla na vytápění, která je zde používána v smyslu provozní energie. Jak je uvedeno v kapitole 1.1, vytápění je stále hlavní složkou spotřebě energie v domácnostech. Také se jedná o provozní energii, která je, na rozdíl od ostatních provozních energií, značně ovlivnitelná stavebně-technickým řešením celého objektu.

4.1 Tepelněizolační obálka budovy ve variantách

Obálka budovy je zpracována ve 4 tepelněizolačních variantách vycházejících ze součinitelů prostupu tepla uvedených v ČSN 73 0540-2 [20]. Konkrétní hodnoty uvažovaných součinitelů prostupu tepla jsou uvedeny v Tab. 4.1., kategorie jsou:.. Záměrem není docílit určité dané potřeby tepla na vytápění, aby celkově dům vyšel v pasivním či nízkoenergetickém standardu. Různé potřeby tepla na vytápění jsou definovány podle obálky budovy. Ta je pro celou práci rozdělena na 4 tepelněizolační kategorie (viz), dle normových hodnot daných součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na:

- požadované hodnoty
- doporučené hodnoty
- doporučené hodnoty pro pasivní budovy - horní mez
- doporučené hodnoty pro pasivní budovy - dolní mez

Tab. 4.1 Vybrané normové hodnoty součinitele prostupu tepla $U_{N,20}$ jednotlivých konstrukcí[20]

konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]			
	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy - horní mez	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy - dolní mez
	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$	
střecha plochá	0,24	0,16	0,15	0,10
střecha plochá-dvouplášť.	0,24	0,16	0,15	0,10
obvodová stěna	0,30	0,25	0,18	0,12
obvodová stěna-dvouplášť.	0,30	0,25	0,18	0,12
suteréní stěna nevytápěného prostoru	-	-	-	-
podlaha nad nevyt. prostorem	0,60	0,40	0,30	0,20
podlaha na zemině	-	-	-	-
okna	1,50	1,20	0,80	0,60
dveře	1,70	1,20	0,90	0,90

Sloupec "Doporučené hodnoty pro pasivní budovy" je v normě většinou uváděn jako interval hodnot. Označení horní/dolní mez je pouze omezení intervalu v normě. Většinou lze konstrukci ještě více zaizolovat. U velkých tloušťek tepelných izolací už jejich další zesílení nepřináší téměř žádné zlepšení tepelněizolační funkce, Naopak mohou negativně ovlivňovat další aspekty(zmenšení užité plochy, přístup denního osvětlení či statiku) a proto je důležité takové rozhodnutí detailněji analyzovat.

4.2 Vstupní data

Pro účely této práce není rozhodující určit zcela přesně potřebu tepla na vytápění, ale především porovnat jednotlivé tepelněizolační varianty obálky. Aby hlavní podíl na změně potřeby tepla na vytápění měla právě úprava tepelněizolační varianty obálky, jsou zvolena určitá zjednodušení, která minimalizují vliv změny ostatních parametrů.

Rozměry

Různé tepelněizolační úrovně, znamenají i odlišnou tloušťku konstrukcí. V takovémto případě je nutné určit, která ze stávajících hranic obvodových konstrukcí bude ponechána. Pokud je zafixována vnitřní linie, mění se ochlazovaná plocha obálky. Tedy v případě lépe zatepleného objektu, se zvětší plocha, kterou teplo z budovy odchází, což sníží rozdíly jednotlivých variant. Na druhou stranu, jestliže je zafixována hranice konstrukce z vnější strany, například z důvodu omezené plochy pozemku, musí se ubírat vnitřní podlahová plocha. U budovy je přitom snaha o co největší podíl vnitřní (tzv. užité, prodejní či pronajímatelné) plochy.

Pro zjednodušení je však budova uvažována s jednotnými rozměry dle projektové dokumentace [1] bez ohledu na lišící se tloušťky konstrukcí a s nimi související rozdíly ploch (ochlazovaná, energeticky vztažná). S ohledem na účel hodnocení toto zjednodušení nemá zásadní vliv.

Těsnost obálky a větrání

Přes obálku budovy dochází k tepelným ztrátám objektu a tím je ovlivňována potřeba tepla na vytápění. Teplo uniká netěsnostmi formou proudění a přes konstrukce prostupem. Tepelné ztráty prostupem již dnes umíme, díky tepelným izolacím, značně zredukovat. Vliv výměny vzduchu se tím stává významnější.

Netěsnosti obálky budovy jsou dány především kvalitou provedených detailů. Je pravděpodobné, že pokud je dům stavěn z konstrukcí navržených pouze na normové hodnoty součinitele prostupu tepla, lze předpokládat, že ani provedení detailů nebude příliš kvalitní. Naopak při stavbě domu v pasivním standardu, kde již rozhoduje každá maličkost, je provedení detailů, tedy i vzduchotěsnost obálky budovy kvalitnější.

Vzduchotěsnost obálky je jedním z požadavků pro pasivní standard budovy. Domy prochází tzv. blower door testem, při kterém je nejčastěji do otvoru pro vchodové dveře nainstalován velký ventilátor. Dům se naplní vzduchem, aby vznikl rozdíl tlaků interiér-exteriér 50 Pa a měří se množství unikajícího vzduchu. V některých případech může být vytvořen naopak podtlak.

Vzduchotěsnost je úzce spojena i s větráním. V minulosti byly domy, především okna, velmi netěsné a docházelo k přirozenému větrání infiltrací, tudíž k velkým tepelným ztrátám. V dnešní době energetického šetření utěsňujeme okna i domy obecně. Výměna vzduchu je však z hygienických důvodů stále nutná a proto je snaha větrat řízeně přes vzduchotechnické jednotky se zpětným získáváním tepla (s rekuperací), aby tak byly sníženy tepelné ztráty větráním. Ve všech variantách řešené budovy je uvažováno mechanické větrání se stejnou účinností rekuperace tepla. Ačkoliv nucené větrání stále není běžným standardem v bytových domech, tedy kromě energeticky úsporných domů, je zde uvažováno ve všech

variantách také z důvodu eliminace rozdílu mezi variantami, které nesouvisí s řešenou problematikou – obálkou budovy. Uvažovaný projektový předpoklad hodnoty n_{50} je záměrně poměrně nízký, vyjadřuje snahu eliminace tepelných ztrát netěsnostmi. Rozdíly v hodnotách n_{50} mezi variantami odrážejí předpokládané rozdíly v kvalitě provedení detailů a vzduchotěsnosti při různých úrovních zaizolování obálky

Umístění a orientace

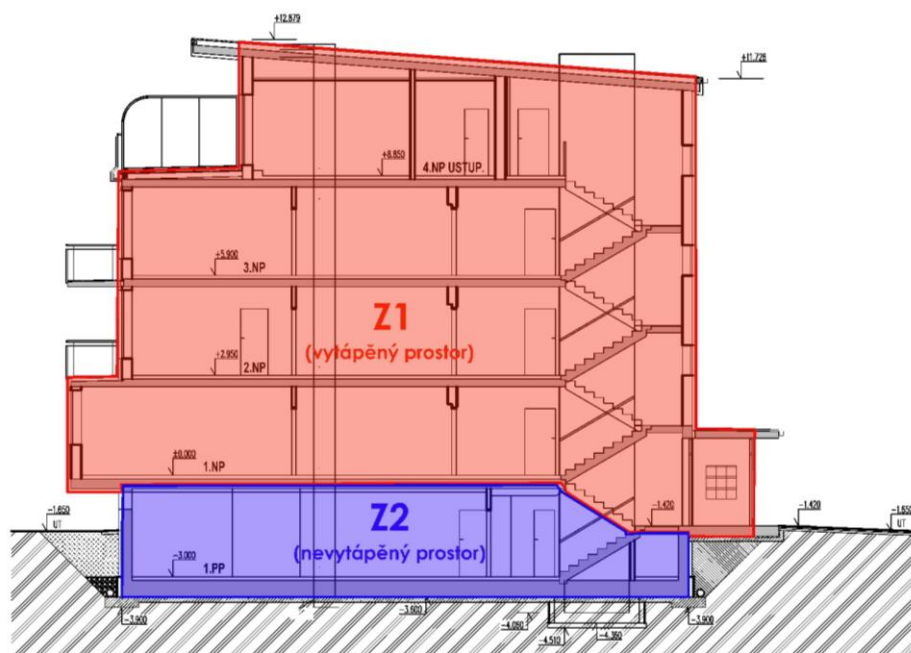
Orientace objektu ke světovým stranám je zvolena podle již stojících objektů dané projektové dokumentace (viz Obr. 4.1). Jedná se o lokalitu v Praze - sídliště Štěrboholy - ulice Laudonova, kde se nachází komplex 8 podobných objektů.



Obr. 4.1 Situace umístění budovy a orientace ke světovým stranám (mapový podklad) [32]

Zónování

Jde o předběžný výpočet potřeby tepla na vytápění. Model uvažuje s rozdělením budovy na dvě zóny - obytné prostory se schodištěm a chodbami (Z1 - vytápěný prostor) a garáže (Z2 - nevytápěný prostor) (viz Obr. 4.2). Pro detailnější posouzení by ze zóny obytné prostory mohlo být odděleno schodiště s chodbou jako temperovaný prostor. Tato separace by způsobila nárůst dalších typů konstrukcí (vytápěná zóna - temperovaný prostor), který není z důvodu rozsahu práce žádoucí.



Obr. 4.2 Vyznačení zón

Vstupních dat do výpočtu je mnoho a jsou detailněji uvedeny ve výsledném protokolu (viz Příloha č. 8). Data důležitá pro porovnání variant jsou shrnuta v tabulce Tab. 4.2. Vstupní parametry, které nejsou uvedeny v tabulce Tab. 4.2 jsou pro všechny varianty neměnné.

Tab. 4.2 Shrnutí vstupních dat pro energetický výpočet

DŮLEŽITÁ VSTUPNÍ DATA PRO ENERGETICKÝ VÝPOČET							
ZÓNA							
Z1	obestavěný objem zóny z vnějších rozměrů	m ³	4 211,4				
	objem vzduchu v zóně	m ³	3 455,9				
	podlahová plocha zóny z vnějších rozměrů	m ²	1 431,9				
	vnitřní celková podlahová plocha	m ²	1 303,6				
Z2	obestavěný objem zóny z vnějších rozměrů	m ³	1 159,8				
	objem vzduchu v zóně	m ³	883,5				
	podlahová plocha zóny z vnějších rozměrů	m ²	386,6				
	vnitřní celková podlahová plocha	m ²	353,4				
konstrukce							
		plocha	Požadované hodnoty	Doporučené hodnoty	Doporuč. pro pasivní budovy - horní mez	Doporuč. pro pasivní budovy - dolní mez	
			součinitel prostupu tepla				
A			U _{N,20}	U _{rec,20}	U _{pas,20}		
		m ²	[W/(m ² ·K)]				
Z1	A1	střecha plochá	250,2	0,24	0,16	0,15	0,10
	A2	terasa	134,8	0,24	0,16	0,15	0,10
	B	obvodová stěna	718,3	0,30	0,25	0,18	0,12
	F	okna S	41,4	1,50	1,20	0,80	0,60
	F	okna J	43,7	1,50	1,20	0,80	0,60
	F	okna V	91,0	1,50	1,20	0,80	0,60
	F	okna Z	118,7	1,50	1,20	0,80	0,60
	F	dveře V	2,6	1,70	1,20	0,90	0,90
Z1/Z2	C	podlaha nad nevyt. prostorem	386,6	0,60	0,40	0,30	0,20
Z2	F	okna V	2,3	1,50			
	F	okna Z	3,5	1,70			
		garážová vrata	9,6	1,70			
	D	suterénní stěna - vzduch	92,1	2,54			
	D	suterénní stěna - zemina	117,7	2,54			
	E	podlaha na zemině	386,6	2,35			
parametry oken							
solární propustnost zasklení		g [-]	0,67	0,67	0,5	0,5	
podíl plochy zasklení/celkové ploše výplně		[-]	0,8				
těsnost obálky							
Z1	Násobnost výměny vzduchu v zóně při tlakovém rozdílu 50 Pa	n ₅₀ [-]	2	1,5	0,6	0,5	
Z2		n ₅₀ [-]	2	1,5	0,6	0,5	
přirážka na tepelné vazby [W/(m ² ·K)]		ΔU _{em}	0,05	0,05	0,02	0	
Z1	účinnost ZTZ u vzduchotechnické jednotky	[%]	75	75	75	75	

Výpočet potřeby tepla na vytápění ovlivňují i další parametry, které nejsou uvedeny v tabulce Tab. 4.2 (např. obsazenost lidmi, osvětlení, ztráty z rozvodů TV, atd). Ty jsou uvažovány stejně ve všech tepelněizolačních variantách a jsou uvedeny v protokolu výpočtu viz příloha č. 8.

4.3 Výpočet

Výpočet byl proveden online softwarem DEKSOFT - Energetka [41]. Detailnější informace o výpočetní metodice jsou uvedeny v kapitole 1.3.1. Výpočet je proveden samostatně pro všechny 4 varianty. Příloha č. 7 -

4.4 Výsledky

Po provedení výpočtu program nabízí několik variant výstupů (grafický PENB, protokol, grafické výstupy,..). V této práci nás zajímá především hodnota potřeba tepla na vytápění, která je součástí obsáhlého protokolu. Hodnoty důležité pro další posouzení jsou shrnuty v tabulce Tab. 4.3.

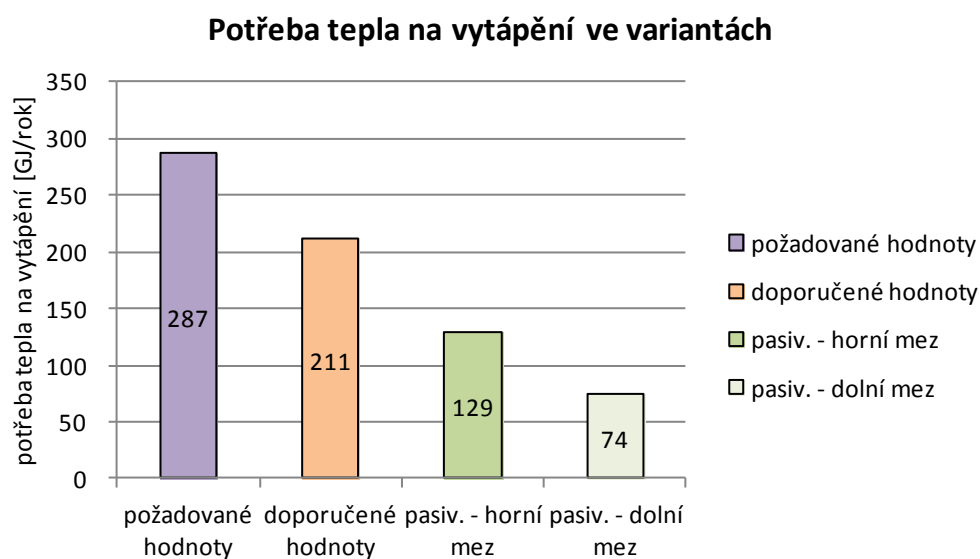
Tab. 4.3 Důležité výstupy z energetického výpočtu

	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. - horní mez	pasiv. - dolní mez	
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/(m ² .K)]	0,56	0,45	0,31	0,21	
Měrná potřeba tepla na vytápění e_A [kWh/(m ² .rok)]	55,60	40,94	25,07	14,42	
Potřeba tepla na vytápění Q_{nd} [kWh/rok]	79 612	58 618	35 903	20 645	
	[MJ/rok]	286 603	211 025	129 251	74 322

Potřeba tepla na vytápění je v tabulce Tab. 4.3 uvedena dvakrát. Nejprve v kWh/rok, což je obvyklá jednotka, a podruhé v MJ/rok, které se zde nachází z důvodu převádění na environmentální dopady. Kromě potřeby tepla na vytápění je v souhrnné tabulce (Tab. 4.4) ještě průměrný součinitel prostupu tepla a měrná potřeba tepla na vytápění.

Průměrný součinitel prostupu tepla číselně charakterizuje tepelněizolační úroveň obálky. Ve sloupci "požadované hodnoty" nesplňuje požadavek normy ČSN 730540-2, že $U_{em} \leq U_{em,N}$, kde $U_{em,N}$ je pro nové bytové domy maximálně 0,5 W/(m².K) [20]. V této části se jedná pouze o teoretické posouzení několika variant, takže to nevedí. V případě, že by se jednalo o výslednou, bylo by nutné některé konstrukce více zaizolovat. Pro pasivní standard je limitující hodnota U_{em} 0,3 W/(m².K), kterou splňuje pouze "pasiv. - dolní mez". Je to také jediný sloupec, který se svou měrnou potřebou tepla na vytápění klesl pod 15 kWh/(m².rok), tedy na hodnotu pro pasivní domy. Právě pro možnost porovnání s jinými objekty je uvedena i měrná potřeba tepla na vytápění. Hodnota pro nízkoenergetický standard je 50 kWh/(m².rok). Pouze dům, který je postaven z konstrukcí na požadované hodnoty součinitele prostupu tepla tuto hodnotu nsplní. Z tabulky také vyplývá, že dům s obálkou navrženou na hodnoty horního intervalu doporučených hodnot pro pasivní budovy nesplňuje požadavky pro pasivní dům. To naznačuje, že při snižování potřeby tepla na vytápění, nezáleží pouze na míře zateplení konstrukcí, ale i na tvaru a členitosti budovy, orientaci vůči světovým stranám či podílu prosklených částí.

Pro environmentální porovnání je ovšem nejdůležitější poslední řádek tabulky, který je též zobrazen v grafu Obr. 4.3 a uvádí potřebu tepla na vytápění.



Obr. 4.3 Potřeba tepla na vytápění ve variantách

V grafu Obr. 4.3 je patrné očekávané klesání potřeby tepla na vytápění v závislosti na tepelněizolační kvalitě obálky. V této práci jde především o porovnání jednotlivých variant mezi sebou. Rozdíl mezi nejlepším a nejhorším uvažovaným stupněm zateplení je 212 GJ/rok, což je stejné jako potřeba na vytápění pro variantu "doporučené hodnoty". Odlišnost extrémů je značná. Dům s konstrukcemi na požadované hodnoty součinitele prostupu tepla bude mít stejné roční provozní náklady na vytápění jako téměř 4 totožné domy, ale pouze s lepší obálkou.

4.5 Environmentální vyhodnocení

Environmentální dopad potřeby tepla na vytápění závisí na daném energonositeli a zdroje tepla. Pro účel této práce bylo zvoleno 5 různých variant, které jsou pro vytápění bytového domu vhodné (viz Tab. 4.4).

Tab. 4.4 Konverzní a emisní faktory, celková účinnost zdroje tepla[22],[23],[15]

	účinnost				GWP (emisní faktor) [kg CO ₂ ekv./MJ]	nPEI (konverzní faktor) [MJ/MJ]
	zdroje	rozvodů	sdílení	CELKEM		
	[-]	[-]	[-]	[-]		
kotel na dřevěné pelety	0,8	0,87	0,88	0,61	0,0147	0,15
kotel na zemní plyn	0,94	0,87	0,88	0,72	0,0716	1,20
elektrokotel	0,94	0,87	0,88	0,72	0,2110	3,00
elektrické přímotopy	0,98	1,00	0,94	0,92	0,2110	3,00
teplárna na uhlí	0,98	0,87	0,88	0,75	0,1060	1,40
teplárna na zemní plyn	0,98	0,87	0,88	0,75	0,0684	1,40

Již na první pohled je zřejmé, že v tabulce Tab. 4.4 vychází nejlepší a nejhorší varianty účinnosti a environmentálních parametrů, protikladně. Nejlepší zdroj tepla z pohledu

environmentálních dat je kotel na dřevěné pelety, ale má nejhorší celkovou účinnost. U elektrické energie, která vychází nejhůře, co se týká dopadu na životní prostředí, je to přesně naopak. Má nejlepší, tedy nevyšší, účinnost.

