



České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební
Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví

*Environmentální dopad a ekonomie výstavby svislých
konstrukcí rodinného domu*

*Environmental impact and economics of vertical
structures in house*

Diplomová práce

Zadávací katedra: Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví (K126)

Studijní program: Stavební inženýrství (N3507)

Studijní obor: Stavební management

Vedoucí práce: Ing. Petr Kalčev, Ph.D

Ondřej Zdobinský

Praha 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zdobinský** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **424608**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavební management**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Environmentální dopad a ekonomie výstavby svislých konstrukcí rodinného domu

Název diplomové práce anglicky:

Environmental impact and economics of vertical structures in house.

Pokyny pro vypracování:

- teoretická část se bude věnovat svislým konstrukcím u rodinných domů (aktuálně používané technologie) a dopadu na investiční náklady
- praktická část bude vycházet z teoretické části a aplikuje poznatky na konkrétní projekt rodinného domu. Bude navrženo minimálně 6 variant s vyčíslením dopadu jak na investiční náklady tak na životní prostředí.

Seznam doporučené literatury:

Kočí, Vladimír. 2012. 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. 978-80-260-3504-6.
Vonka, Martin. 2011. Metodika SBToolCZ: manuál hodnocení bytových staveb ve fázi návrhu. Praha: CIDEAS Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí, 2011. 978-80-01-04664-7.
Tománková, Jaroslava a Čápková, Dana. 2013. Management staveb. Praha : FinEco, 2013. 978-80-86590-12-7.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Petr Kalčev, Ph.D., katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSv

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

Datum zadání diplomové práce: **24.09.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **03.01.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Petr Kalčev, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Kalčevovi Ph.D. za trpělivost a cenné rady. Dále pak děkuji Ing. Julii Železné, Ph.D. za objasnění metodiky českého interaktivního katalogu stavebních materiálů Envimat, Ing. Antonínu Lupíškovi, Ph.D. za cenné zdroje a rady o normalizaci environmentálních kritérií, Ing. Martinu Pospíšilovi za plné verze softwaru Energie a Teplo, Ing. arch. Ing. Martinu Balíkovi a Ing. arch. Vašku Pšeničkovi za cenné rady a za možnost spolupráce na referenčním objektu.

Především však děkuji své rodině a přátelům za jejich neobyčejnou podporu po celou dobu studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V dne

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vztahem mezi environmentálním dopadem a ekonomikou výstavby několika běžných variant svislých obvodových konstrukcí rodinných domů. Na základě environmentálních prohlášení o produktech je v práci podrobně posouzen dopad na životní prostředí 6 variant svislých obvodových konstrukcí rodinných domů. Pro vyhodnocení investičních nákladů je pro zvolené varianty konstrukcí zpracován podrobný rozpočet ve stavebním softwaru KROS 4. Práce zohledňuje kromě jednorázových nákladů a jednorázového environmentálního dopadu také perspektivu nákladů a ekologické zátěže v horizontu 20 let.

Klíčová slova: investiční náklady, EPD, svislé obvodové konstrukce, rodinné domy

Abstract

The diploma thesis deals with the relationship between the environmental impact and the economical impact of several common variants of vertical external structures of family houses. Based on Environmental Product Declarations, the work assesses in detail the impact on the environment of 6 common variants of vertical external structures of family houses. To evaluate the investment costs of selected variants of structure, there is prepared a detailed budget in the construction software KROS 4. In addition to one-time costs and one-time environmental impact, the work also takes into account the perspective of costs and environmental impact in the horizon of 20 years.

Key words: investment costs, EPD, vertical external structures, family houses

Seznam použitých zkratk

AP	Potenciál okyselování prostředí
BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
EGD	The European Green Deal
EPD	Environmental Product Declaration - Environmentální prohlášení produktu
EPS	Pěnový polystyren
ETICS	External thermal insulation composite system
EU ETS	Evropský systém obchodování s emisními povolenkami
GWP	Potenciál globálního oteplování
JKSO	Jednotná klasifikace stavebních objektů
LCA	Life Cycle Assessment
MJ	Měrná jednotka
MW	Minerální vata
NPEZ	Národní program environmentálního značení
NZEB	Nearly zero-energy building
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PD	Projektová dokumentace
PEI	Spotřeba primární energie
PEIn	Spotřeba primární energie – neobnovitelné
PEIr	Spotřeba primární energie – obnovitelné
PENB	Průkaz energenické náročnosti budovy
POCP	Potenciál tvorby přízemního ozónu
PoZE	Podporované zdroje energie
SBTool	Sustainable Building Tool
STZ	Souhrnná technická zpráva
VRN	Vedlejší rozpočtové náklady
VV	Výkaz výměr
ZPF	Zemědělský půdní fond
ZRN	Základní rozpočtové náklady