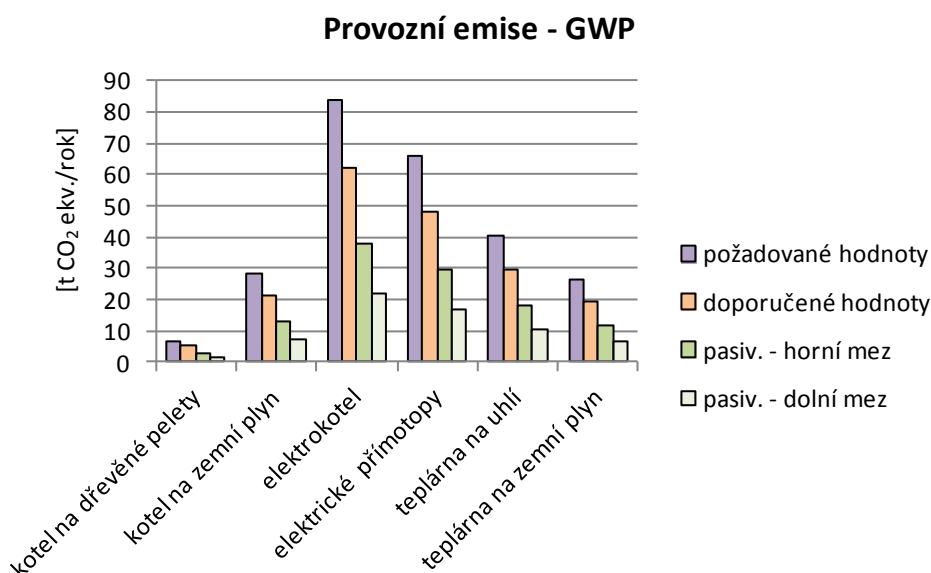
Pro další porovnání není, i bez jakéhokoliv váhování, účinnost až tak důležitá. Jelikož maximální hodnota účinnosti je pouze 1,2násobně větší než nejmenší hodnota daného sloupce. Pokud je takovéto porovnání provedeno i u environmentálních parametrů, tak rozdílnost GWP je 14,4násobná a nPEI až 20násobná. Z toho důvodu je rozhodující pořadí zdrojů tepla dle environmentálních parametrů. Započítání účinnosti se rozdíly nepatrně sníží, ale ne diametrálně. Jediný zřejmý vliv účinnosti je vidět mezi elektrokotel a přímotopy. Díky tomu elektrokotel vychází z hlediska ekologie nejhůře.

Pořadí ekologičnosti jednotlivých zdrojů tepla je pro oba environmentální parametry velmi podobné.

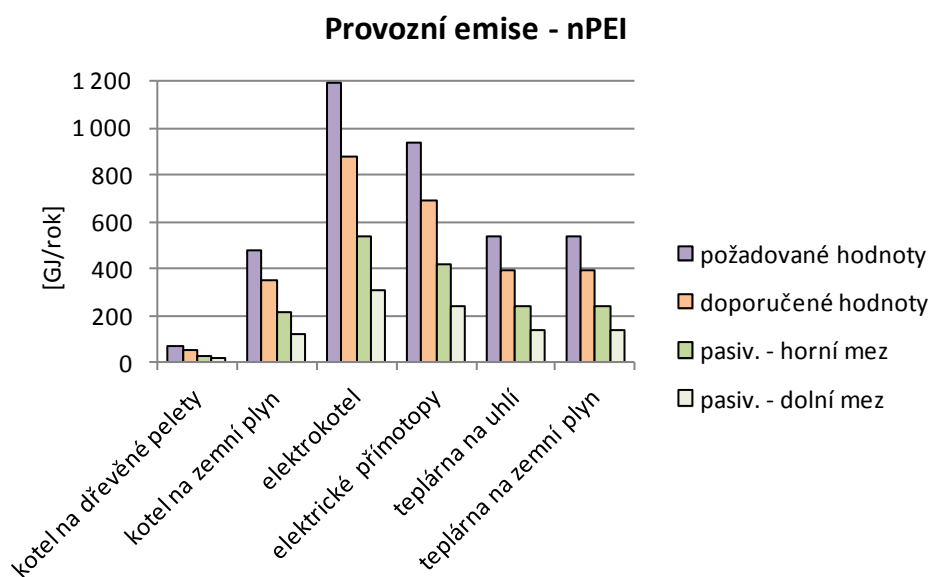
Tabulka Tab. 4.2 a grafy Obr. 4.4 a Obr. 4.5 zobrazuje výsledné envi. dopady pro různé varianty obálky. Je zřejmé, že nejlepší variantou je vytápění kotlem na dřevěné pelety a nejlépe zaizolovaný dům.

Tab. 4.5 Provozní environmentální dopady

	požadované hodnoty		doporučené hodnoty		pasiv. - horní mez		pasiv. - dolní mez	
	GWP	nPEI	GWP	nPEI	GWP	nPEI	GWP	nPEI
	[t CO ₂ ekv./rok]	[GJ/rok]	[t CO ₂ ekv./rok]	[GJ/rok]	[t CO ₂ ekv./rok]	[GJ/rok]	[t CO ₂ ekv./rok]	[GJ/rok]
kotel na dřevěné pelety	6,9	70,2	5,1	51,7	3,1	31,7	1,8	18,2
kotel na zemní plyn	28,5	477,9	21,0	351,9	12,9	215,5	7,4	123,9
elektrokotel	84,0	1 194,7	61,9	879,7	37,9	538,8	21,8	309,8
elektrické přímotopy	65,6	933,4	48,3	687,2	29,6	420,9	17,0	242,0
teplárna na uhlí	40,5	534,8	29,8	393,8	18,3	241,2	10,5	138,7
teplárna na zemní plyn	26,1	534,8	19,2	393,8	11,8	241,2	6,8	138,7



Obr. 4.4 Různé varianty provozních dopadů - GWP



Obr. 4.5 Různé varianty provozních dopadů - nPEI

Výsledky této části jsou poměrně jasné a předvídatelné. Nejlépe z hlediska dopadu na životní prostředí vychází provozní dopady objektu s nejlepší tepelněizolační obálkou. V grafech Obr. 4.4 a Obr. 4.5 je patrný i značný vliv zdroje tepla. Nejlepší varianta této kapitoly odtržené od kontextu celé je jednoznačná. Objekt s obálkou navrženou na nejnižší hodnoty součinitele prostupu tepla, které tabulka v normě doporučuje pro pasivní standard, vytápěný pomocí kotle na pelety. V následujících kapitolách bude přidáno porovnání z hlediska svázaných dopadů.

5. Svázané dopady

5.1 Porovnání jednotlivých vrstev konstrukcí

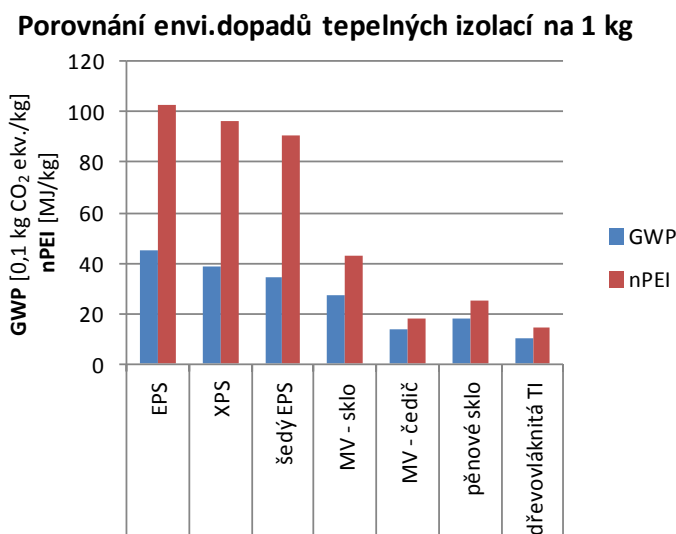
Tato práce si za cíl stanovila, najít optimální variantu obálky budovy. Z kapitoly 3.1 3.1vzešlo velké množství různých skladeb a materiálových kombinací. Porovnáním všech variant by vzniklo velké množství výsledků, které by se v mnoha případech lišily pouze minimálně. Bylo by to velmi pracné, časově náročné a neefektivní. Z toho důvodu je zvolena metoda - předvýběru, který určuje environmentální dopady jednotlivých funkčních vrstev konstrukcí zvlášť. Na základě tohoto prvotního porovnání jsou nadále skládány jednotlivé konstrukce, již s určitým vědomím, zda se jedná o konstrukce s velkou či malou environmentální zátěží. Tímto přístupem lze i získat obecný přehled o dopadech jednotlivých materiálů, což by v porovnání ve skladbách mohlo splynout.

V grafech je často uváděná neobvyklá jednotka [0,1 kg CO₂ ekv. / měrná jednotka]. Tato jednotka je použita ve snaze porovnat oba dva parametry (GWP i nPEI) společně v jednom grafu. Hodnoty GWP, ale obecně vychází řádově menší než nPEI. Z toho důvodu jsou hodnoty GWP v grafu desetinásobně zvětšené a jednotka je tomu upravena. Pro přehlednost je v grafech v celé práci GWP modré a nPEI červené.

5.1.1 Tepelné izolace

Tato vrstva má zásadní vliv na energetický a tedy i environmentální dopad celého objektu, proto jí je věnován větší důraz. Objevuje se téměř ve všech konstrukcích a její tloušťka je hlavním parametrem pro izolační schopnost konstrukce.

U porovnání environmentálních dopadů je obecně nesmírně důležité, podle čeho budou dané materiály porovnávány. Jelikož při porovnání dle různých vztažných jednotek, může dojít ke zkreslení environmentální šetrnosti daných materiálů. Čehož nezdědka využívají výrobci, když prezentují svůj výrobek. V tomto konkrétním případě není myšleno uvažování životnosti, recyklovatelnost či likvidace, ale pouze výběrem odlišné měrné jednotky může docházet ke zkreslení dat. Tento fakt si představíme právě u této funkční vrstvy.

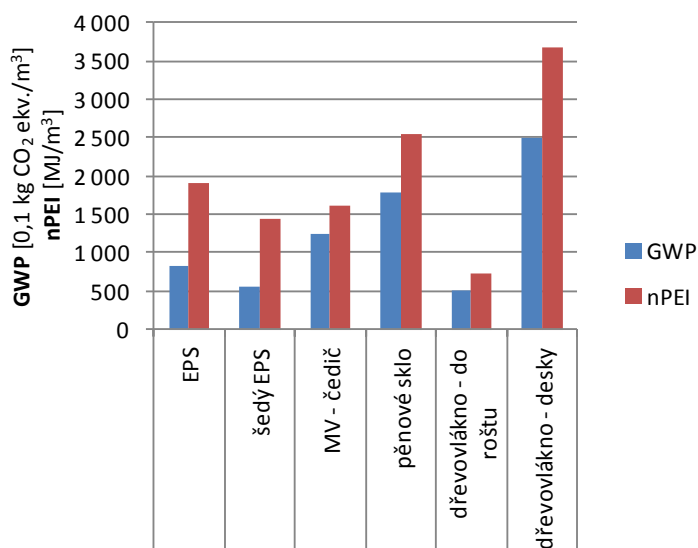


Obr. 5.1 Porovnání environmentálních dopadů tepelných izolací na 1 kg

Pokud tepelné izolace porovnáváme podle toho, jak jsou většinou uvedeny v databázi, tedy dle hmotnosti, nejhorší dopad mají obecně polystyrény (viz Obr. 5.1). Z polystyrénů vychází nejlépe expandovaný polystyrén s příměsí uhlíku. Nejhůře v tomto porovnání vychází expandovaný polystyrén, jehož GWP 4,5násobně a nPEI 7násobně překračuje hodnoty dřevovláknité tepelné izolace, která naopak vyšla nejlépe v obou parametrech. Druhá nejlepší tepelná izolace je dle tohoto porovnání čedičová minerální vata. Ani pěnové sklo v tomto porovnání nevyšlo špatně. Neobnovitelná primární energie sklené vaty vychází poloviční oproti polystyrénům, hodnotou GWP se jim již blíží.

Další možností porovnání je vztažení veličin k objemu a souvisí tedy s objemovou hmotností. Ta se již velmi liší dle konkrétního použití daného materiálu. Na fasádu či do roštu se dají využít materiály s menší objemovou hmotností než do střešů či podlah.

Porovnání envi.dopadů fasádních TI na 1 m³



Obr. 5.2 Porovnání environmentálních dopadů fasádních teplených izolací na 1 m³

Je patrné, jak pouhá změna měrné jednotky, zahýbe s pořadím. Polystyrény jsou velmi lehké, a proto se dostávají do pozice environmentálně šetrného materiálu (viz Obr. 5.2). Desky z dřevovláknité izolace, které mají vysokou objemovou hmotnost, se v grafu nachází vysoko. Naopak dřevovláknitá tepelná izolace, která se ukládá do roštu, je tedy velmi pružná a lehká vychází nejlépe. Pěnové sklo, které se na základě vztažení k hmotnosti (viz Obr. 5.1 Obr. 5.2) jeví jako environmentálně šetrná, nabývá při vztažení k objemu horších vlastností než polystyrény.

Nejrelevantnější porovnání z hlediska tepelných izolací je přes stejnou tepelněizolační vlastnost. Proto je zvolen jednotný součinitel prostupu tepla U a pomocí součinitel tepelné vodivosti λ dopočítána potřebná tloušťka daného materiálu a tou přenásobeny hodnoty environmentálního dopadu na m³. Při takto staveném součiniteli prostupu tepla $U = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ se potřebná tloušťka d rovná součiniteli prostupu tepla λ (viz vzorec (1)).

$$U = \frac{\lambda}{d} = 1 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right] \Rightarrow d = \lambda \quad (1)$$

Velmi dobře vychází měkká dřevovláknitá tepelná izolace, která je, ale určená jako výplň nosných roštů, které zde způsobí zhoršení jak tepelněizolační tak environmentální. Druhou tepelnou izolací z hlediska environmentálních dopadů je v tomto porovnání šedý EPS (polystyrén s příměsí grafitu), především díky jeho nejlepší izolační schopnosti ($\lambda=0,032$ W/(m.K)). Nejhůře z tohoto porovnání vzešlo pěnové sklo a dřevovláknitá tepelná izolace v deskách, která

To, že šedý polystyrén vyšel v hodnocení lépe než klasický je pro mě překvapující. Z důvodu relevantnosti výsledků, jsou data ještě porovnána s EPD konkrétního výrobce.

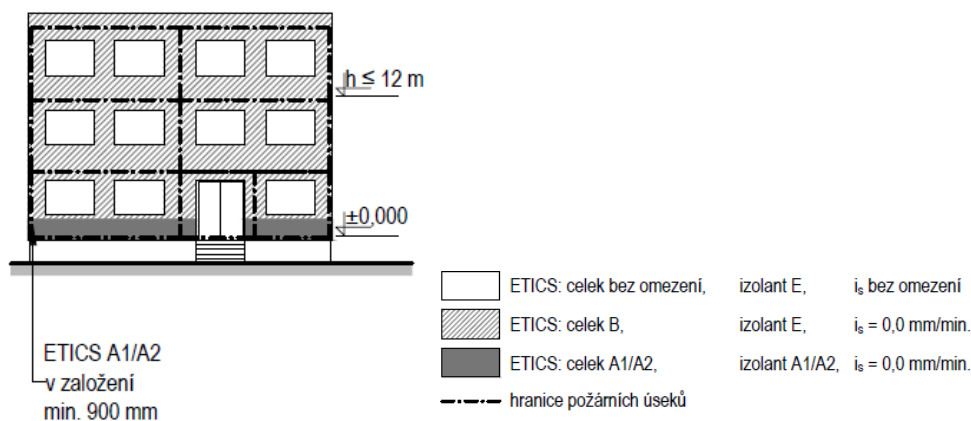
Tab. 5.1 Porovnání environmentálních dopadů polystyrénů (tl. 100 mm) z různých zdrojů [10], [13],[14], [29],[30]

obecné označení	název	součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	GWP			nPEI		
		[W/(m.K)]	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]			[MJ/m ²]		
		hodnoty konkrétních výrobků (Isover)			Ecoinvent	X	EPD výrobce	Ecoinvent	X
EPS	Isover EPS 100	0,037	19	8,6	>	5,8	195	>	170
šedý EPS	Isover EPS GreyWall	0,033	14	4,8	>	4,7	127	<	140

Při porovnání environmentálních parametrů pro EPS a EPS s příměsí grafitu z různých zdrojů, jsem si ověřila, že opravdu expandovaný polystyrén s příměsí grafitu vychází z hlediska environmentálních dopadů lépe než běžný EPS. Šedý polystyrén je lepší i z hlediska součinitele tepelné vodivosti i objemové hmotnosti. Myslím si, že nízká objemová hmotnost šedého EPS je důležitým aspektem, proč vychází jako ekologicky šetrný - je ho zkrátka malé množství. Nevýhodou šedého polystyrénu oproti klasickému je větší teplotní roztažnost.

Požární bezpečnost

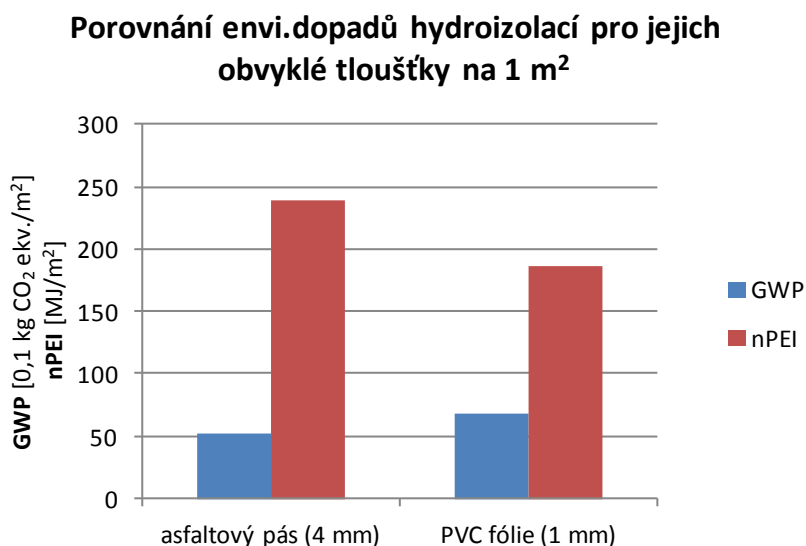
Pro použití tepelných izolací platí i několik omezení, jedním z nich je požární bezpečnost. V tomto případě se jedná o objekt s požární výškou do 12 m, tedy jediná část fasády, která musí být z nehořlavého zateplovacího systému, je pás založení o výšce min. 900 mm (viz Obr. 5.3 Budova s požární výškou do 12 m a její základní požadavek požární normy ČSN 73 0810 na zateplení ETICS [21]88[39]Obr. 5.3). Dále je z hlediska požární bezpečnosti problematický strop v garážích, proto je ve všech variantách skladeb uvažován z nehořlavého izolantu.



Obr. 5.3 Budova s požární výškou do 12 m a její základní požadavek požární normy ČSN 73 0810 na zateplení ETICS [21]88[39]

5.1.2 Hydroizolace

V tomto porovnání jsou pouze 2 základní typy hydroizolace - asfaltový pás a PVC fólie. Jsou opět porovnány dle jejich hlavní funkce, kterou v dané konstrukci plní - zamezení prostupu vody. Pokud daná konstrukce není extrémně namáhaná, dávají se obě varianty v jedné vrstvě. Každý typ se ale vyrábí v odlišné tloušťce - asfaltový pás tl. 4 mm a PVC fólie 1 mm. Na tomto principu je založeno jejich porovnání. Je potřeba podotknout, že každá hydroizolace má svá specifika. Před položením asfaltového pásu je někdy nutné ošetřit povrch penetračním nátěrem. PVC fólie je také velmi tenká a je nutné ji důkladně chránit před poškozením, tedy se často dává zároveň s geotextilií. PVC fólie je také známá svou nesnášlivostí s polystyrény, jelikož se z fólie uvolňují látky, které postupně polystyrény rozkládají. Tudíž srovnání pouze podle tloušťky nemusí být relevantní a vždy závisí na dané konstrukci.



Obr. 5.4 Porovnání environmentálních dopadů hydroizolací pro jejich obvyklé tloušťky

Asfaltový pás má větší environmentální dopad, co se týká neobnovitelné primární energie. Výroba PVC fólie má zase větší potenciál globálního oteplování. Jelikož v porovnání jsou pouze 2 hydroizolace a výsledky jsou pro oba parametry odlišné, nedá se přesně určit, který hydroizolační pás či fólie je lepší.

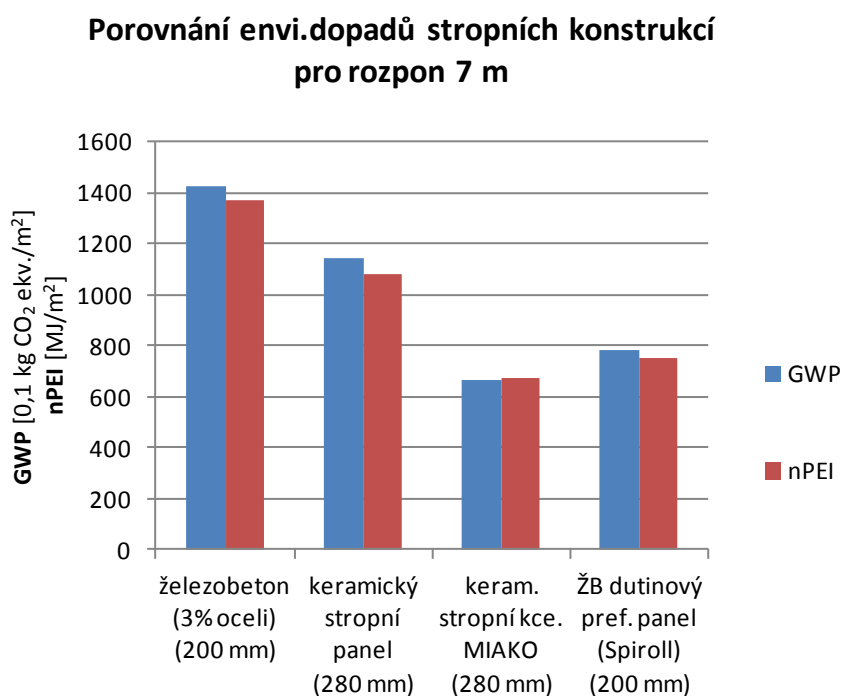
5.1.3 Stropní konstrukce

Již v kapitole 2.2 je popsáno, že pro tento objekt jsou zvolené železobetonové monolitické stropy. Tím, by se porovnání velmi omezilo a nevznikla by obecná doporučení pro další domy. Proto jsou v porovnání ponechány a uvažovány různé varianty a až při výběru výsledné varianty je přihlédnuto ke konstrukčnímu hledisku.

V databázi Ecoinvent nelze rozlišit železobeton na transportbeton a již hotové prefabrikované výrobky, proto jsou uváděny pouze 2 druhy železobetonových stropů, lišících

se procentuálním zastoupením materiálu a dutin - desková monolitická konstrukce a prefabrikované předeprnuté dutinové panely Spirollly.

Tloušťka stropní konstrukce je ovlivněna především statikou. Je snaha porovnat různé typy stropů. Proto je zvolen určitý rozpon a tloušťky porovnávaných stropních konstrukcí jsou přizpůsobeny daným materiálovým možnostem.



Obr. 5.5 Porovnání environmentálních dopadů stropních konstrukcí pro rozpon 7 m²

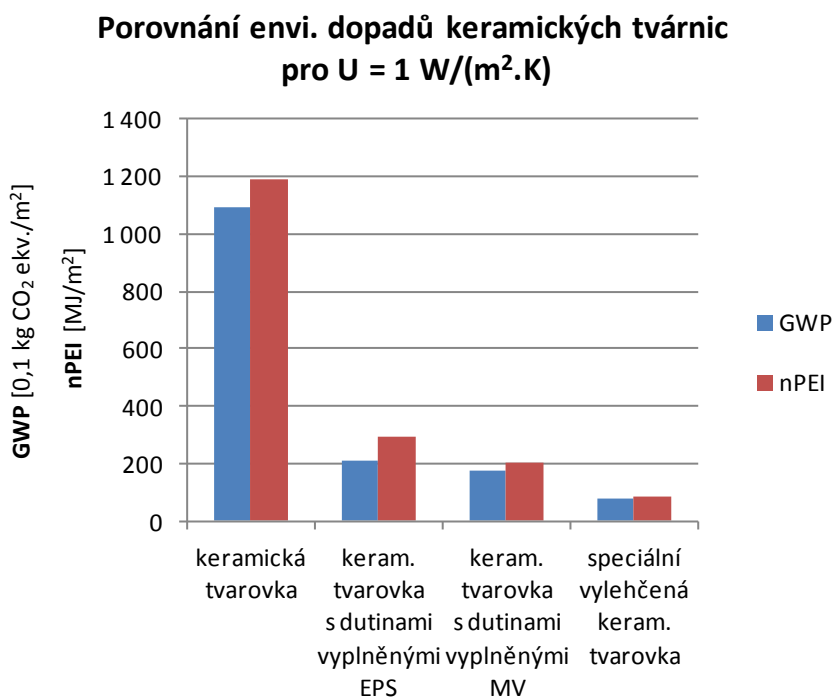
Toto porovnání vychází jednoznačně. Stropní konstrukce z MIAKO vložek a nosníků vychází environmentálně nejlépe. Na druhém místě se umístil železobetonový předeprnutý dutinový panel. Nejhuře v tomto porovnání dopadl klasický železobetonový strop. Na předposledním místě (z porovnávaných variant) se umístil keramický stropní panel. Z environmentálního hlediska vycházejí lépe konstrukce s dutinami, jelikož vrstvy díky tomu obsahují méně materiálu.

5.1.4 Nosná/výplňová konstrukce stěny

Zdivo je heterogenní konstrukce. V tomto případě se skládá z keramických tvarovek a pojícího materiálu. Novodobé keramické tvarovky se dělí na 2 základní typy - broušené a nebroušené. Výškový skladebný rozměr zůstává u obou stejný (250 mm), ale liší se poměr keramické tvarovky a pojícího materiálu. Nebroušené tvarovky se zdí klasicky na cementovou maltu, tedy tvarovka má rozměr 240 mm a malta 10 mm. Malta nemá tak dobré tepelné vlastnosti jako tvarovka a vzniká systematický tepelný most. Proto se na trhu objevuje novější varianta - broušené tvarovky. Broušené tvarovky jsou rozměrově přesnější, vyšší (249 mm) a na pojící materiál zbývá pouze 1 mm. Takovému zdění se říká "na tenkou maltu". Jako pojící materiál se používají 2 možnosti, které jsou známé pod lidovým označením "lepidlo" (malta pro tenkou spáru na bázi cementu) a "pěna" (polyuretanové tenkovrstvé lepidlo). Zdění se spárou 1 mm má mnoho specifik. Pro tuto diplomovou práci je podstatné, že spojovací

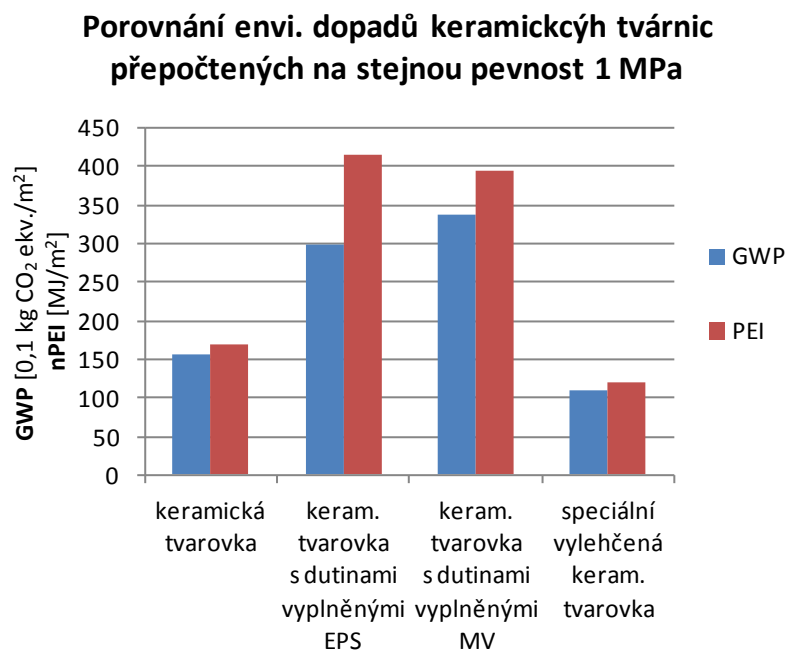
materiál není uvažován. I při klasickém zdění tvoří spára pouze 4% což je zanedbatelné. Druhým důvodem je, že k novějším materiálům nejsou environmentální data.

Pro porovnání byly jako vztažné jednotky zvoleny tepelněizolační vlastnosti (viz Obr. 5.6) a únosnost (viz Obr. 5.7). Tuto vrstvu je obtížné hodnotit bez vazby na celou konstrukci, jelikož různé druhy tvarovek si sebou nesou svá specifika pro další vrstvy dané konstrukce. Porovnání skladeb s touto funkční vrstvou je provedeno v kapitole 5.2.B.



Obr. 5.6 Porovnání environmentálních dopadů keramických tvárnic pro $U = 1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

V porovnání z hlediska environmentálního a tepelněizolačního vychází klasická keramická tvarovka mnohonásobně hůře než ostatní (viz Obr. 5.6). Je to dáno především tím, že tepelněizolační vlastnost není její primární funkce. Naopak nejlépe vychází speciální vylehčená tvarovka, která není ani vyplněna tepelnou izolací. Opět zde platí pravidlo, že čím méně materiálu a více dutin tím lépe. Z variant pro jednovrstvé zdivo s výplní s tepelnými izolacemi, vychází keramická tvarovka plněná minerální vatou environmentálně mírně šetrněji.



Obr. 5.7 Porovnání environmentálních dopadů keramických tvárníc přepočtené na stejnou pevnost 1 MPa

Diametrální rozdíl mezi Obr. 5.6 a Obr. 5.7 v pořadí z hlediska ekologičnosti je patrný u klasické keramické tvarovky. Oproti předcházejícímu grafu se v Obr. 5.7 jeví jako vhodná varianta. Speciálně lehčená keramická tvarovka bez výplně pro jednovrstvé zdivo je natolik lehká a s velkým obsahem dutin, že i přes velmi malou pevnost stále vychází nejlépe. Z porovnání keramických tvárníc přepočtených na stejnou pevnost vzešly nejhůře vyplněné tvarovky pro jednovrstvé zdivo.

5.2 Svázané dopady jednotlivých konstrukcí obálky budovy

Tloušťky jednotlivých vrstev jsou ovlivněné různými požadavky - statika, tepelná technika, akustika, požární odolnost, doporučení výrobce a další. V této práci jsou uvažované tloušťky vrstev stanoveny odborným odhadem, ale při realizaci by musely být detailněji posouzeny dle konkrétních podmínek, za jakých budou užity.

Konstrukce tvořící tepelněizolační obálku budovy, jsou uvedeny ve 4 úrovních dle součinitelů prostupu tepla uvedených v normě ČSN 73 0540-2 pro jednotlivé konstrukce [20]. Aby byly skladby porovnatelné, jsou tloušťky hlavní tepelněizolační vrstvy konstrukcí dopočítávány tak, aby bylo dosaženo stejných součinitelů prostupu tepla pro všechny skladby téže konstrukce v dané tepelněizolační úrovni. Jsem si vědoma toho, že výrobky mají své rozměrové řady a výsledná zvolená varianta je tomu přizpůsobena. Výpočet v této části práce je zjednodušený a neobsahuje korekční součinitel prostupu tepla na vliv systematických tepelných mostů.

Z důvodu obecného pohledu na energeticko-environmentální optimalizaci jsou porovnány různé konstrukce bez ohledu na požadavky konkrétního domu. K těmto požadavkům je přihlédnuto až dodatečně při výběru a projektování výsledné varianty.

U konstrukcí s velkým počtem různých variant je zvolen pro výběr nejlepší varianty bodový systém. Konstrukce s nehorším environmentálním dopadem má největší počet bodů, tedy 10, naopak konstrukce nejšetrnější k životnímu prostředí jsou ohodnoceny 0 body. Ostatní hodnoty jsou lineárně interpolovány.

5.2.A Střecha a terasa

Střecha

Střešní konstrukce má sklon 4° (tedy 7 %) na délku (15 m s 1,5 m přesahem). Spád tedy tvoří výškový rozdíl přes jeden metr, z toho důvodu není vhodné ho řešit spádovou vrstvou, ale celou nosnou konstrukci mít ve spádu. Posuzované varianty jsou tomuto požadavku přizpůsobené.

Tab. 5.2 Varianta skladby střechy A1-1

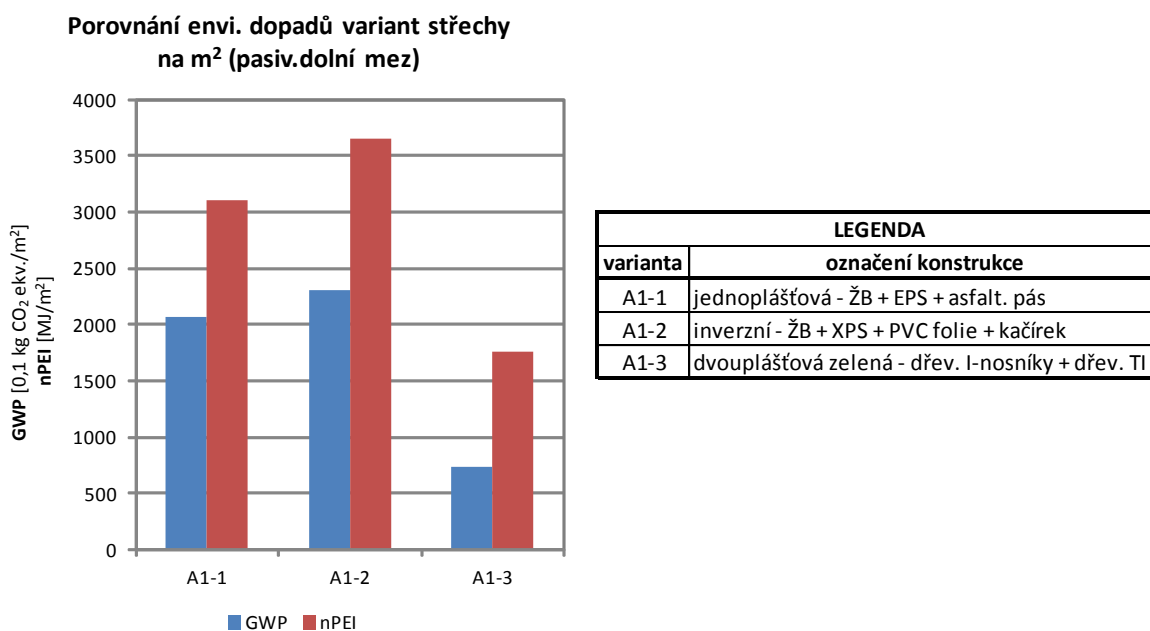
varianta A1-1																						
označení konstrukce: jednoplášťová ŽB + EPS + asfalt. pás			tloušťka					materiálové parametry			environmentální parametry											
								součinitel tepelné vodivosti		objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie							
			funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez	λ	γ	GWP				nPEI			
					t	[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]						[MJ/m ²]							
interiér - exteriér	hydroizolace	asfaltový pás	8					0,200		1 280	10				479							
	tepelná izolace	EPS - střecha	134	207	221	338	0,035		28	17	26	28	43	385	595	637	973					
	parotěsná fólie	asfaltový pás	4					0,200		1 280	5				239							
	stropní kce. ve spádu	železobeton (3% oceli)	200					1,500		2 534	142				1 373							
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová	10					0,990		2 000	6				34							
KONSTRUKCE - CELKEM																						
typ konstrukce:		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:	součinitel prostupu tepla		tloušťka		GWP				nPEI											
střecha plochá			[W/(m ² .K)]		[mm]		[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]											
R _{si} = 0,1 [(m ² .K)/W]			U _{N,20}		0,24		356				180				2 511							
R _{se} = 0,04 [(m ² .K)/W]			U _{rec,20}		0,16		429				190				2 721							
			doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní}		0,15		443		191		2 763									
			doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní}		0,10		560		206		3 099									

Tab. 5.3 Varianta skladby střechy A1-2

označení konstrukce:		tloušťka					materiálové parametry		environmentální parametry												
inverzní ŽB + XPS + PVC folie + kačírek							součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie								
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.			horní mez	pasiv.	dolní mez	GWP	nPEI	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez
		t	λ	γ	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]												
		[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]												
exteriér	drenážní vrstva	kačírek	200			0,650	1 650	4				60									
	ochranná vrstva	nopová fólie	1			0,350	940	4				129									
	tepelná izolace	XPS - střecha	135	208	223	339	0,035	37	19	30	32	48	480	740	792	1 207					
	ochranná vrstva	geotextilie	5			0,500	800	10				330									
interiér	hydroizolace	PVC fólie	2			0,350	1 350	7				186									
	ochranná vrstva	geotextilie	5			0,500	800	10				330									
	stropní kce. ve spádu	železobeton (3% oceli)	200			1,500	2 534	142				1 373									
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová	10			0,990	2 000	6				34									
KONSTRUKCE - CELKEM																					
typ konstrukce: střecha plochá R _{si} = 0,1 [(m ² .K)/W] R _{se} = 0,04 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI										
				[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]										
		požadované hodnoty		U _{N,20}		0,24	558	201				2 923									
		doporučené hodnoty		U _{rec,20}		0,16	631	211				3 183									
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní}		0,15	646	213				3 235									
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní}		0,10	762	230				3 650											

Tab. 5.4 Varianta skladby střechy A1-3

označení konstrukce:		tloušťka					materiálové parametry		environmentální parametry												
dvouplášťová zelená dřev. I-nosníky + dřev. TI							součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie								
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.			horní mez	pasiv.	dolní mez	GWP	nPEI	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez
		t	λ	γ	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]												
		[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]												
exteriér	střešní krytina	zemina	120			0,700	2 000	2				24									
	ochranná vrstva	geotextilie	5			0,500	800	10				330									
	ochranná vrstva	nopová fólie	1			0,350	940	4				129									
	hydroizolace	asfaltový pás	8			0,200	1 280	10				479									
	roznášecí vrstva	OSB desky	20			0,130	650	5				105									
	spádová vrstva	I-nosníky + vzduchvá mezera	300			0,558	41	2				35									
	pojistná hydroizolace	DHF desky	20			0,130	650	5				105									
interiér	nosná i tepelně izolační fce	pásnice I-nosníku + dřev. TI		40		0,059	103	2				32									
		stojna I-nosníku + dřev. TI	95	184	201	343	0,043	80	6	11	12	21	91	177	194	331					
		pásnice I-nosníku + dřev. TI		40		0,059	103	2				32									
	parobrzdná vrstva	OSB desky	20			0,130	650	5				105									
	rošť podhledu	vzduch. dutina + dřev. rošť	30			0,558	41	0				3									
podhled	sádrokartonová deska	10			0,360	1 000	4				45										
KONSTRUKCE - CELKEM																					
typ konstrukce: střecha plochá-dvouplášť. R _{si} = 0,1 [(m ² .K)/W] R _{se} = 0,1 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI										
				[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]										
		požadované hodnoty		U _{N,20}		0,24	709	58				1 516									
		doporučené hodnoty		U _{rec,20}		0,16	798	63				1 601									
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní}		0,15	815	64				1 618									
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní}		0,10	957	73				1 755											



Obr. 5.8 Shrnutí environmentálních dopadů střechy na tepelněizolační úrovni "pasiv. dolní mez"

Střecha je jediná konstrukce, kde je ve větší míře využitý potenciál dřeva, jakožto environmentálně šetrného materiálu. Značně se to projevilo na výsledcích. Dřevěná varianta vychází o polovinu lépe než zbylé konstrukce. To je způsobeno tím, že zbylé varianty jsou železobetonové, což není nejkologičtější materiál.

V tomto případě se jedná o jednoznačné vítězství varianty A1-3 popisující dvouplášťovou zelenou dřevěnou střechu. Výsledná skladba byla vymodelována i ve variantě s plechovou krytinou namísto vegetačního souvrství. Jelikož vegetační souvrství obsahuje mnoho vrstev, vycházela varianta s plechem ještě příznivěji. Z několika důvodů, byla preferována varianta se zelení. V poslední době je menší četnost, ale větší intenzita srážek a při tzv. přívalových deštích je problém s kapacitou kanalizace. Zelená střecha vodu zadržuje a tím snižuje rychlost a množství odtokové vody. Vytváří lepší mikroklima. Zeleň obecně do sebe váže CO₂, což je jeden z parametrů v tomto porovnání. Při započítání do provozní části by mohla působit v porovnání zápornou hodnotou GWP [kg CO₂ ekv.] (pravděpodobně ne moc velkou). Střecha je asi nejvhodnější konstrukce k uplatnění zeleně na obálce budovy.

Terasa

Spádová vrstva vychází v rozmezí 40 - 120 mm, proto je v tabulkách uvažována vrstva 80 mm (tedy průměrná).