Obsah

1.	Úvod	10
1.1.	Globální oteplování a skepse.....	11
1.2.	Opatření EU a environmentální závazky ČR.....	12
1.2.1.	The European Green Deal.....	12
1.2.2.	Emisní obchodování.....	12
1.2.3.	Dotační programy	13
2.	Environmentální dopady	14
2.1.	Nízkoenergetická výstavba	14
2.2.	Průkaz energetické náročnosti	15
2.3.	Environmentální značení produktu	15
2.3.1.	Ekoznačení (typ I).....	15
2.3.2.	Vlastní environmentální značení (typ II)	16
2.3.3.	Environmentální prohlášení o produktu (EPD) (typ III).....	16
2.4.	Environmentální kritéria.....	18
2.4.1.	Spotřeba primární energie (PEI)	18
2.4.2.	Potenciál globálního oteplování (GWP)	20
2.4.3.	Potenciál acidifikace půdy a vody (AP)	20
2.4.4.	Potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP)	20
2.4.5.	Potenciál ničení ozonové vrstvy (ODP)	21
2.4.6.	Potenciál eutrofizace prostředí (EP)	21
2.5.	Teorie environmentálního hodnocení	21
2.5.1.	Environmentální profil konstrukce.....	21
2.5.2.	Zahraniční modely porovnání	22
2.5.3.	SBToolCZ	22
2.5.4.	Metodika environmentálního hodnocení	24
2.6.	Environmentální hodnocení	32
2.6.1.	Metodika výpočtu environmentálních dopadů výstavby (VSv, i) (VSV).....	32
2.6.2.	Metodika výpočtu environmentálních dopadů provozu (VSP, i) (VSP).....	33
2.6.3.	Metodika výpočtu kumulativních environmentálních dopadů konstrukce za 20 let (VS20)	35
3.	Ekonomie výstavby.....	36
3.1.	Legislativní rámec.....	36
3.2.	Náklady životního cyklu	37
3.2.1.	Pořizovací náklady	38
3.2.2.	Náklady na provoz	43

3.3.	Ekonomické hodnocení	46
3.3.1.	Metodika výpočtu nákladů výstavby (NV)	46
3.3.2.	Metodika výp. kumulativních nákladů za 20 let (N20).....	46
4.	Poměr mezi environmentálními dopady a ekonomikí výstavby (X).....	47
5.	Případová studie.....	48
5.1.	Popis objektu.....	48
5.1.1.	Umístění a tvar	48
5.1.2.	Dispoziční a provozní řešení.....	49
5.1.3.	Konstrukční a materiálové řešení	50
5.1.4.	Technická a technologická zařízení	50
5.2.	Výkresová dokumentace	51
5.3.	Environmentální posouzení objektu.....	51
5.4.	Energetické posouzení objektu	51
5.5.	Rozpočet.....	51
5.6.	Výkaz výměr	52
6.	Skladby konstrukcí.....	55
6.1.	Typy obvodových konstrukcí dle tepelné setrvačnosti	56
6.2.	ETICS.....	56
6.2.1.	Varianta K1 (Původní varianta; Ytong, Rockwool).....	57
6.2.2.	Varianta K2 (Ytong, Isover EPS).....	60
6.2.3.	Varianta K3 (Ytong Théta)	62
6.2.4.	Varianta K4 (Porotherm, Rockwool).....	64
6.2.5.	Varianta K5 (Porotherm, Isover EPS).....	66
6.2.6.	Varianta K6 (Porotherm T Profi).....	68
7.	Výsledky	70
7.1.	Environmentální hodnocení konstrukcí.....	70
7.1.1.	Environmentální profily konstrukcí	70
7.1.2.	Environmentální hodnocení výstavby (VSV)	71
7.1.3.	Environmentální hodnocení provozu (VSP)	72
7.1.4.	Kumulativní environmentální hodnocení za 20 let provozu (VS20)	73
7.2.	Ekonomické hodnocení konstrukcí	74
7.2.1.	Hodnocení nákladů výstavby (NV)	74
7.2.2.	Hodnocení kumulativních nákladů za 20 let (N20)	75
7.3.	Hodnocení poměru mezi environmentálními dopady a ekonomikí výstavby (X)	76
8.	Shrnutí	78
9.	Seznam tabulek	79