Tab. 5.5 Varianta skladby terasy A2-1

varianta A2-1																
označení konstrukce: ŽB + EPS + AP + dlažba na podložkách		tloušťka				materiálové parametry			environmentální parametry							
funkce	materiál	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie				
								t	λ	γ	GWP				nPEI	
								[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
exteriér	pochozí vrstva terasy	betonová dlažba				40	1,470	2 403	18				158			
	drenážní vrstva	plastové terčíky + vzduch				15	0,156	418	17				581			
	hydroizolace	asfaltový pás				8	0,200	1 280	10				479			
	tepelná izolace	EPS - střecha				51 124 139 256	0,035	28	6	16	18	32	148	358	400	736
interiér	tepelná izolace	EPS - střecha				80	0,035	28	10				230			
	hydroizolace	asfaltový pás				4	0,200	1 280	5				239			
	roznášecí deska	železobeton (3% oceli)				200	1,500	2 534	142				1 373			
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová				20	0,990	2 000	11				69			
KONSTRUKCE - CELKEM																
typ konstrukce: střecha plochá-dvouplášť. R _{si} = 0,1 [(m ² .K)/W] R _{se} = 0,1 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka		GWP				nPEI				
				[W/(m ² .K)]		[mm]		[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,24		355		175				2 059				
		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,16		428		184				2 269				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,15		443		186				2 311				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,10		560		201				2 647						

Tab. 5.6 Varianta skladby terasy A2-2

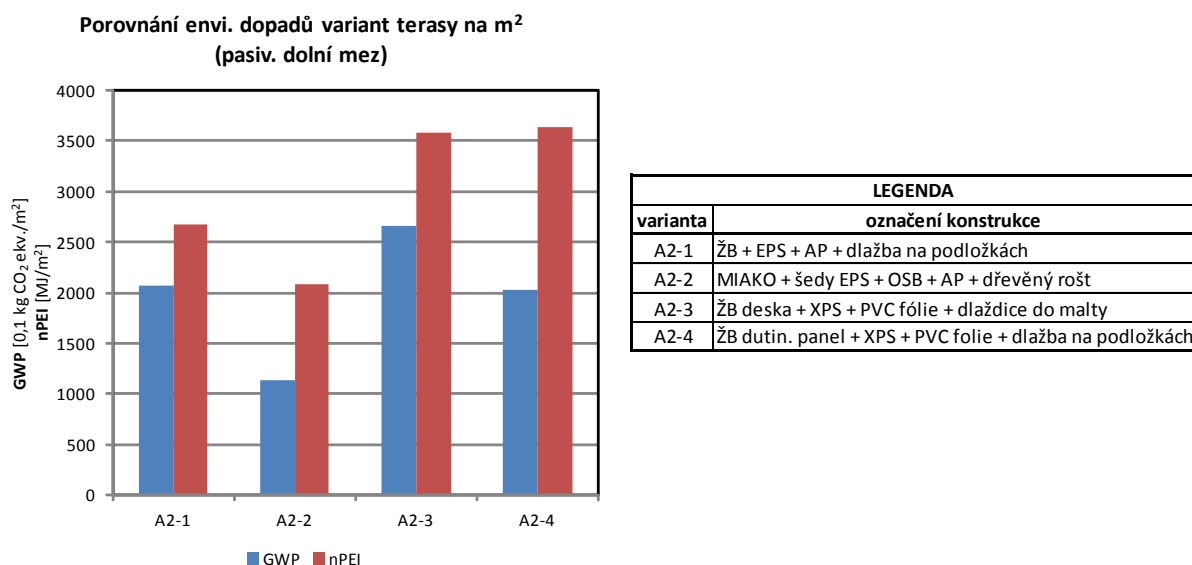
varianta A2-2																
označení konstrukce: MIAKO + šedy EPS + OSB + AP + dřevěný rošt		tloušťka				materiálové parametry			environmentální parametry							
funkce	materiál	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie				
								t	λ	γ	GWP				nPEI	
								[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
exteriér	pochozí vrstva terasy	dřevěný pochozí rošt				40	0,117	446	8				131			
	drenážní vrstva	plastové terčíky + vzduch				15	0,156	418	17				581			
	hydroizolace	asfaltový pás				8	0,200	1 280	10				479			
	roznášecí vrstva	OSB desky				20	0,130	650	5				105			
interiér	tepelná izolace	šedý EPS - střecha				22 89 102 209	0,032	20	2	6	7	14	40	161	185	378
	tepelná izolace	šedý EPS - střecha				80	0,032	20	6				145			
	hydroizolace	asfaltový pás				4	0,200	1 280	5				239			
	hydroizolace	penetrační nátěr				1	0,200	1 280	0				33			
interiér	stropní konstrukce	MIAKO stropní kce tl. 280				280	0,505	909	67				675			
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová				10	0,990	2 000	6				34			
KONSTRUKCE - CELKEM																
typ konstrukce: střecha plochá-dvouplášť. R _{si} = 0,1 [(m ² .K)/W] R _{se} = 0,1 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka		GWP				nPEI				
				[W/(m ² .K)]		[mm]		[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,24		425		101				1 751				
		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,16		492		105				1 871				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,15		505		106				1 896				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,10		612		113				2 089						

Tab. 5.7 Varianta skladby terasy A2-3

varianta A2-3																	
označení konstrukce: ŽB deska + XPS + PVC fólie + dlaždice do malty		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry									
funkce	materiál	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie					
								t	λ	γ	GWP				nPEI		
exteriér	pochozí vrstva terasy	dlaždice				8	1,010	2 000	12				159				
	podkladní beton	malta adhezivní				5	0,700	1 300	9				133				
	pojizdná vrstva	železobeton (1,5% oceli)				50	1,500	2 452	23				202				
	hydroizolace	PVC fólie				2	0,350	1 350	7				186				
	ochranná vrstva	geotextílie				5	0,500	800	10				330				
interiér	tepelná izolace	XPS - střecha	54	127	141	258	0,035	37	8	18	20	37	191	450	502	917	
	tepelná izolace	XPS - střecha	80				0,035	37	11				285				
	hydroizolace	PVC fólie	1				0,350	1 350	3				93				
	roznášecí deska	železobeton (3% oceli)	280				1,500	2 534	199				1 922				
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová	10				0,990	2 000	6				34				
KONSTRUKCE - CELKEM																	
typ konstrukce: střecha plochá Rsi = 0,1 [(m2.K)/W] Rse = 0,04 [(m2.K)/W]		parametry kec. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI						
				[W/(m².K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]						
		požadované hodnoty		U _{N,20}		0,24	430	237				2 856					
		doporučené hodnoty		U _{rec,20}		0,16	503	247				3 115					
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní}		0,15	517	249				3 167					
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní}		0,10	634	266				3 582							

Tab. 5.8 Varianta skladby terasy A2-4

varianta A2-4																	
označení konstrukce: ŽB dutin. panel + XPS + PVC folie + dlažba na podložkách		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry									
funkce	materiál	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie					
								t	λ	γ	GWP				nPEI		
exteriér	pochozí vrstva terasy	betonová dlažba				40	1,470	2 403	18				158				
	drenážní vrstva	plastové terčíky + vzduch				15	0,156	418	17				581				
	hydroizolace	PVC fólie				1	0,350	1 350	3				93				
	ochranná vrstva	geotextílie				5	0,500	800	10				330				
	tepelná izolace	XPS - střecha	51	124	139	255	0,035	37	7	18	20	36	182	441	493	908	
interiér	tepelná izolace	XPS - střecha	80				0,035	37	11				285				
	ochranná vrstva	geotextílie	5				0,500	800	10				330				
	hydroizolace	PVC fólie	1				0,350	1 350	3				93				
	stropní konstrukce	předep. dutin. ŽB panel Spiroll	200				1,200	1 394	78				755				
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová	30				0,990	2 000	17				103				
KONSTRUKCE - CELKEM																	
typ konstrukce: střecha plochá-dvouplášť. Rsi = 0,1 [(m2.K)/W] Rse = 0,1 [(m2.K)/W]		parametry kec. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI						
				[W/(m².K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]						
		požadované hodnoty		U _{N,20}		0,24	428	174				2 910					
		doporučené hodnoty		U _{rec,20}		0,16	501	185				3 170					
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní}		0,15	516	187				3 222					
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní}		0,10	632	203				3 637							



Obr. 5.9 Shrnutí environmentálních dopadů terasy na tepelněizolační úrovni "pasiv. dolní mez"

Výsledná varianta je ovlivněna rozpony stropní konstrukce daného objektu, proto volím variantu A2-1 se železobetonovou monolitickou deskou. Bylo nelehké rozhodnout jakou pochozí vrstvu určit pro výslednou variantu. Dřevěný rošt má nákladnou údržbu. Jedná se o bytový dům, kde není předpoklad, že by se rošt na zimu uklízel, proto mu přisuzuji nízkou životnost a preferuji dlažbu na podložkách.

5.2.B Obvodová stěna

Jelikož plocha obvodové stěny tvoří největší část obálky a zároveň je zde největší potenciál využití keramického zdícího systému, je u této konstrukce porovnáváno nejvíce různých skladeb - celkem 8. Varianty B1, B2 a B3 zastupují trend tzv. jednovrstvých konstrukcí, kde nosná/výplňová vrstva stěny plní rovněž tepelněizolační funkci. Skladby B4 a B5 reprezentují nejčastěji se vyskytující varianty s kontaktním zateplovacím systémem (ETICS). U skladeb B6 a B7 je snaha vytvořit konstrukci s nejmenším environmentálním dopadem. Naopak poslední varianta B8 je vytvořena spíše pro zajímavost, jak nejhůře může stěna z keramického zdícího systému vycházet. Poslední zmiňovaná (B8) není ve většině porovnání obvodových stěn uvažována, jelikož vychází minimálně dvojnásobně víc než ostatní varianty a rozdíl mezi ostatními poté splývají. Je použita u nejhorší varianty obálky celkově.

Tab. 5.9 Varianta skladby obvodové stěny B1

označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry									
jednovrstvé zdivo keram. tvarovka s EPS						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie					
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty			pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez
		t				λ	γ	GWP				nPEI					
		[mm]				W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]					
ext.	exteriérová vrstva stěny	omítka tepelně izolační				30	0,180	1 800		46				433			
	nosná/výplň. kce stěny	210	257	367	562	0,071	660		63	77	110	168	869	1 063	1 517	2 328	
int.	vnitřní omítka	omítka vápenocementová				20	0,990	2 000		11				69			
KONSTRUKCE - CELKEM																	
typ konstrukce: obvodová stěna R _{si} = 0,13 [(m ² .K)/W] R _{se} = 0,04 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:				součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI				
						[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty				U _{N,20} 0,30		260	120				1 370				
		doporučené hodnoty				U _{rec,20} 0,25		307	134				1 565				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez				U _{pas,20,horní} 0,18		417	167				2 019				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez				U _{pas,20,dolní} 0,12		612	225				2 829						

Tab. 5.10 Varianta skladby obvodové stěny B2

označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry									
jednovrstvé zdivo keram. tvarovka s MV						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie					
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty			pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez
		t				λ	γ	GWP				nPEI					
		[mm]				W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]					
ext.	exteriérová vrstva stěny	omítka tepelně izolační				30	0,180	1 800		46				433			
	nosná/výplň. kce stěny	193	237	338	518	0,065	660		52	64	91	139	609	745	1 064	1 632	
int.	vnitřní omítka	omítka vápenocementová				20	0,990	2 000		11				69			
KONSTRUKCE - CELKEM																	
typ konstrukce: obvodová stěna R _{si} = 0,13 [(m ² .K)/W] R _{se} = 0,04 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:				součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI				
						[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty				U _{N,20} 0,30		243	109				1 111				
		doporučené hodnoty				U _{rec,20} 0,25		287	121				1 247				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez				U _{pas,20,horní} 0,18		388	148				1 566				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez				U _{pas,20,dolní} 0,12		568	197				2 134						

Tab. 5.11 Varianta skladby obvodové stěny B3

označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry									
jednovrstvé zdivo speciální keram. tvarovka						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie					
funkce	materiál	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez			λ	γ	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez
		hodnoty	hodnoty	pasiv.	horní mez					požadované	doporučené	pasiv.	horní mez	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez
		t						GWP				nPEI					
		[mm]				W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]					
ext.	exteriérová vrstva stěny	omítka tepelně izolační				30	0,180	1 800	46				433				
int.	nosná/výplň. kce stěny	268	328	468	718	0,090	680	24	29	41	63	257	315	449	689		
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová				20	0,990	2 000	11				69				
KONSTRUKCE - CELKEM																	
typ konstrukce: obvodová stěna Rsi = 0,13 [(m ² .K)/W] Rse = 0,04 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:				součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI				
						[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty				U _{N,20} 0,30		318	81				759				
		doporučené hodnoty				U _{rec,20} 0,25		378	86				817				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez				U _{pas,20,horní} 0,18		518	99				951				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez				U _{pas,20,dolní} 0,12		768	121				1 191						

Tab. 5.12 Varianta skladby obvodové stěny B4

označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry									
keram. tvarovka + MW						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie					
funkce	materiál	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez			λ	γ	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez
		hodnoty	hodnoty	pasiv.	horní mez					požadované	doporučené	pasiv.	horní mez	požadované	doporučené	pasiv.	horní mez
		t						GWP				nPEI					
		[mm]				W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]					
ext.	exteriérová vrstva stěny	omítka tepelně izolační				5	0,180	1 800	8				72				
int.	tepelná izolace	94	119	178	284	0,038	88	12	15	22	35	151	191	286	455		
	nosná/výplň. kce stěny	keramická tvarovka				300	0,468	936	70				762				
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová				20	0,990	2 000	11				69				
KONSTRUKCE - CELKEM																	
typ konstrukce: obvodová stěna Rsi = 0,13 [(m ² .K)/W] Rse = 0,04 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:				součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI				
						[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty				U _{N,20} 0,30		419	101				1 053				
		doporučené hodnoty				U _{rec,20} 0,25		444	104				1 094				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez				U _{pas,20,horní} 0,18		503	111				1 189				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez				U _{pas,20,dolní} 0,12		609	124				1 358						

Tab. 5.13 Varianta skladby obvodové stěny B5

označení konstrukce: keram. tvarovka + EPS		tloušťka					materiálové parametry		environmentální parametry													
							součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie									
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.			horní mez	pasiv.	dolní mez	λ	γ	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez	GWP
		t	[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]												
exter.	exteriérová vrstva stěny	omítka tepelně izolační	5					0,180	1 800	8				72								
	tepelná izolace	EPS - fasáda	94	119	178	284	0,038	19	8	10	15	24	179	227	340	540						
inter.	nosná/výplň. kce stěny	keramická tvarovka	300					0,468	936	70				762								
	vnitřní omítka	omítka vápencementová	20					0,990	2 000	11				69								
KONSTRUKCE - CELKEM																						
typ konstrukce: obvodová stěna Rsi = 0,13 [(m ² .K)/W] Rse = 0,04 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka		GWP				nPEI										
				[W/(m ² .K)]		[mm]		[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]										
		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,30		419		97				1 082										
		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,25		444		99				1 130										
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,18		503		104				1 242										
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,12		609		113				1 443												

Tab. 5.14 Varianta skladby obvodové stěny B6

označení konstrukce: dvouplášť. - keram. tvarovka + dřev.rošt s dřevovlákn. TI		tloušťka					materiálové parametry		environmentální parametry													
							součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplenění				neobnovitelná primární energie									
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.			horní mez	pasiv.	dolní mez	λ	γ	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez	GWP
		t	[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]												
exter.	fasádní obklad	dřevo	15					0,180	400	1				17								
	rošt na fasádě	vzduch, dutina + dřev. rošt	50					0,558	41	0				6								
	difúzní fólie	difúzně propustná fólie	1					0,175	675	2				46								
inter.	rošt s TI na fasádě	dřevo + dřevovláknitá TI	112	144	219	352	0,048	85	6	8	12	19	88	113	171	275						
	nosná/výplň. kce stěny	keramická tvarovka	240					0,468	936	56				610								
	vnitřní omítka	omítka hliněná	20					0,520	1 770	2				22								
KONSTRUKCE - CELKEM																						
typ konstrukce: obvodová stěna-dvouplášť. Rsi = 0,13 [(m ² .K)/W] Rse = 0,13 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka		GWP				nPEI										
				[W/(m ² .K)]		[mm]		[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]										
		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,30		437		65				742										
		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,25		469		67				767										
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,18		544		71				825										
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,12		677		78				929												

Tab. 5.15 Varianta skladby obvodové stěny B7

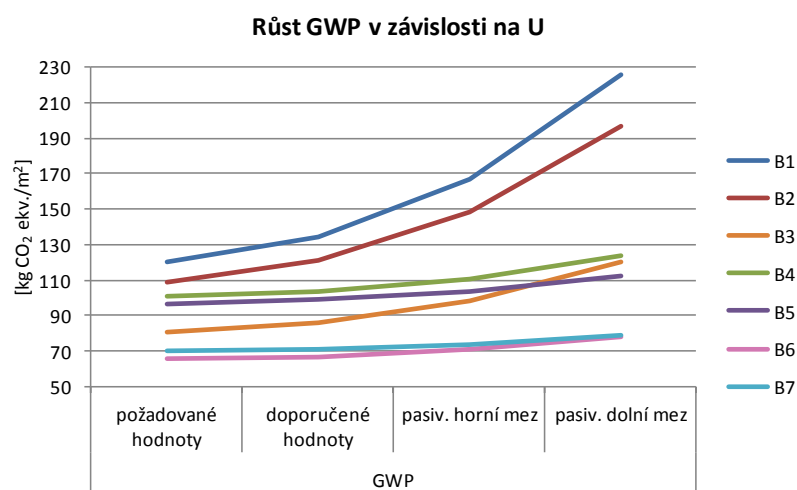
označení konstrukce:		tloušťka					materiálové parametry		environmentální parametry							
keram. tvárnice(240)+ šedý EPS							součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie			
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv. horní mez			pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez
		t	λ	γ	GWP				nPEI							
		[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]							
exter.	exteriérová vrstva stěny	omítka tepelně izolační	5				0,180	1 800	8				72			
	tepelná izolace	šedý EPS - fasáda	83	104	154	243	0,032	16	5	6	9	13	120	151	223	352
inter.	nosná/výplň. kce stěny	keramická tvarovka	240				0,468	936	56				610			
	vnitřní omítka	omítka hliněná	20				0,520	1 770	2				22			
KONSTRUKCE - CELKEM																
typ konstrukce: obvodová stěna Rsi = 0,13 [(m ² .K)/W] Rse = 0,04 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka		GWP				nPEI				
				[W/(m ² .K)]		[mm]		[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,30		348		70				823				
		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,25		369		71				854				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,18		419		74				926				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,12		508		79				1 055						

Tab. 5.16 Varianta skladby obvodové stěny B8

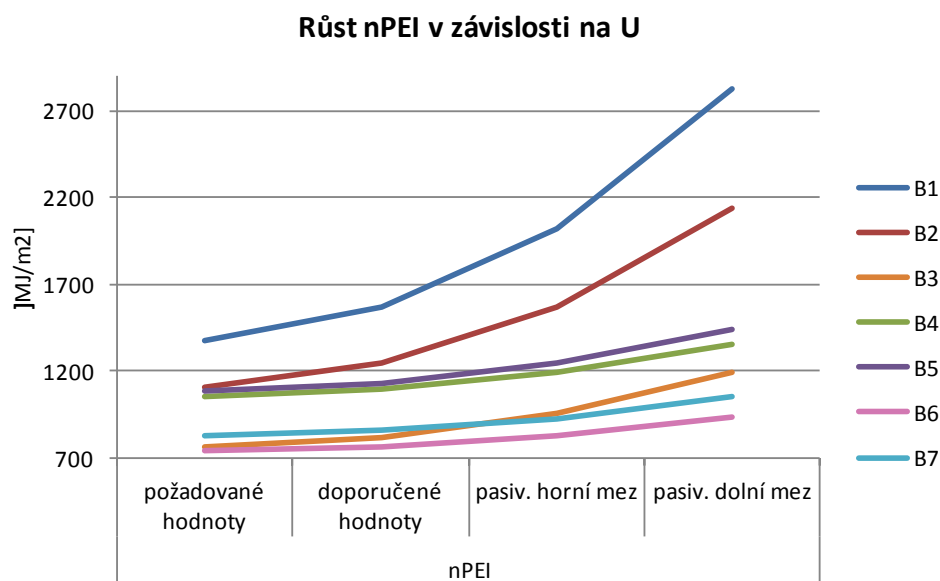
označení konstrukce:		tloušťka					materiálové parametry		environmentální parametry							
Al varianta							součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie			
funkce	materiál	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv. horní mez			pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez	pasiv. horní mez
		t	λ	γ	GWP				nPEI							
		[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]							
exter.	fasádní obklad	hliníkový profil	5				204,000	2 700	114				806			
	rošt na fasádě	vzduch. dutina + Al rošt	50				0,798	136	57				403			
	rošt na fasádě	Al rošt + pěnové sklo	114	147	225	364	0,050	162	74	95	146	236	678	876	1 340	2 168
inter.	nosná/výplň. kce stěny	keramická tvarovka	300				0,468	936	70				762			
	rošt vnitřní předstěny	vzduch. dutina + Al rošt	50				0,798	136	57				403			
	tepelná izolace	sádkartonová deska	12				0,360	1 000	5				54			
KONSTRUKCE - CELKEM																
typ konstrukce: obvodová stěna-dvouplášť. Rsi = 0,13 [(m ² .K)/W] Rse = 0,13 [(m ² .K)/W]		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka		GWP				nPEI				
				[W/(m ² .K)]		[mm]		[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,30		531		377				3 105				
		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,25		564		399				3 304				
		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,18		642		449				3 767				
doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,12		781		539				4 595						

Tab. 5.17 Shrnutí označení jednotlivých variant obvodové stěny

LEGENDA	
varianta	označení konstrukce
B1	jednovrstvé zdivo - keram. tvarovka s EPS
B2	jednovrstvé zdivo - keram. tvarovka s MV
B3	jednovrstvé zdivo - speciální keram. tvarovka
B4	keram. tvarovka + MW
B5	keram. tvarovka + EPS
B6	dvouplášť. - keram. tvarovka + dřev.rošt s dřevovlákn. TI
B7	keram. tvárnice(240)+ šedý EPS
B8	AI varianta



Obr. 5.10 Graf znázorňující růst GWP variant obvodových stěn v závislosti na součiniteli prostupu tepla



Obr. 5.11 Graf znázorňující růst nPEI variant obvodových stěn v závislosti na součiniteli prostupu tepla

Z Obr. 5.10 a Obr. 5.11 je patrný rychlejší růst environmentálních parametrů v závislosti na tepelněizolační úrovni u jednovrstvých konstrukcí (B1, B2 a B3). Ten je zapříčiněn tím, že se zvyšující se tepelněizolační úrovni, se na rozdíl od ostatních variant, zvětšuje tloušťka keramického střepe, který má větší dopad na životní prostředí než tepelná izolace.