10.	Seznam grafů.....	80
11.	Seznam obrázků	81
12.	Seznam relevantních programů	82
13.	Technické listy a bibliografie k environmentálním profilům konstrukcí	83
14.	Bibliografie	87

1. Úvod

Technologický pokrok lidstva je, zdá se, exponenciální funkce. Akceleruje téměř s druhou mocninou času, jak v roce 1965 postuloval spoluzakladatel firmy Intel, Gordon Moore. Jeho pozorování vstoupilo do dějin jako dnes již legendární Moorův zákon, a přestože se primárně týká počtu transistorů, které mohou být umístěny na integrovaný obvod, platí pravděpodobně obdobně ve většině oblastí lidské činnosti. Řečeno jednoduše za posledních 50 let učinilo lidstvo takový vědecký pokrok jako za předchozích 5 000 let dohromady. Taková představa může být konejšivá i děsivá zároveň.

Se stále se zrychlujícím tempem pokroku stoupá také potřeba po zdrojích surovin. Spotřebu surovin při provozu stavby dnes posuzujeme zcela běžně. Průkaz energetické náročnosti budov (PENB) musí dle novely zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií požadovat stavební úřad u všech nových staveb a větších rekonstrukcí. Od 1. ledna 2013 je navíc nutné mít PENB také při prodeji nebo pronájmu budovy.

Naproti tomu spotřeba zdrojů a ekologický dopad při výstavbě samotné je stále relativně opomíjenou kapitolou, přestože s obecně rostoucím tlakem na snižování dopadu lidských činností na životní prostředí pochopitelně roste poptávka po stavebních materiálech, které tuto myšlenku prezentují i směrem k zákazníkovi. Environmentální značení produktu pomocí ekoznaček a environmentálního prohlášení produktu je však roztržštěné a stále představuje spíš jen nástroj marketingu. Environmentální vlastnosti materiálu je možné prezentovat přesně podle toho, co chce zákazník slyšet.

Nabídka stavebních materiálů se rozrostla do šířky v historii lidstva zcela nevídané, nicméně produkty, které poskytují lepší tepelně technické vlastnosti a lákají své zákazníky z pohledu ekologie provozu budovy, nemusí být nezbytně ty, jejichž výroba je k přírodě šetrná stejně tak.

Přestože přímo stavebnictví se na spotřebě energie v ČR podílí zcela zanedbatelně, průmysl, který zahrnuje i výrobu stavebních materiálů, je stále procentuálně největším spotřebitelem elektřiny v republice, přestože podíl průmyslu na celkové spotřebě klesl za posledních 30 let téměř o 20 %. [1] [2] ¹

¹ Pro přehlednost jsou citace v mé diplomové práci rozděleny do dvou kategorií:

1.) citace v textu a nadpisech označené číslem v hranatých závorkách, např.: [1], odkazují ke kapitole 14. Bibliografie na konci diplomové práce.

2.) citace v tabulkách, a výjimečně také v textu a nadpisech, označené číslem s horním indexem v kulatých závorkách, např. ⁽¹⁾, odkazují na kapitolu 13. Technické listy a bibliografie k environmentálním profilům konstrukcí, uvedený tamtéž

V této oblasti lidské činnosti má tedy zřejmě smysl stále hledat další možnosti úspory. Nemá smysl snažit se stavět budovy, jejichž dopad na životní prostředí během životnosti je vykoupen ekologicky náročnou výrobou použitých stavebních materiálů.

Základním cílem mé diplomové práce je prezentovat graficky názorné posouzení vztahu mezi náklady výstavby běžných variant svislých konstrukcí rodinných domů, ekologickými náklady na výrobu takových stavebních materiálů a environmentálními dopady, které plynou z jejich použití v průběhu provozu stavby. Cílem práce není nalézt a arbitrárně stanovit nejlepší řešení pro svislé konstrukce rodinných domů, nýbrž přinést pohled na několik běžných variant (*Kapitola 6.3. Skladby konstrukcí*) a umožnit stavebníkům rozhodnout na základě jasných kritérií.