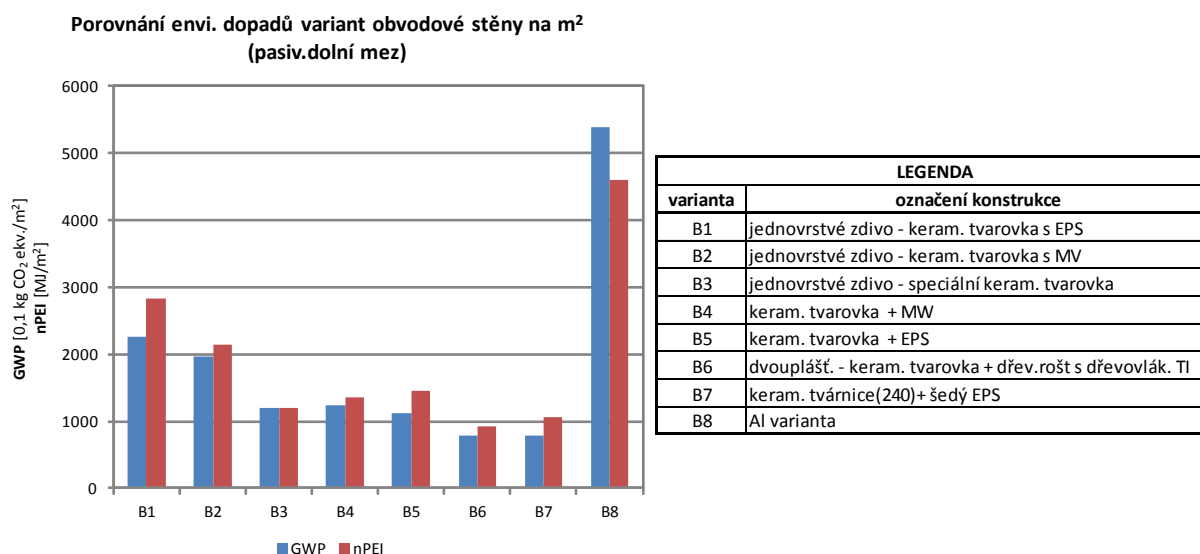
Přehlednější je porovnání pomocí bodového systému popsaného v kapitole 5.2. viz Tab. 5.18. Barevnou škálou je zvýrazněno pořadí skladeb od nejlepší (tmavě zelená) po nejhorší (červená).

Tab. 5.18 Vyhodnocení variant skladeb obvodových stěn pomocí bodového systému

GWP					konstrukce	nPEI					bodový průměr (GWP i nPEI) pro VŠECHNY varianty	bodový průměr (GWP i nPEI) pro pasiv. dolní mez
bodový systém <0;10>						bodový systém <0;10>						
požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez			požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez			
10,00	10,00	10,00	10,00	B1	10,00	10,00	10,00	10,00		10,00	10,00	
8,03	8,03	8,04	8,04	B2	5,87	6,02	6,20	6,34		7,07	7,19	
2,85	2,86	2,88	2,90	B3	0,27	0,62	1,05	1,38		1,85	2,14	
6,44	5,46	4,17	3,12	B4	4,95	4,10	3,05	2,26		4,19	2,69	
5,74	4,75	3,42	2,35	B5	5,41	4,55	3,50	2,71		4,05	2,53	
0,00	0,00	0,00	0,00	B6	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	
0,88	0,64	0,33	0,07	B7	1,29	1,09	0,85	0,67		0,73	0,37	

Z tabulky Tab. 5.18 vyplývá, že keramické tvarovky s výplní z tepelné izolace pro jednovrstvé zdivo (B1 a B2) vychází nejhůř. Z ekologického hlediska vyšla nejlépe konstrukce s měkkou dřevovláknitou tepelnou izolací v dřevěném roštu (B6). Na pomyslném druhém místě se nachází konstrukce zateplená EPS s příměsí grafitu (B7). Z hlediska ekologie je na tom velmi dobře také jednovrstvé zdivo ze speciálně lehčených keramických tvárnic (B3). Variantu B3 (viz Tab. 5.11) značně zhoršuje tepelněizolační omítka, která u jednovrstvých konstrukcí musí být v určité tloušťce, aby zakryla tepelné mosty vzniklé spárami ve zdivu. Obvykle používané varianty (B4 a B5) s ETICS vychází velmi podobně.

V Obr. 5.12 je do porovnání přidána i nejhorší tzv. hliníková varianta. Parametr GWP této varianty je 2,4násobně větší než GWP druhé nejhorší varianty (B1) a téměř 7násobný v porovnání s variantou s nejmenším GWP (B7) na tepelněizolační úrovni pasiv. dolní mez.



Obr. 5.12 Shrnutí environmentálních dopadů variant obvodové stěny na tepelněizolační úrovni "pasiv. dolní mez"

Byl zaznamenán trend, čím méně keramické tvarovky tím lépe z hlediska dopadů na životní prostředí. Z toho důvodu jsem alespoň zjednodušeně spočítala zatížení konstrukce a porovnála s únosností zdiva (viz příloha č.3). Ve zjednodušeném výpočtu vyšlo, že návrhová pevnost zdiva z keramické tvarovky 240 mm s pevností P15 na tenkou maltu na bázi cementu ($f_k = 5,2$ MPa) přenese 1,5násobku návrhového zatížení. Tudíž s 50% rezervou z hlediska únosnosti obtojí. Pro reálnou stavbu by byl jistě potřeba detailnější statický výpočet se zanesením veškerých excentricit (např. od uložení stropu). V mém předběžném výpočtu byl uvažován součinitel výstřednosti 0,8. Hledisko statiky je samozřejmě nadřazené environmentálnímu. Volba keramické tvarovky nosních zdí musí vyhovět především statickému návrhu.

Do posuzovaných variant nebyl zahrnut železobetonový skelet s výplní z keramických tvarovek. U stropů vychází plný železobetonový strop hůře než keramické varianty (viz kapitola 5.1,3.). Je předpoklad, že ani u stěn by se v případě železobetonového skeletu s keramickou výplní nejednalo o ekologičtější variantu než skladby B1-B7. Na druhou stranu železobetonový skelet má při stejných rozměrech jako keramické tvarovky větší únosnost a konstrukce by mohla být subtilnější, tedy naopak s menším dopadem na životní prostředí. Nevýhodou železobetonu je také, větší tepelná vodivost. Nelze tedy obecně říci, která varianta nosné zdi by vycházela lépe. Důležitým aspektem je statika a z ní vyplývající množství použitých materiálů.

Ve všech variantách (kromě dvouplášťových) je jako poslední exteriérová vrstva namodelována tepelněizolační omítka. U jednovrstvého zdiva je podstatná, z důvodů zakrytí spár, potažmo tepelných mostů. U variant s ETICS by se použila tenkovrstvá omítka s perlínkou, která ovšem v databázi není k dispozici.

I přesto, že v environmentálním porovnání vyšla nejlépe varianta s dřevovláknitou izolací v roštu, volím keramickou tvarovku tl. 240 mm + šedý EPS. Hlavním důvodů je tloušťka konstrukce. Na úrovni "pasiv. dolní mez" je rozdíl těchto variant 170 mm, což rozhodně není zanedbatelné (viz kapitola 4.2). Dalším důvodem je pracnost "dřevěné" varianty a skutečnost, že rozdíl obou variant je minimální.

5.2.C Stropní konstrukce 1.PP

V 1.PP přechází konstrukční systém do železobetonového skeletu s rozpětí až 7,35 m z důvodu volné dispozice pro parkování vozidel. Nacházejí se zde železobetonové průvlaky, které jsou součástí každé materiálové varianty, proto jsou uvažovány jako součást sloupů (vnitřní konstrukce) a nejsou v tomto posouzení uvedeny.

Tab. 5.19 Varianta skladby stopní konstrukce 1.PP- C1

varianta C1																			
označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry			environmentální parametry										
TI v podlaze						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie							
ŽB dutin. panel + EPS + ŽB + dlažba		požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty			pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez
funkce	materiál	t	λ	γ	GWP				nPEI										
		[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]										
interiér	pochozí vrstva terasy	dlaždice	12	1,010	2 000	18				238									
	podkladní beton	malta adhezivní	10	0,700	1 300	17				265									
	pojízdná vrstva	železobeton (1,5% oceli)	50	1,500	2 452	23				202									
nevyt. p.	ochranná vrstva	tenká fólie	1	0,175	675	2				46									
	tepelná izolace	EPS - podlaha	39	69	99	159	0,036	23	4	7	10	17	93	164	235	377			
	stropní konstrukce	předep. dutin. ŽB panel Spiroll	200		1,200	1 394	78				755								
KONSTRUKCE - CELKEM																			
typ konstrukce:		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI								
				[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]								
podlaha nad nevyt. prostorem		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,60		312	142				1 600								
Rsi = 0,17 [(m2.K)/W]		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,40		342	145				1 671								
Rse = 0,17 [(m2.K)/W]		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,30		372	148				1 742								
		doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,20		432	154				1 884								

Tab. 5.20 Varianta skladby stopní konstrukce 1.PP- C2

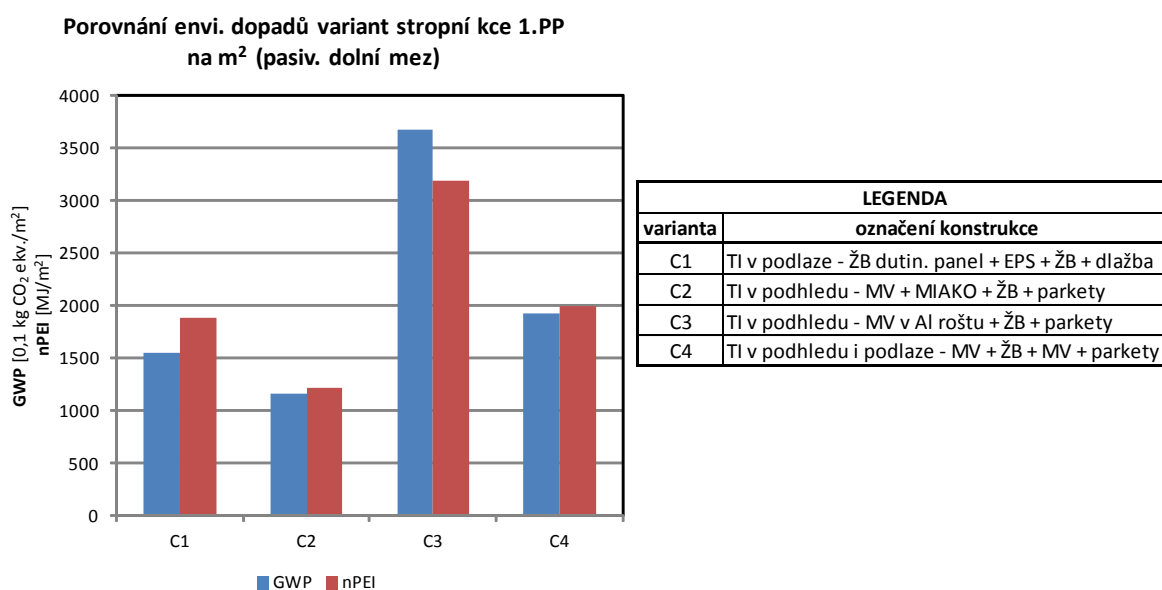
varianta C2																			
označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry			environmentální parametry										
TI v podhledu						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie							
MV + MIAKO + ŽB + parkety		požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty			pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez	požadované	hodnoty	doporučené	hodnoty	pasiv.	horní mez	pasiv.	dolní mez
funkce	materiál	t	λ	γ	GWP				nPEI										
		[mm]	W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]										
int.	souvrství podlahy	parkety	15	0,130	495	3				55									
	pojízdná vrstva	železobeton (1,5% oceli)	50	1,500	2 452	23				202									
nevyt. p.	stropní konstrukce	MIAKO stropní kce tl. 280	280		0,505	909	67				675								
	tepelná izolace	MV - čedič - strop lepený	25	60	94	162	0,041	88	3	7	12	20	41	96	151	260			
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová	5		0,990	2 000	3				17								
KONSTRUKCE - CELKEM																			
typ konstrukce:		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:		součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI								
				[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]								
podlaha nad nevyt. prostorem		požadované hodnoty		U _{N,20} 0,60		375	99				990								
Rsi = 0,17 [(m2.K)/W]		doporučené hodnoty		U _{rec,20} 0,40		410	103				1 045								
Rse = 0,17 [(m2.K)/W]		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez		U _{pas,20,horní} 0,30		444	107				1 100								
		doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez		U _{pas,20,dolní} 0,20		512	115				1 209								

Tab. 5.21 Varianta skladby stopní konstrukce 1.PP- C3

označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry								
TI v pohledu						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie				
MV v AI roštu + ŽB + parkety		požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez			požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	
funkce	materiál	t				λ	γ	GWP				nPEI				
		[mm]				W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
int.	souvrství podlahy	parkety				15	0,130	495	3				55			
	pojízdná vrstva	železobeton (1,5% oceli)				50	1,500	2 452	23				202			
	stropní konstrukce	železobeton (3% oceli)				250	1,500	2 534	178				1 716			
nevyt. p.	podhled	51	92	134	221	0,050	117	37	68	98	163	277	506	734	1 214	
	podhled	sádrokartonová deska				10	0,071	660	3				41			
KONSTRUKCE - CELKEM																
typ konstrukce:		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:				součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI			
						[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]			
podlaha nad nevyt. prostorem		požadované hodnoty				U _{N,20} 0,60		366	241				2 250			
Rsi = 0,17 [(m ² .K)/W]		doporučené hodnoty				U _{rec,20} 0,40		407	272				2 479			
Rse = 0,17 [(m ² .K)/W]		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez				U _{pas,20,horní} 0,30		449	302				2 707			
		doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez				U _{pas,20,dolní} 0,20		536	367				3 187			

Tab. 5.22 Varianta skladby stopní konstrukce 1.PP- C4

označení konstrukce:		tloušťka				materiálové parametry		environmentální parametry								
TI v pohledu i podlaze						součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování				neobnovitelná primární energie				
MV + ŽB + MV + parkety		požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez			požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasiv. horní mez	pasiv. dolní mez	
funkce	materiál	t				λ	γ	GWP				nPEI				
		[mm]				W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]				
interiér	souvrství podlahy	parkety				15	0,130	495	3				55			
	podkladní beton	malta adhezivní				2	0,700	1 300	3				53			
	pojízdná vrstva	železobeton (1,5% oceli)				40	1,500	2 452	18				162			
	roznášecí vrstva	tenká fólie				1	0,175	675	2				46			
nevyt. p.	tepelná izolace	MV - čedič - podlaha				20	0,041	130	4				47			
	roznášecí deska	železobeton (3% oceli)				200	1,500	2 534	142				1 373			
	tepelná izolace	23	57	91	159	0,041	88	3	7	11	20	37	91	146	256	
KONSTRUKCE - CELKEM																
typ konstrukce:		parametry kce. odpovídající součiniteli prostupu tepla, který splňuje dle normy:				součinitel prostupu tepla		tloušťka	GWP				nPEI			
						[W/(m ² .K)]		[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]				[MJ/m ²]			
podlaha nad nevyt. prostorem		požadované hodnoty				U _{N,20} 0,60		301	175				1 773			
Rsi = 0,17 [(m ² .K)/W]		doporučené hodnoty				U _{rec,20} 0,40		335	180				1 828			
Rse = 0,17 [(m ² .K)/W]		doporuč. pro pasiv. budovy - horní mez				U _{pas,20,horní} 0,30		369	184				1 883			
		doporuč. pro pasiv. budovy - dolní mez				U _{pas,20,dolní} 0,20		437	192				1 992			



Obr. 5.13 Shrnutí environmentálních dopadů variant stropní konstrukce 1.PP

Nejlépe vychází keramický skládaný strop z MIAKO vložek a nosníků (C2). Na druhém místě jsou předepjaté železobetonové stropní panely Spiroll(C1). Po zohlednění statiky však volím jako výslednou variantu C4, která se umístila v environmentální posouzení až na třetím místě.

5.2.D Suterénní stěna

V tomto konkrétním případě je suterén v kontaktu se zemí pouze do poloviny své výšky. Suterénní stěna tvoří rozhraní nevytápěného prostoru se zemí či venkovním prostředím. Z toho důvodu se na tuto konstrukci nevztahují požadavky na součinitel prostupu tepla konstrukcí, i přesto se zde, ve vrchní části této konstrukce, tepelná izolace nachází. Je zde za účelem snížení tepelného mostu, tudíž zamezení příliš nízké teploty na styku podlaha-stěna v 1.NP.

Jak vyplývá z požárního hlediska (viz 5.1.1 Tepelné izolace) u takového typu objektu musí být v založení pás tepelné izolace v šířce 900 mm z nehořlavého tepelného izolantu - minerální vlny. Po konzultaci s požárním technikem, bylo konstatováno, že pokud bude tepelný izolant s omítkou již od země, není zde prostor pro rozšíření požáru a nehořlavý pás zde být nemusí. Z toho důvodu je XPS po celé výšce stěny, vystupující nad terén.

Řešené varianty jsou pro část stěny, která je v kontaktu se zemí, aby bylo zřejmé porovnání hydroizolací a ochranných vrstev.

Tab. 5.23 Varianta skladby suterénní stěny D1

varianta D1							
označení konstrukce: keram. tvarovka + AP + geotextílie			tloušťka	materiálové parametry		environmentální parametry	
funkce	materiál	t		součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování	neobnovitelná primární energie
		[mm]	λ W/(m.K)	γ [kg/m ³]	GWP [kg CO ₂ ekv./m ²]	nPEI [MJ/m ²]	
zemina	ochranná vrstva	geotextílie	5	0,500	800	10	330
	hydroizolace	asfaltový pás	4	0,200	1 280	5	239
	hydroizolace	penetrační nátěr	1	0,200	1 280	0	16
interiér	vnitřní omítka	omítka vápenocementová	40	0,990	2 000	22	137
	nosná/výplň. kce stěny	tvarovka nebrušená + malta	300	0,505	959	72	760
	vnitřní omítka	omítka vápenocementová	40	0,990	2 000	22	137
KONSTRUKCE - CELKEM			součinitel prostupu tepla	tloušťka	GWP	nPEI	
			[W/(m ² .K)]	[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	
			1,17	390	131	1 621	

Tab. 5.24 Varianta skladby suterénní stěny D2

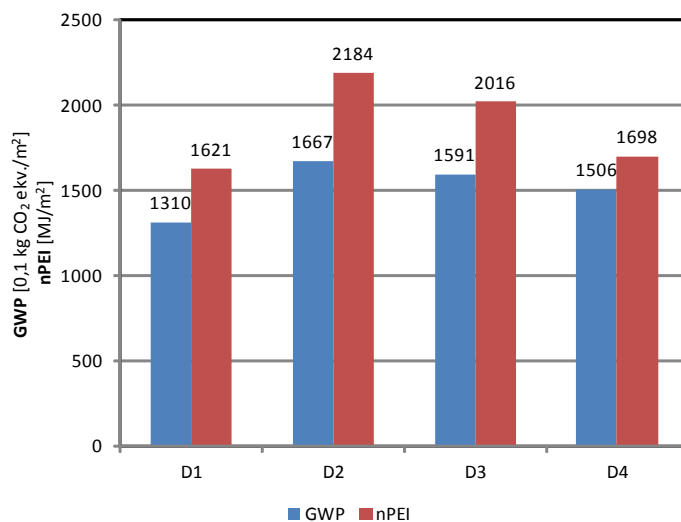
varianta D2							
označení konstrukce: ŽB + PVC folie + nopová fólie			tloušťka	materiálové parametry		environmentální parametry	
funkce	materiál	t		součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování	neobnovitelná primární energie
		[mm]	λ W/(m.K)	γ [kg/m ³]	GWP [kg CO ₂ ekv./m ²]	nPEI [MJ/m ²]	
zemina	ochranná vrstva	nopová fólie	3	0,350	940	11	387
	hydroizolace	PVC fólie	1	0,350	1 350	3	93
	ochranná vrstva	geotextílie	5	0,500	800	10	330
int.	kce suterénní stěny	železobeton	200	1,500	2 534	142	1 373
KONSTRUKCE - CELKEM			součinitel prostupu tepla	tloušťka	GWP	nPEI	
			[W/(m ² .K)]	[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	
			3,28	209	167	2 184	

Tab. 5.25 Varianta skladby suterénní stěny D3

varianta D3							
označení konstrukce: ŽB + AP + nopová fólie			tloušťka	materiálové parametry		environmentální parametry	
funkce	materiál	t		součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování	neobnovitelná primární energie
		[mm]	λ W/(m.K)	γ [kg/m ³]	GWP [kg CO ₂ ekv./m ²]	nPEI [MJ/m ²]	
zemina	ochranná vrstva	nopová fólie	3	0,350	940	11	387
	hydroizolace	asfaltový pás	4	0,200	1 280	5	239
	hydroizolace	penetrační nátěr	1	0,200	1 280	0	16
int.	kce suterénní stěny	železobeton	200	1,500	2 534	142	1 373
KONSTRUKCE - CELKEM			součinitel prostupu tepla	tloušťka	GWP	nPEI	
			[W/(m ² .K)]	[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	
			3,18	208	159	2 016	

Tab. 5.26 Varianta skladby suterénní stěny D4

označení konstrukce: ŽB + AP + XPS		tloušťka					materiálové parametry			environmentální parametry					
funkce	materiál	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasív. horní mez	pasív. dolní mez	součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplení			neobnovitelná primární energie				
								požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasív. horní mez	pasív. dolní mez	požadované hodnoty	doporučené hodnoty	pasív. horní mez	pasív. dolní mez
		t					λ	γ	GWP			nPEI			
		[mm]					W/(m.K)	[kg/m ³]	[kg CO ₂ ekv./m ²]			[MJ/m ²]			
int. - zemina	ochraná	XPS					20	0,035	36	3			69		
	hydroizolace	asfaltový pás					4	0,200	1 280	5			239		
	hydroizolace	penetrační nátěr					1	0,200	1 280	0			16		
int. - kce suterénní stěny	železobeton					200	1,500	2 534	142			1 373			
KONSTRUKCE - CELKEM						součinitel prostupu tepla	tloušťka	GWP			nPEI				
						[W/(m ² .K)]	[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]			[MJ/m ²]				
						1,14	225	151			1 698				

Porovnání envi. dopadů variant suterénní stěny na m²

LEGENDA	
varianta	označení konstrukce
D1	keram. tvarovka + AP + geotextílie
D2	ŽB + PVC folie + nopová folie
D3	ŽB + AP + nopová folie
D4	ŽB + AP + XPS

Obr. 5.14 Shrnutí environmentálních dopadů variant suterénní stěny

Varianta s keramickými tvarovkami vychází z environmentálního hlediska nejlépe. Varianty se železobetonovou stěnou jsou z hlediska dopadu na životní prostředí horší.

Keramické tvarovky nejsou pro suterénní stěny tradičním materiálem. Suterénní stěny musí splňovat odolnost proti zemnímu tlaku. Odolnost vůči bočnímu tlaku u keramických zdných konstrukcí ovlivňuje jednak šíře zdiva, pevnost tvarovky v tlaku P , charakteristická pevnost zdiva F_k , použité pojivo, homogenita hlíny, délka stěny, použití a umístění ztužujících stěn či pilířů i přitížení horními patry [27]. Pro využití keramických tvarovek u suterénní stěny je tedy nutné detailní posouzení.

Jako výsledná varianta opět není zvolena nejkologičtější varianta. Varianta D1 s keramickou tvarovkou není využita, z důvodu tloušťky konstrukce i nutností ztužujících prvků. Celý suterén je, že železobetonu, z toho důvodu je časově náročné a neefektivní, mít pouze určité úseky vyzděny.

5.2.E Podlaha suterénu

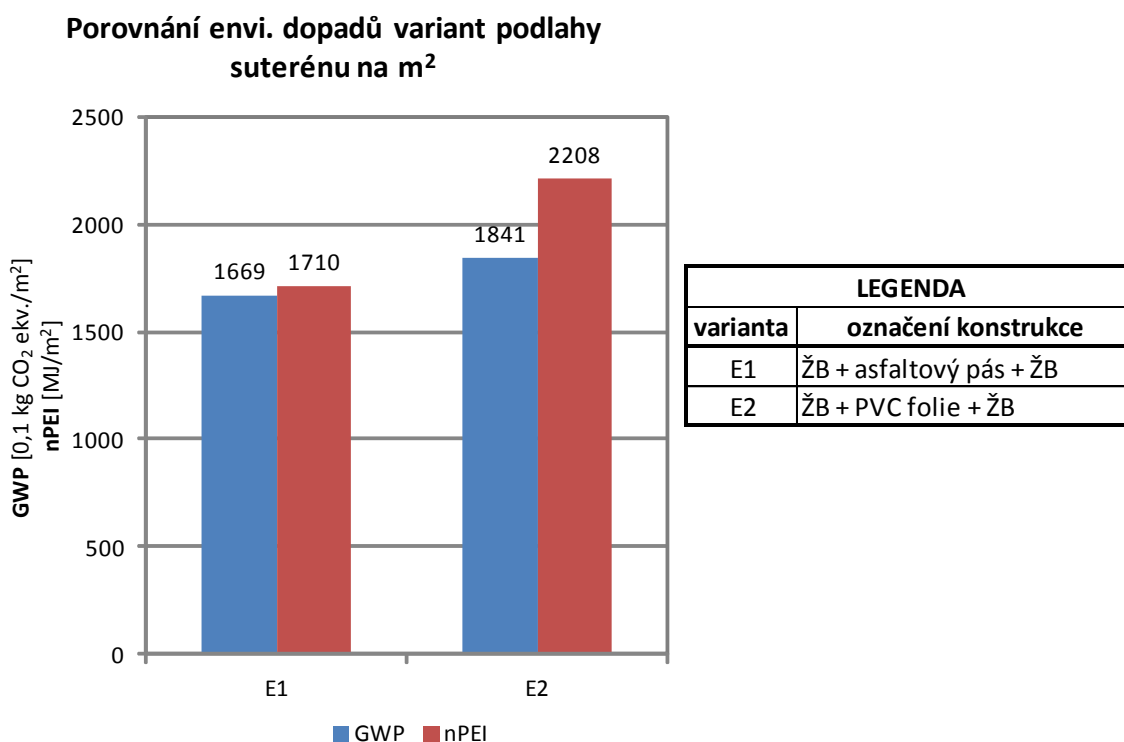
Tato konstrukce netvoří tepelněizolační obálku budovy a nejsou na ni tudíž žádné požadavky z hlediska prostupu tepla. Z toho důvodu je součinitel prostupu tepla pouze v jedné variantě. Jsou uvažovány pouze 2 varianty skladeb lišící se druhem povlakové hydroizolace a vrstev s hydroizolací spojených. Bílá vana (vodonepropustný železobeton s krystalizační příměsí), zde není řešen z důvodu nedostatečných dat.

Tab. 5.27 Varianta skladby podlahy na terénu E1

varianta E1							
označení konstrukce: ŽB + asfaltový pás + ŽB			tloušťka	materiálové parametry		environmentální parametry	
funkce	materiál	t		součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování	neobnovitelná primární energie
		[mm]	λ [W/(m.K)]	γ [kg/m ³]	GWP [kg CO ₂ ekv./m ²]	nPEI [MJ/m ²]	
interiér	pojízdná vrstva	železobeton (1,5% oceli)	75	1,500	2 452	34	303
	roznášecí deska	železobeton (3% oceli)	150	1,500	2 534	107	1 030
	hydroizolace	asfaltový pás	4	0,200	1 280	5	239
	hydroizolace	penetrační nátěr	1	0,200	1 280	0	16
	podkladní beton	nevzdušný beton	100	1,200	2 370	20	121
KONSTRUKCE - CELKEM			součinitel prostupu tepla	tloušťka	GWP	nPEI	
			[W/(m ² .K)]	[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	
			2,35	330	167	1 710	

Tab. 5.28 Varianta skladby podlahy na terénu E2

varianta E2							
označení konstrukce: ŽB + PVC folie + ŽB			tloušťka	materiálové parametry		environmentální parametry	
funkce	materiál	t		součinitel tepelné vodivosti	objemová hmotnost	potenciál globálního oteplování	neobnovitelná primární energie
		[mm]	λ [W/(m.K)]	γ [kg/m ³]	GWP [kg CO ₂ ekv./m ²]	nPEI [MJ/m ²]	
interiér	pojízdná vrstva	železobeton (1,5% oceli)	75	1,500	2 452	34	303
	roznášecí deska	železobeton (3% oceli)	150	1,500	2 534	107	1 030
	ochranná vrstva	geotextílie	5	0,500	800	10	330
	hydroizolace	PVC fólie	1	0,350	1 350	3	93
	ochranná vrstva	geotextílie	5	0,500	800	10	330
zemlín	podkladní beton	nevzdušný beton	100	1,200	2 370	20	121
KONSTRUKCE - CELKEM			součinitel prostupu tepla	tloušťka	GWP	nPEI	
			[W/(m ² .K)]	[mm]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	
			2,35	336	184	2 208	

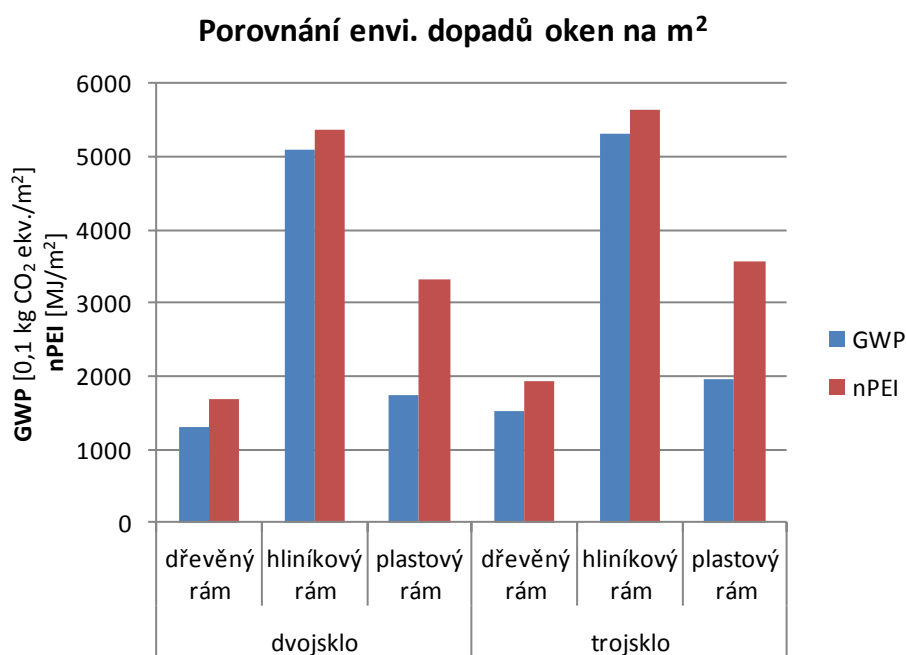


Obr. 5.15 Shrnutí environmentálních dopadů variant podlahy suterénu

Z těchto dvou posuzovaných konstrukcí vychází v obou parametech lépe varianta s asfaltovým pásem. Odhaduji, že bílá vana, kde jedna vrstva plní několik funkcí najednou, by měla vycházet lépe než uvedené varianty, jelikož se jedná o železobeton se speciální příměsí a daná konstrukce, by již nemusela obsahovat další vrstvy (hydroizolace, ochrana hydroizolace).

5.2.F Výplňové konstrukce (okna)

Environmentální databáze dělí okna na 2 části - zasklení a rám. Rám je ve třech materiálových variantách (dřevěný, hliníkový, plastový) a zasklení ve dvou tepelněizolačních - dvojsklo a trojsklo.



Obr. 5.16 Souhrn environmentálních dopadů variant okna

Z grafu Obr. 5.16 vyplývá zásadní vliv materiálu rámu okna na environmentální dopad oken. Dřevěný má nejmenší, plastový střední a hliníkový největší. I přes malé procento plochy okna je při dopadu na životní prostředí důležitější materiál rámu než počet skel v zasklení. Dřevěný rám s trojsklem má stále menší environmentální zátěž než plastový rám s dvojsklem.

Dřevěné výplně sice vychází v environmentální posouzení nejlépe, ale je zde nutná pravidelná a nákladná údržba s obnovováním nátěrů, což není pro bytový dům vhodné. Proto je zvolena prostřední varianta - plastová okna. Argument pro variantu s plastovým rámem jsou bezúdržbovost vhodná pro bytové domy a fakt, že se jedná o nejlevnější a nejrozšířenější variantu použití.

Pro zbylé výplně tvorů dveře a garážová vrata nejsou environmentální datasey. Jejich plocha je oproti ostatním velmi malá a proto nejsou variovány a řešeny velmi zjednodušeně. Uvažují je pouze v jedné variantě a modelují je jako celodřevěné (lepené lamelové dřevo s tloušťkou 60 mm). Jejich dopad jsou 13 kg CO₂ ekv./m² a 218 MJ/m².

5.3 Vnitřní konstrukce

V prvotní fázi byl předpoklad, že se práce bude věnovat pouze konstrukcím obálky budovy. To by značně ovlivnilo možnost porovnání s provozními dopady. Porovnání by nemělo vhodnou vypovídající hodnotu. Z toho důvodu jsou mezi svázané dopady zjednodušeně přidány i vnitřní konstrukce. Vnitřní konstrukce vyplývají ze zadání a nejsou nijak variovány. Pouze u konstrukci stropu je přihlédnuto k výsledné variantě konstrukcí obálek budovy, které také obsahují stropní konstrukci. Výsledné svázané dopady se vztahují k budově jako celku.

5.4 Výsledky

Variant konstrukcí je celkem 29 většina ve 4 tepelneizolačních úrovních pro 2 environmentální parametry, tedy značné množství dat (viz Tab. 5.33). Nejvhodnější porovnání je vždy pro daný typ konstrukce, což je obsahem kapitoly 5.2. Zde uvádím pouze obecné závěry.

Napříč celou práci můžeme sledovat provázanost porovnávaných environmentálních parametrů. V případě vysoké hodnoty GWP, se dá očekávat i vyšší hodnota nPEI.

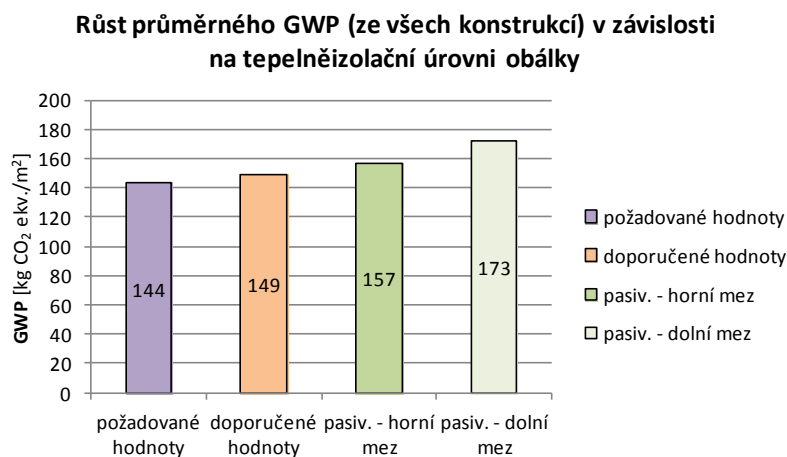
Okno s hliníkový rámem vychází jednoznačně nehůř pro oba environmentální parametry ve všech 4 tepelněizolačních úrovních. Druhou nejhorší konstrukcí je obvodová stěna s hliníkovými prvky. Nejlépe v hodnocení vychází dřevěné dveře, ale jejich výpočet je značně zjednodušen.

Z práce můžeme vyzorovat trend environmentálně šetrných produktů. Jedná se o lehké materiály a prvky s dutinami.