Pro zpracování své diplomové práce jsem si vybral realizovaný projekt jednopodlažního rodinného domu v Bukové Lhotě, okres Benešov, na jehož projektu jsem se podílel s kolegy. Bungalov byl projektován pro čtyřčlennou rodinu, dva dospělí, dvě děti, a postaven podle původní dokumentace, jejíž relevantní část tvoří přílohu této práce (*15.9. Výkresová dokumentace*).

1.1. Globální oteplování a skepse

Termín „klimatická změna“, který v obecném diskursu nahradil dříve hojně užívaný termín „globální oteplování“, je zajisté nejen vědeckým, ale také politickým a společenským tématem. Úměrně tomu se k tématu vyjadřují nejen odborníci – klimatologové – ale také politici, novináři, ekonomové i laická veřejnost. V názorovém spektru nalezneme zcela protichůdné proudy. Pomyslná navigace v rozbouřených vodách protichůdných tvrzení se stala bez podrobné znalosti rozsáhlého množství odborné literatury naprosto nemožnou. Nemluvě o literatuře, která se odbornou může zdát na prvním pohled, ale obsahuje řadu úmyslných či neúmyslných chyb autorů. Přestože v širším mainstreamu nejspíš dnes panuje obrysová shoda na tématu klimatické změny, stále nepanuje v otázce jejího řešení, potažmo neřešení, a vlivu člověka obecně. I z toho důvodu jsme byli svědky fatálně mylných kroků a nařízení motivovaných více myšlenkou nežli tvrdými daty, což mělo za následek další rozklížení názorů. Z takových případů uveďme jeden za všechny – škodlivost pro životní prostředí, kterou představují tzv. biopaliva oproti konvenčním palivům, je ve většině případů větší o desítky procent. Tato skutečnost byla týmem vedeným laureátem Nobelovy ceny P. J. Crutzenem odhalena po mnoha letech používání biopaliv. I přesto se biopaliva používala mnoho let, a v některých zemích vč. ČR nadále používají, jako údajný nástroj boje se změnou klimatu. [3]

Součástí této práce nicméně není hodnocení politického přístupu ke změnám klimatu nebo posouzení studií, které se změnou klimatu zabývají. Autor si neklade za cíl vyhodnocovat důsledky lidské činnosti a jejího dopadu na životní prostředí. Tato práce nemá sloužit jako návod, nýbrž jako nástroj k posouzení environmentálního dopadu a vztahu environmentálního dopadu k ekonomii výstavby úzké skupiny konkrétních konstrukčních řešení v omezeném časovém horizontu. Do posouzení jednotlivých konstrukcí nejsou zpracována žádná kritéria, která by nebyla v této práci výslovně uvedena. Zejména vliv dopravy, použité stavební technologie nebo recyklace.

Tam kde je to nezbytně nutné, mmj. při stanovení vah vícekriteriálního posouzení stavebních materiálů, čerpám z české metodiky SBToolCZ, která vychází z mezinárodní metodiky SBTool vyvíjené organizací Sustainable Built Environment (iiSBE). Při sběru dat pro posouzení environmentálního dopadu svislých konstrukcí vycházím z Environmentálních prohlášení produktu (EPD), která jednotlivé společnosti volně poskytly svým zákazníkům na webových stránkách.

1.2. Opatření EU a environmentální závazky ČR

Politika České republiky v oblasti environmentálních cílů vychází z velké části z politiky Evropské unie, jíž jsme součástí. Jedny z prvních cílů, které si EU v boji se změnami klimatu vytyčila, byly již dosaženy. Tzv. Klimaticko-energetický balíček do roku 2020, schválený Evropským parlamentem a Evropskou radou v roce 2008, stanovoval za cíl snížení emisí skleníkových plynů o 20 % oproti roku 1990, snížení konečné spotřeby energie o 20 % oproti roku 1990, a dosažení průměrného 20% podílu obnovitelných zdrojů energie. [4]

V říjnu roku 2014 byl dále přijat závěr Evropské rady v oblasti klimatu a energetiky do roku 2030. EU si v něm stanovuje za cíl snížení emisí skleníkových plynů o 40 % oproti roku 1990, podíl obnovitelných zdrojů energie ve výši 32 %, a zvýšení energetické účinnosti, ergo snížení konečné spotřeby energie, o 32,5 %. [5]

1.2.1. The European Green Deal

The European Green Deal (EGD), tzv. Zelená dohoda pro Evropu, je soubor kontroverzních opatření představených 11. prosince 2019, která mají za cíl přivést EU do roku 2050 ke klimatické neutralitě. 15. 1. 2020 dohodu podpořil také Evropský parlament.