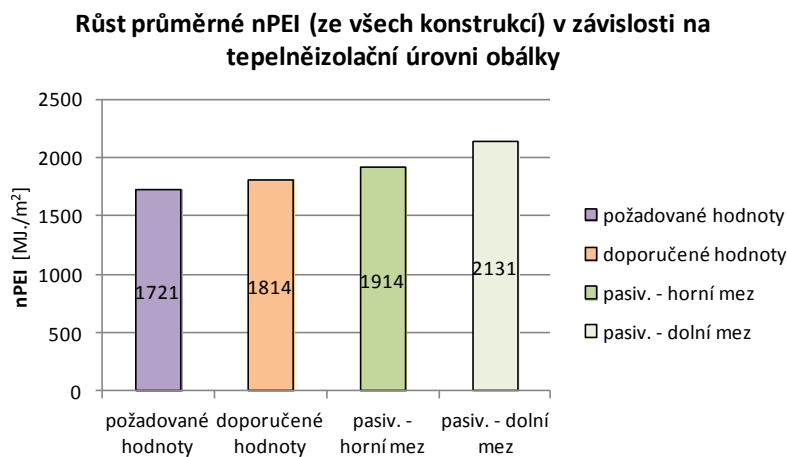
Tab. 5.33 Environmentální dopady jednotlivých variant konstrukcí

		Požadované hodnoty		Doporučené hodnoty		Doporučené hodnoty pro pasivní budovy -		Doporučené hodnoty pro pasivní budovy -	
		GWP	nPEI	GWP	nPEI	GWP	nPEI	GWP	nPEI
		[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]	[kg CO ₂ ekv./m ²]	[MJ/m ²]
A1-1	jednoplášťová - ŽB + EPS + asfalt. pás	180	2511	190	2721	191	2763	206	3099
A1-2	inverzní - ŽB + XPS + PVC folie + kačirek	201	2923	211	3183	213	3235	230	3650
A1-3	dvouplášťová zelená - dřev. l-nosníky + dřev. TI	58	1516	63	1601	64	1618	73	1755
A2-1	ŽB + EPS + AP + dlažba na podložkách	175	2059	184	2269	186	2311	201	2647
A2-2	MIAKO + šedý EPS + OSB + AP + dřevěný rošt	101	1751	105	1871	106	1896	113	2089
A2-3	ŽB deska + XPS + PVC folie + dlaždice do malty	237	2856	247	3115	249	3167	266	3582
A2-4	ŽB dutin. panel + XPS + PVC folie + dlažba na podložkách	174	2910	185	3170	187	3222	203	3637
B1	jednovrstvé zdivo - keram. tvarovka s EPS	120	1370	134	1565	167	2019	225	2829
B2	jednovrstvé zdivo - keram. tvarovka s MV	109	1111	121	1247	148	1566	197	2134
B3	jednovrstvé zdivo - speciální keram. tvarovka	81	759	86	817	99	951	121	1191
B4	keram. tvarovka + MW	101	1053	104	1094	111	1189	124	1358
B5	keram. tvarovka + EPS	97	1082	99	1130	104	1242	113	1443
B6	dvouplášť. - keram. tvarovka + dřev.rošt s dřevovlákn. TI	67	788	69	813	73	871	80	975
B7	keram. tvárnice(240)+šedý EPS	70	823	71	854	74	926	79	1055
B8	Al varianta	377	3105	399	3304	449	3767	539	4595
C1	TI v podlaze - ŽB dutin. panel + EPS + ŽB + dlažba	142	1600	145	1671	148	1742	154	1884
C2	TI v podhledu - MV + MIAKO + ŽB + parkety	99	990	103	1045	107	1100	115	1209
C3	TI v podhledu - MV v Al roštu + ŽB + parkety	241	2250	272	2479	302	2707	367	3187
C4	TI v podhledu i podlaze - MV + ŽB + MV + parkety	175	1773	180	1828	184	1883	192	1992
D1	keram. tvarovka + AP + geotextílie	131	1621	131	1621	131	1621	131	1621
D2	ŽB + PVC folie + nopová fólie	167	2184	167	2184	167	2184	167	2184
D3	ŽB + AP + nopová fólie	159	2016	159	2016	159	2016	159	2016
D4	ŽB + AP + XPS	151	1698	151	1698	151	1698	151	1698
E1	ŽB + asfaltový pás + ŽB	167	1710	167	1710	167	1710	167	1710
E2	ŽB + PVC folie + ŽB	184	2208	184	2208	184	2208	184	2208
F1	okna dřevěná	131	1684	131	1684	151	1939	151	1939
F2	okna hliníková	510	5370	510	5370	530	5624	530	5624
F3	okna plastová	175	3308	175	3308	196	3562	196	3562
	dveře a vrata	5	70	5	70	5	70	5	70

V grafech Obr. 5.17 a Obr. 5.18 je patrný očekávaný růst envi. dopadů v závislosti na tepelněizolační kvalitě obálky.



Obr. 5.17 Graf zobrazující růst průměru GWP ze všech konstrukcí v závislosti na tepelněizolační úrovni obálky



Obr. 5.18 Graf zobrazující růst průměru nPEI ze všech konstrukcí v závislosti na tepelněizolační úrovni obálky

6. Energeticko-environmentální výsledky

6.1 Systém hodnocení

Důležitým bodem této práce je nalézt systém, který by vhodně porovnal takové množství dat. Pro zjednodušení jsou vytvořeny 4 varianty kombinací konstrukcí:

- nejhorší (viz Tab. 6.1)
- obvyklá (viz Tab. 6.2)
- výsledná (viz Tab. 6.3)
- nejlepší (viz Tab. 6.4)

Tab. 6.1 Varianta kombinace konstrukcí s největším environmentálním dopadem

nejhorší	
konstrukce	varianta
A1 střecha plochá	A1-2 inverzní - ŽB + XPS + PVC folie + kačírek
A2 terasa	A2-3 ŽB deska + XPS + PVC fólie + dlaždice do malty
B obvodová stěna	B8 Al varianta
C podlaha nad nevyt. prostorem	C3 TI v podhledu - MV v Al roštu + ŽB + parkety
D suteréní stěna - zemina	D2 ŽB + PVC folie + nopová fólie
E podlaha na zemině	E2 ŽB + PVC folie + ŽB
F okna celkem	F2 okna hliníková
dveře a garážová vrata	-
vnitřní konstrukce	-

Tab. 6.2 Varianta kombinace nejčastěji používaných konstrukcí

obvyklá	
konstrukce	varianta
A1 střecha plochá	A1-1 jednoplášťová - ŽB + EPS + asfalt. pás
A2 terasa	A2-1 ŽB + EPS + AP + dlažba na podložkách
B obvodová stěna	B5 keram. tvarovka + EPS
C podlaha nad nevyt. prostorem	C1 TI v podlaze - ŽB dutin. panel + EPS + ŽB + dlažba
D suteréní stěna - zemina	D3 ŽB + AP + nopová fólie
E podlaha na zemině	E1 ŽB + asfaltový pás + ŽB
F okna celkem	F3 okna plastová
dveře a garážová vrata	-
vnitřní konstrukce	-

Tab. 6.3 Výsledná kombinace konstrukcí

výsledná	
konstrukce	varianta
A1 střecha plochá	A1-3 dvouplášťová zelená - dřev. I-nosníky + dřev. TI
A2 terasa	A2-1 ŽB + EPS + AP + dlažba na podložkách
B obvodová stěna	B7 keram. tvárnice (240) + šedý EPS
C podlaha nad nevyt. prostorem	C4 TI v podhledu i podlaze - MV + ŽB + MV + parkety
D suteréní stěna - zemina	D4 ŽB + AP + XPS
E podlaha na zemině	E1 ŽB + asfaltový pás + ŽB
F okna celkem	F1 okna dřevěná
dveře a garážová vrata	-
vnitřní konstrukce	-

Tab. 6.4 Varianta kombinace konstrukcí s nejmenším environmentálním dopadem

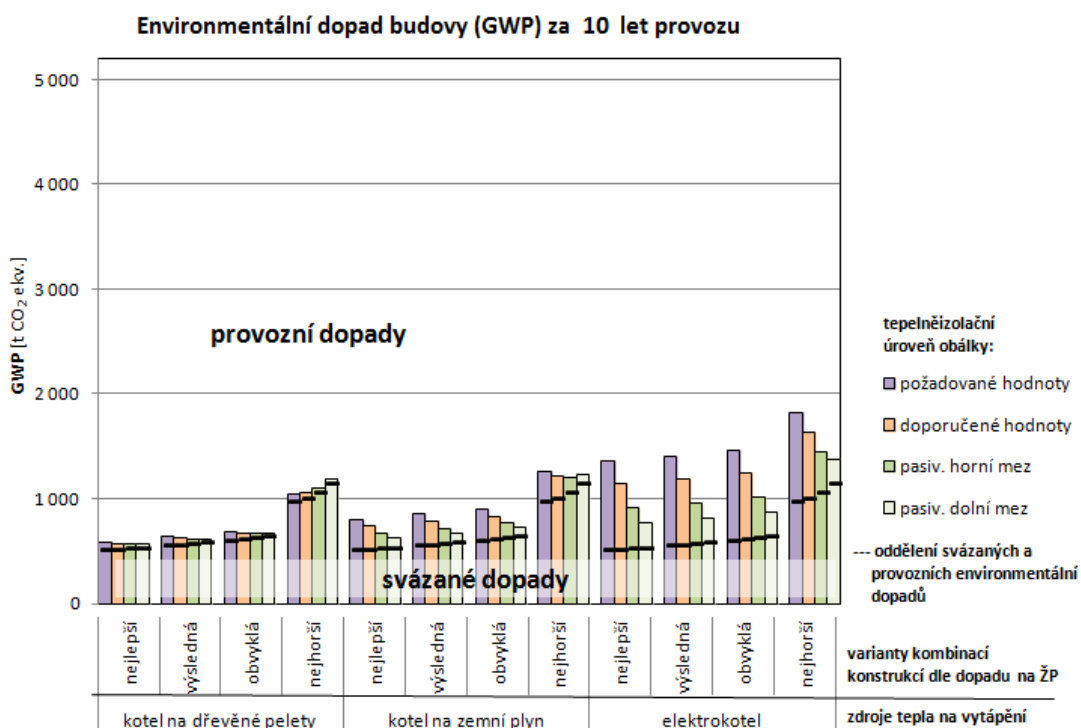
nejlepší	
konstrukce	varianta
A1 střecha plochá	A1-3 dvouplášťová zelená - dřev. l-nosníky + dřev. TI
A2 terasa	A2-2 MIAKO + šedy EPS + OSB + AP + dřevěný rošt
B obvodová stěna	B6 dvouplášť. - keram. tvarovka + dřev.rošt s dřevovlákn. TI
C podlaha nad nevyt. prostorem	C2 TI v podhledu - MV + MIAKO + ŽB + parkety
D suteréní stěna - zemina	D1 keram. tvarovka + AP + geotextilie
E podlaha na zemině	E1 ŽB + asfaltový pás + ŽB
F okna celkem	F1 okna dřevěná
dveře a garážová vrata	-
vnitřní konstrukce	-

Všechny varianty konstrukcí jsou stále uvažovány ve 4 tepelněizolačních úrovních. Nejhorší varianta by mohla mít přezdívkou hliníková. Samozřejmě by se dala vytvořit konstrukce s ještě větším environmentálním dopadem, ale to není úkolem této práce.

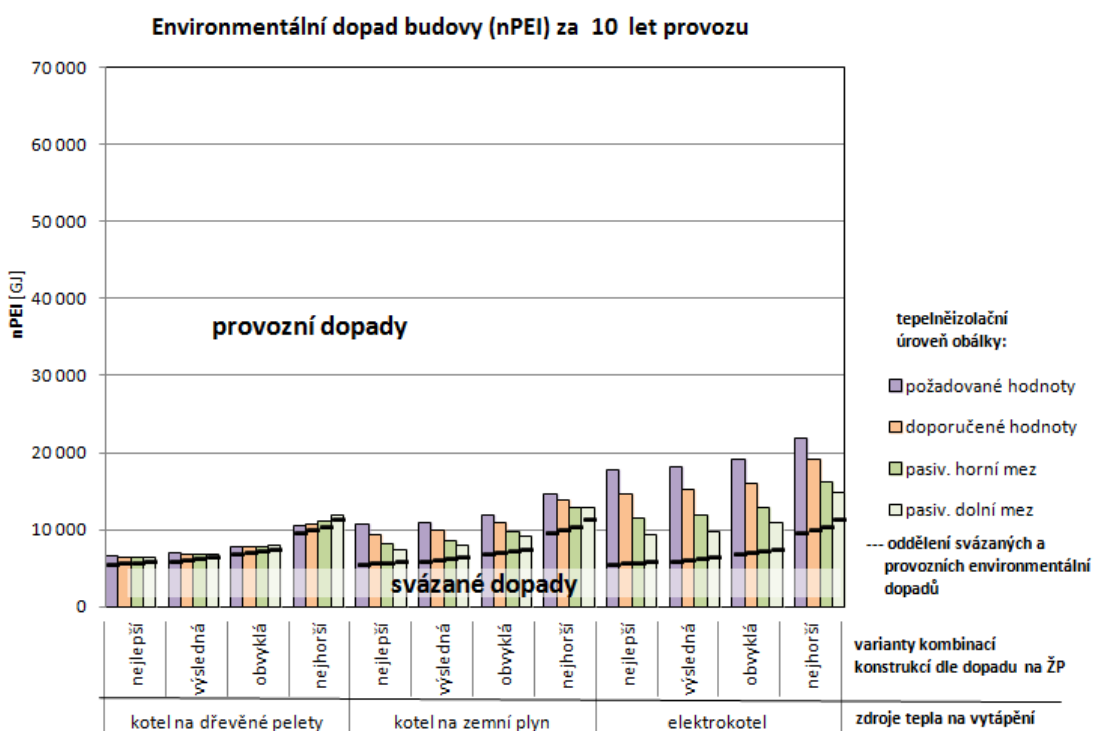
Environmentální dopady v této práci popisují dva parametry - GWP a nPEI. Je zaznamenán stejný trend výsledků obou environmentálních parametrů. Pokud v environmentálním porovnání vychází svázané či provozní dopady nejhůře z pohledu jednoho environmentálního parametru, je velmi pravděpodobné, že ve stejném porovnání, ale pro druhý environmentální parametr, bude také varianta vycházet špatně. Z toho důvodu nejsou parametry nijak váhovány.

6.2 Porovnání provozních a svázaných environmentálních dopadů

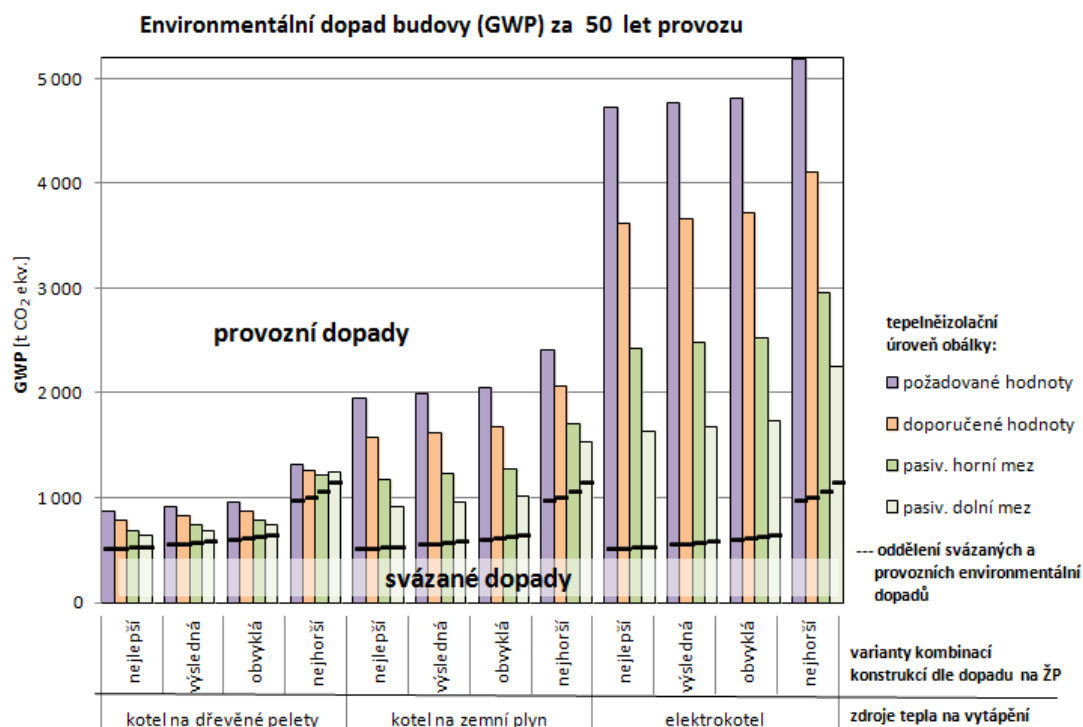
Je zřejmé, že vyhodnocení značně ovlivní doba, na kterou je objekt navržen, respektive kolika roky provozu budou provozní environmentální dopady vynásobeny. Pro svázané emise jsou určeny systémové hranice bez vlivu životnosti, takže ty jsou uvažovány pouze jednou na celou dobu plánované životnosti objektu, tedy 50 let. Výsledky jsou porovnány pro 2 časové údaje - 10 let provozu a konec plánované životnosti objektu (50 let provozu). (viz Obr. 6.1, Obr. 6.2, Obr. 6.3, Obr. 6.4)



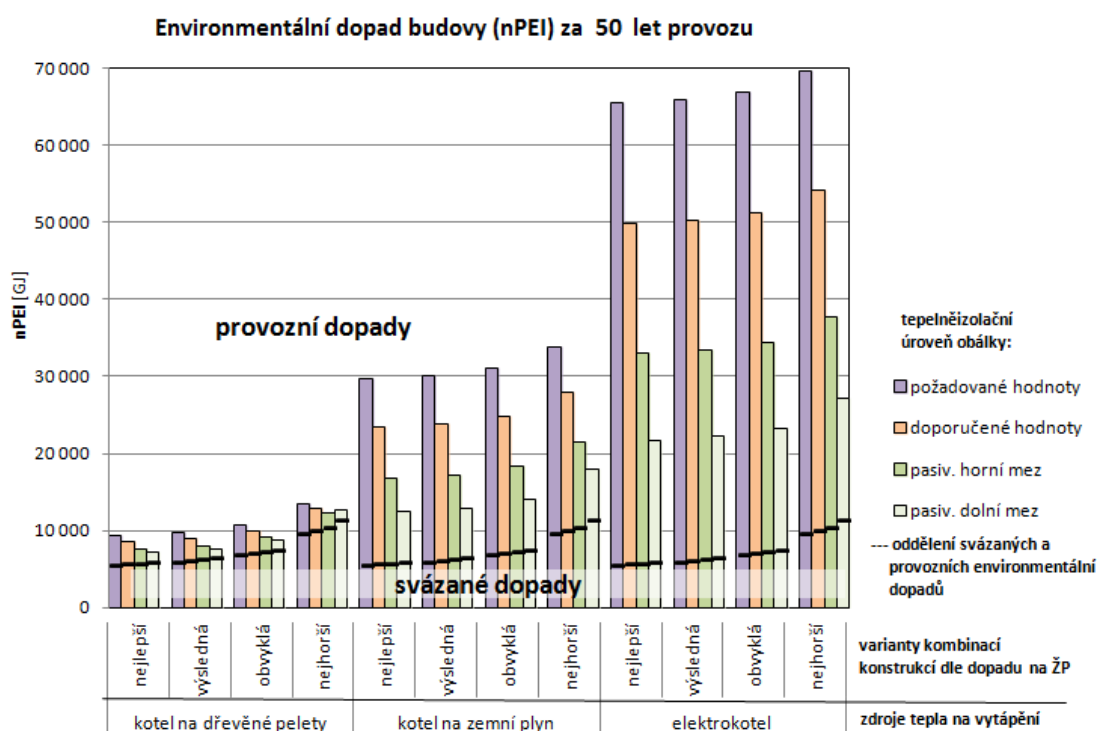
Obr. 6.1 Celkový environmentální dopad budovy z pohledu GWP za 10 let provozu



Obr. 6.2 Celkový environmentální dopad budovy z pohledu nPEI za 10 let provozu



Obr. 6.3 Celkový environmentální dopad budovy z pohledu GWP za 50 let provozu



Obr. 6.4 Celkový environmentální dopad budovy z pohledu nPEI za 50 let provozu

Z grafů Obr. 6.3 a Obr. 6.4 je zřejmé, že ve většině případů pokud stavíme bytový dům s životností 50 let, je stěžejní mít obálku budovy na vysoké tepelněizolační úrovni. Samozřejmě čím lepší tepelněizolační obálka budovy, tím větší svázané dopady, ale

vliv provozu, který naopak klesá, se prokázal rozhodující. Svázané dopady konstrukcí jsou započteny pouze jednou na celou dobu 50 let (viz kapitola 1.3.2), což je trochu zkreslující, jelikož u některých materiálů se uvažuje životnost pouze 25 let. Provoz budovy se s každým rokem zvyšuje. Vliv provozu je umocněn volbou energonositele, který ovlivňuje environmentální dopad potřeby tepla na vytápění. Rozdíl mezi průměrným environmentálním dopadem celé budovy při použití kotle na pelety a elektrokotle je propastný - GWP 12násobný a nPEI 17násobný.

Jedinou výjimku tvoří po 50 letech provozu kombinace zde neekologičtějšího energonositele (kotle na pelety) ve spojení s nejhorší uvažovanou kombinací konstrukcí. Zde nezvítězila obálka budovy, navržená na "doporučené hodnoty pro pasivní budovy dolní mez" součinitele prostupu tepla, ale na horní mez intervalu pro pasivní domy. Tedy i v této nepříznivé kombinaci je stále vhodné se snažit o pasivní standard, byť postačí mírnější izolování konstrukcí.

Jaký je poměr provozních a svázaných dopadů určuje především doba provozu a energonositel. Pokud je objekt vytápěn ekologickým zdrojem (kotel na pelety), je vliv konstrukcí dominantní. V případě kotle na pelety tvoří v průměru konstrukce 77 % na celkovém environmentálním dopadu budovy po 50 letech provozu. Na rozdíl od elektrokotle, kde je průměrný vliv obálky pouze 25 %.

6.3 Výsledná varianta

Z enviromentálně-energetické optimalizace vyplívá, že z hlediska dopadu na životní prostředí je vhodné obálku budovy navrhnout na nejvyšší tepelněizolační úroveň. Výsledná konstrukční varianta je značně ovlivněná zadaným objektem. Muselo zde být několik environmentálních ústupků z hlediska zadané dispozice.

Výsledná data jsou shrnuta v Tab. 6.5 a na výkresech viz přílohy č. 9,10,11.

Tab. 6.5 Data výsledné varianty

	konstrukce	varianty	součinitel	tloušťka	plocha	environmentální parametry				procentuální zastoupení na celkovém GWP		procentuální zastoupení na celkové nPEI	
			prostupu tepla			GWP	nPEI	zadaný objekt					
			U	t	A			jednotkové hodnoty	GWP	nPEI	[W/(m ² ·K)]	[mm]	[m ²]
svázané dopady obálka budovy	střecha plochá	A1-3 dvouplášťová zelená - dřev. l-nosníky + dřev. TI	0,11	1054	312,8	85	1934	26,6	604,9	4,48	53,78	8,94	59,21
	terasa	A2-1 ŽB + EPS + AP + dlažba na podložkách	0,10	703	168,6	201	2647	33,9	446,2	5,71		6,59	
	obvodová stěna	B7 keram. tvárnice(240)+ šedý EPS	0,14	495	897,9	13	348	11,7	312,5	1,97		4,62	
	podlaha nad nevyt. prostorem	C4 TI v podhledu i podlaze - MV + ŽB + MV + parkety	0,20	566	386,6	192	1992	74,2	770,1	12,52		11,38	
	suterénní stěna	D4 ŽB + AP + XPS	1,14	225	209,8	151	1 698	31,6	356,3	5,33		5,26	
	podlaha na zemině	E1 ŽB + asfaltový pás + ŽB	1,82	330	386,6	247	2416	95,5	934,0	16,11		13,80	
	okna celkem	F1 okna dřevěná	0,70	-	300,4	151	1939	45,3	582,4	7,65		8,61	
	dveře a garážová vrata	-	-	-	12,2	5	70	0,1	0,9	0,01		0,01	
vnitřní konstrukce	stropní konstrukce	-	-	-	928	202	2 061	187,1	1912,5	31,55	46,22	28,26	40,79
	nenosné stěny - příčky	-	-	-	650	46	420	29,8	273,4	5,02		4,04	
	nosné stěny	-	-	-	651	87	865	56,5	563,3	9,52		8,32	
	dveře	-	-	-	168	5	70	0,8	11,7	0,13		0,17	
celkem								592,9	6768,1				
provozní dopady	měrná potřeba tepla na vytápění		e _A	15,77	[kWh/m ² .rok]								
	potřeba tepla na vytápění		Q _{nd}	22 570	[kWh/rok]								
				81 252	[MJ/rok]								
	environmentální dopad		GWP				nPEI						
			[kg CO ₂ ekv./rok]	[t CO ₂ ekv.]			[MJ/rok]		[GJ]				
	počet let provozu		1	10	30	50	1	10	30	50			
zdroj tepla	kotel na pelety	1 950,1	19,5	58,5	97,5	19 899,1	199,0	597,0	995,0				

Svázané emise výsledné varianty vychází hůř než v kapitole 5.2, jelikož pro výslednou variantu jsou konstrukce prověřeny z tepelněvlhkostního hlediska v programu Teplo[42] (viz přílohy č. 4-7), ve kterém je přidán korekční součinitel prostupu tepla na vliv systematických tepelných mostů. Výsledné tloušťky konstrukce také odpovídají obvyklým výrobním rozměrovým řadám. Konstrukce jsou ověřeny, zda nedochází ke kondenzaci v daných skladbách a případně upraveny viz příloha č. 9,10,11.

Z minulé kapitoly 6.2 vyplívá důležitost volby zdroje tepla. Proto je pro výslednou variantu zvolen kotel na pelety. Jedná se o zdroj tepla, který využívá obnovitelný zdroj energie. Kotel na pelety je oproti jiným porovnávaným možnostem náročnější na údržbu, ale hlavní cíl této práce je energeticko-environmentální optimalizace, ve které značně dominuje. Kotle na pelety mívají automatické řízení provozu, které si samo přikládá ze zásobníku. V dnešní době se již na trhu objevují kotle s automatickým odstraňováním popela. Neznamená to, že se tím stává bezúdržbový, ale případná revize nemusí být tak častá.

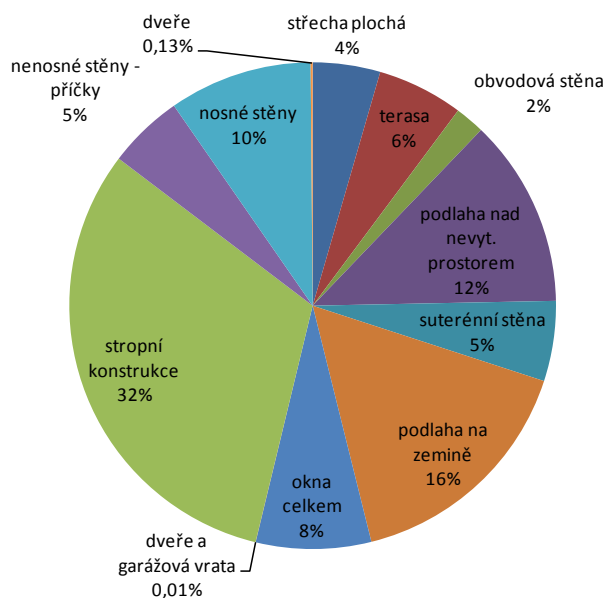
Tím, že je zvolena vysoká tepelněizolační úroveň, je potřeba tepla na vytápění minimální. Z toho důvodu není potřeba tolik pelettek. Zjednodušenou analýzou, přes výhřevnost pelettek je odhadnuto, že za rok by byla potřeba pelettek asi 5-6 tun. V podkladech není žádná kotelná plánovaná, ale dle těchto odhadů by neměla zabrat více než 2 parkovací místa.

Výsledná varianta splňuje požadavek požární normy na budovy s požární výškou 12 m. Z toho důvodu musí být o založení do výšky min. 900 mm nehořlavý izolant A1/A2. Výsledný řez je veden arkýřem, který je atypický a tuto skutečnost nezobrazuje.

Keramický zdící systém je v České republice stále nejčastější materiálovou variantou bytových domů. V roce 2015 bylo 72 % dokončených bytových domů, zdícího systému [6]. Jedná se o masivní typ konstrukce, který má dobrou akumulaci a zlepšuje tepelnou stabilitu objektu. Je předpoklad, že dřevostavy by vyšli v této optimalizaci lépe, ale jejich výstavba má také několik nevýhod (např.: mnohá požární omezení i horší akumulaci schopnosti konstrukce).

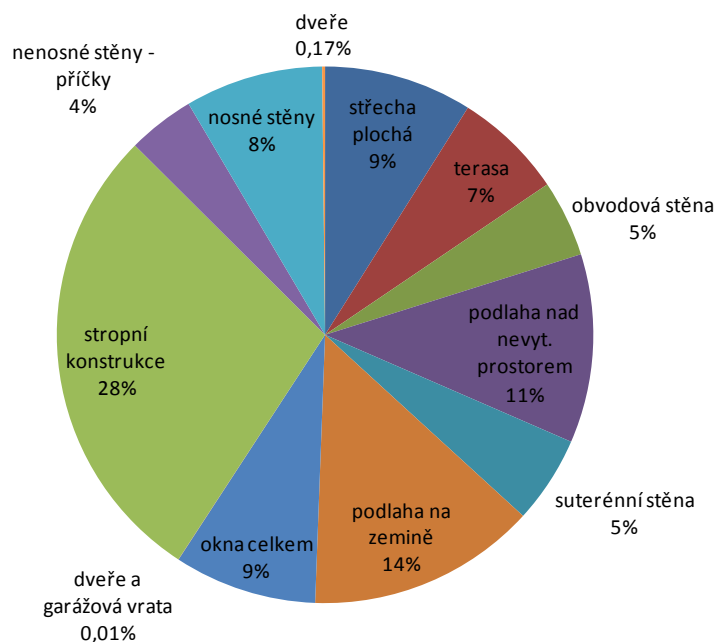
Grafy Obr. 6.5 a Obr. 6.6 popisují procentuální zastoupení jednotlivých konstrukcí na celkovém environmentálním dopadu. Je patrné, že vnitřní konstrukce mají značný podíl a je správné, že navzdory tomu, že se jedná o optimalizaci obálky budovy, jsou v porovnání započteny. Podíl jednotlivých konstrukcí na celkovém environmentálním dopadu se odvíjí od plochy konstrukce.

Podíl zastoupení dílčích konstrukcí na celkovém envi. dopadu konstrukcí z hlediska GWP



Obr. 6.5 Procentuální podíl zastoupení dílčích konstrukcí (GWP)

Podíl zastoupení dílčích konstrukcí na celkovém envi. dopadu konstrukcí z hlediska nPEI



Obr. 6.6 Procentuální podíl zastoupení dílčích konstrukcí (nPEI)

7. Závěr

Energeticko-environmentální optimalizace je v této práci aplikována na konkrétní bytový dům. Optimalizace je částečně omezená limity zadané dispozice. V mnoha případech není velké množství jiných materiálových či skladebných variant, které by byly pro konstrukci o takovém rozponu či sklonu vhodné. Přesto jsou odlišné skladby v posouzení ponechány a je tedy možnost porovnat i varianty bez dispozičního omezení. Je zjištěno, že existují i šetrnější konstrukce, co se týká dopadu na životní prostředí, než je výsledná varianta. Je vhodné, aby k environmentálním hlediskům konstrukcí i energetické optimalizaci bylo přihlíženo již v počátcích návrhu, aby mohl být optimalizován rozsah objektu, rozpony, velikost a umístění oken, atd.

Hlavním výsledkem celé práce je zjištění, že z hlediska dopadu na životní prostředí, je žádoucí mít obálku budovy na vysoké tepelněizolační úrovni a vhodně zvolit zdroj tepla, nejlépe s využitím obnovitelných zdrojů. V této práci se konkrétně jedná o to, aby součinitel prostupu tepla konstrukcí na systémové hranici splňoval dolní mez intervalu, který je v normě ČSN 73 0540-2 "Doporučené hodnoty pro pasivní budovy". Svázané dopady takové varianty vychází nejvyšší, ale při započítání provozní fáze, která je v takovémto případě naopak velmi malá, v řádu 10 a více let se jedná o nejlepší variantu. Jedinou výjimkou v tomto porovnání je kombinace nejhorších konstrukcí z hlediska životního prostředí s ekologicky šetrným zdroje tepla. V takovémto kombinaci je vhodné maximálně zateplovat až při době provozu 87let a více. Při očekávané životnosti objektu 50 let vyšla vhodněji 2. nejlepší uvažovaná tepelněizolační úroveň, která také obsahuje hodnoty doporučené pro pasivní budovy, ale horní mez intervalu uvedeného v normě.

Motivací diplomové práce je pomoci environmentálně smýšlejícímu investorovi bytového domu s výběrem vhodných materiálových skladeb, mírou zateplení obálky domu a volbou energonositele pro vytápění z hlediska minimalizace dopadů na životní prostředí. Většina dnešních investorů však dává přednost ekonomické návratnosti projektu. Ekologický a ekonomický aspekt se snaží propojit Ministerstvo životního prostředí dotačním programem Nová zelená úsporám [9]. Dvě oblasti podpor tohoto programu úzce souvisí s touto prací a finanční příspěvek by mohl nalákat i investory, jež sledují především ekonomickou návratnost projektu. Dotační program nabízí podporu v několika oblastech. Jedním z příkladů je výstavba bytového domu mimo Prahu, který splní požadavky vyhlášky č. 78/2013 Sb.[24] na budovu s téměř nulovou spotřebou energie, lze získat podporu ve výši až 1 300Kč/m² energeticky vztažené plochy. Pokud při výstavbě takového objektu budou použity materiály s vydaným environmentálním prohlášením typu III, lze uplatnit navýšení ve formě 5 %. Na modelovém objektu by se tedy jednalo o částku 1,95 milionu Kč. Toto je jeden z důvodů, proč v současné době vzrůstá zájem o hodnocení vlivů stavebních materiálů na životní prostředí.

Touto prací jsem ověřila vhodnost současného trendu stavebnictví z pohledu dopadu na životní prostředí. Pro současné stavebnictví je typická vysoká tepelněizolační úroveň a úspora provozních energií.

8. Zdroje

- [1] ZIEGLER, Filip, Petr FROLÍK a Petr FROLÍK ml. *Výkresová dokumentace ke stavebnímu povolení: Obytný soubor Štěrboholy, Praha 15*. Architektonický atelier Héta, 2005. ČSN 73 0810: Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2016.
- [2] KOČÍ, Vladimír. *LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví*. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.
- [3] RYKLOVÁ, Pavla. *Vliv výpočetního modelu nevytápěného schodišťového prostoru na potřebu tepla na vytápění*. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda.
- [4] MACH, Martin. Švec: Obnovitelné zdroje lze využít jak pro získání energie, tak ve stavebnictví. In: *Ekolist.cz: zelená domácnost* [online]. 1.5.2008 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/zpravy-zd/svec-obnovitelne-zdroje-lze-vyuzit-jak-pro-ziskani-energie-tak-ve-stavebnictvi>
- [5] BRŮHOVÁ, Heda. *Environmentálně-energetická optimalizace obálky budovy bytového domu: materiály na bázi dřeva*. Praha, 2018. Diplomová práce. Fakulta stavební, ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Kateřina Sojková, Ph.D.
- [6] *Centrum pasivního domu* [online]. [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/>
- [7] Tab. 24 Dokončené byty podle svislé nosné konstrukce. In: *České stavebnictví v číslech* [online]. 2015, 2015 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/44579485/2000361624.xlsx/fe28a2b3-bfe9-4adb-8a7a-5d4407522289?version=1.0>
- [8] KOČÍ, Vladimír. Na LCA založené srovnání environmentálních dopadů obnovitelných zdrojů energie. In: *Restep* [online]. Praha [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <http://www.restep.cz/upload/c60540763e3846bf0746c9991e5a996f/lca-studie.pdf>
- [9] *Nová zelená úsporám* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/bytove-domy/3-vyzva-pro-bytove-domy/>

ENVIRONMENTÁLNÍ DATA

- [10] *Ecoinvent: The world's most consistent & transparent life cycle inventory database* [online]. [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <http://www.ecoinvent.org/>
- [11] *Envimat: .. stavební výrobky a životní prostředí* [online]. [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/>
- [12] EPD Environmentální prohlášení o produktu (Environmental product declaration).pdf.

- In: *Heluz: Ke stažení* [online]. 7.9.2015 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: http://www.heluz.cz/files/EPD-Environmentalni-prohlaseni-o-produktu-Environmental-product-declaration_
- [13] VACEK, Petr. EPD Isover EPS 100. In: *Isover produkty* [online]. 2017 [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: http://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/epd-eps_100f.pdf
- [14] VACEK, Petr. EPD Isover GreyWall. In: *Isover produkty* [online]. 2017 [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/epd-eps-greywall.pdf>
- [15] *Příloha metodiky SBToolCZ*, Národní platforma SBToolCZ, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2015.

LEGISLATIVA

- [16] *ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov - Měrná ztráta prostupem tepla - Výpočtová metoda*. Praha : Český normalizační institut, 11/2000.
- [17] *ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha : Český normalizační institut, 2009.
- [18] *ČSN EN ISO 14040 Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Zásady a osnova*. Praha : Český normalizační institut, 2006.
- [19] *ČSN EN ISO 14044 Environmentální management - Posuzování životního cyklu - Požadavky a směrnice*. Praha : Český normalizační institut, 2006.
- [20] *ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov: část 2: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [21] *ČSN 73 0810: Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [22] *TNI 73 0331: Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [23] *ČSN EN 15316-2-1 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 2-3: Sdílení tepla pro vytápění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016
- [24] *Vyhláška 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov*. Ministerstvo průmyslu a obchodu. 2013. [vid. 2017-12-21]
Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>
- [25] *Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů*. In: *ASPI* [právní informační systém]. Praha: Wolters Kluwer ČR [vid. 2017-12-21].
Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-406/>

VÝROBCI

- [26] *Wienerberger* [online]. 2018 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/>
- [27] *Heluz* [online]. 2018 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <http://www.heluz.cz/>
- [28] *Isover* [online]. 2018 [cit. 2018-01-02]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/>
- [29] Technický list Isover EPS 100. In: *Isover produkty* [online]. 2017 [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: http://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/eps_greywall_tl_cz.pdf
- [30] Technický list Isover EPS GreyWall. In: *Isover produkty* [online]. 2017 [cit. 2017-12-21]. Dostupné z: http://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/eps_greywall_tl_cz.pdf
- [31] Technický list: Porotherm 24 Profi. In: *Wienerberger* [online]. [cit. 2018-01-04]. Dostupné z: <https://wienerberger.cz/ke-stazeni/20160708124920/technick%C3%BD-list-porotherm-24-profi-ppn14.pdf>

OBRÁZKY

- [32] Teplota a koncentrace CO₂ v atmosféře. In: *Tzbinfo: Emise CO₂ v souvislostech* [online]. 2009 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.tzbinfo.cz/docu/clanky/0061/006123o2.gif>
- [33] FRKOVÁ, Jana. Emise skleníkových plynů EU 27 z roku 2007. In: *Strategie EU a fondy na podporu obnovitelných zdrojů energie* [online]. 9/2011 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2607683/>
- [34] Rozložení spotřeby energie v modelové domácnosti [kWh/rok, %]: Spotřeba energie v domácnostech. In: *Vítejte na Zemi: multimediální ročenka ŽP* [online]. 2013 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.vitejetnazemi.cz/cenia/sites/files/grafy/455.xls>
- [35] Celková spotřeba energie. In: *Pasivní stavby s.r.o.* [online]. [cit. 2018-01-05]. Dostupné z: <http://www.pasivni-stavby.com/images/graf.gif>
- [36] SBToolCZ pro bytové domy. In: *SBToolCZ: Národní nástroj pro certifikaci kvality budov* [online]. 2013 [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: http://www.sbtool.cz/img/metodiky/SBToolCZ_BD_2013.pdf
- [37] LUPÍŠEK, Antonín a Julie HODKOVÁ. *Databáze environmentálních vlastností výrobků pro hodnocení komplexní kvality budov* [online]. In: . 21.6.2012 [cit. 2018-01-01]. Dostupné z: http://www.sbtool.cz/files/seminar_06_2012_pdf/lupisek.pdf
- [38] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.5507734&y=50.0742404&z=18&q=laudonova>
- [39] Čtyři výškové kategorie a jejich základní požadavky na zateplení ETICS. In: *Tzbinfo: Požární hledisko kontaktních zateplovacích systémů dle ČSN 73 0810:2016* [online]. [cit. 2018-01-07]. Dostupné z: <http://stavba.tzbinfo.cz/docu/clanky/0145/014515o2.png>

POUŽITÝ SOFTWARE

- [40] MS Office - Word, Excel (verze 2007) od společnosti Microsoft
- [41] DEKSOFT - Energetika (verze 4.3.1) Software pro stavební fyziku firmy DEK a.s.
- [42] Teplo (studentská verze 2014) od Svoboda software
- [43] AutoCAD 2016 (studentská verze) do společnosti Autodesk

9. Přílohy

Seznam příloh

- Příloha č. 1 - Půdorysy - zadaná dokumentace [1]
- Příloha č. 2 - Řezy - zadaná dokumentace [1]
- Příloha č. 3 - Ověření únosnosti zdiva
- Příloha č. 4 - Posouzení výsledné skladby z hlediska tepla a vodní páry: A1 - 3 Střecha (protokol programu Teplo) [42]
- Příloha č. 5 - Posouzení výsledné skladby z hlediska tepla a vodní páry: A2 - 1 Terasa (protokol programu Teplo) [42]
- Příloha č. 6 - Posouzení výsledné skladby z hlediska tepla a vodní páry: B7 Obvodová stěna (protokol programu Teplo) [42]
- Příloha č. 7 - Posouzení výsledné skladby z hlediska tepla a vodní páry: C4 Podlaha (protokol programu Teplo) [42]
- Příloha č. 8 - Výsledná potřeba tepla na vytápění (protokol programu DEKSOFT Energetika) [41]
- Příloha č. 9 - Půdorys 1.NP + detail ostění, M 1:100 (1:20)
- Příloha č. 10 - Řez, M 1:100
- Příloha č. 11 - Komplexní řez, M 1:20

Celá práce včetně příloh je nahraná na přiloženém CD.