V EGD je věnována kapitola také stavebnímu průmyslu, který je kritizován zejména za nízké procento renovací budov. Na budovy zároveň připadá až 40 % spotřebované energie. Lze předpokládat, že opatření plynoucí z EGD povedou k dalšímu zpřísňování environmentálních pravidel pro výstavbu budov a téma tzv. udržitelné výstavby bude pro veřejnost stále více propagováno. [6]

1.2.2. Emisní obchodování

Emisní povolenky jsou způsob, kterým se státy dodatku 1 Kjótského protokolu snaží snížit emise skleníkových plynů. Systém emisních povolenek je v ČR upraven zákonem č. 383/2012 Sb., Zákon o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů. V praxi funguje tak, že státy EU (budeme-li hovořit pouze o EU ETS) mají k dispozici určitý počet emisních povolenek vypočítaný tak, aby odpovídal cílům snižování emisí pro dané období. Znečišťovatelé platí poplatek za znečištění formou nákupu emisních povolenek. Limit emisních povolenek nesmí být překročen jak na firemní, tak národní úrovni. [7]

Emisní povolenky představují systém cíleného zdanění. Znečišťovatelé zdraží své produkty, což zaplatí zákazníci. Emisní povolenky jsou však zdrojem financí pro dotace

programů jako Zelená úsporám a Nová zelená úsporám. Zároveň cenově zvýhodňují znečišťovatele, kteří úpravou technologie přijdou s ekologičtějšími výrobními procesy, nemusí tudíž nakoupit v takové míře emisní povolenky a mohou tedy zlevnit svůj produkt pro zákazníky.

1.2.3. Dotační programy

U výstavby rodinného domu mají stavebníci při dosažení určitého ekologického standardu šanci získat státní příspěvek. První program, tzv. Zelená úsporám, byl spuštěn 22. 4. 2009. Příjem žádostí byl zastaven již 29. 10. 2010 a celkově bylo vyplaceno 18 miliard korun. [7]

Program byl obnoven v roce 2013 jako tzv. Nová zelená úsporám a zahrnuje dotace na zateplení, výstavbu a zdroje energie rodinných a bytových domů. Výše dotace se liší podle dosažených parametrů budovy. Konkrétně dle měrné potřeby tepla na vytápění (kWh/m²/rok), měrné neobnovitelné primární energie (podíl využití obnovitelných zdrojů energie na provoz budovy), součinitele prostupu tepla obálkou, průvzdušnosti a požadavku na instalaci systému nuceného vytápění. [8]

Program je financován z výnosů z prodeje emisních povolenek v rámci EU ETS (Evropský systém obchodování s emisními povolenkami) a zatím byly přijaty žádosti o podporu ve výši 12,7 miliardy korun. [9]

Vliv dotačního programu na cenu rodinného domu není zanedbatelný a v případě plnění stanovených kritérií může zásadně zasáhnout do rozhodování o výběru použitých materiálů. Jednorázová výše dotace činí podle dosažených energetických parametrů budovy 150, 300 nebo 450 tisíc korun.

(1) Tabulka: Vybrané vlivy obnovitelných zdrojů na životní prostředí [8, formátováno]

Sledovaný parametr	Označení [jednotky]	Podoblast podpory B.0	Podoblast podpory B.1	Podoblast podpory B.2
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	EA [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	–	≤ 20	≤ 15
Měrná neobnovitelná primární energie	EpN,A [kWh.m ⁻² .rok ⁻¹]	≤ 120	≤ 90	≤ 60
Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici	U [W.m ⁻² .K ⁻¹]	≤ Urec	≤ Upas	≤ Upas
Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy	Uem [W.m ⁻² .K ⁻¹]	≤ 0,7*Uem,N	≤ 0,22	≤ 0,22
Průvzdušnost obálky budovy po dokončení stavby	n50 [1.h ⁻¹]	≤ 1,0	≤ 0,6	≤ 0,6
Nejvyšší denní teplota vzduchu v místnosti v letním období	θai,max [°C]	≤ 27 °C	≤ 27 °C	≤ 27 °C
Povinná instalace systému nuceného větrání se zpětným získáváním tepla	[-]	ano	ano	ano

Vzhledem k tomu, že pro získání podpory je nutné splnit všechny požadované parametry podoblasti podpory (Tab. 1), není v případové studii této práce možné dotaci získat a to především kvůli absenci systému nuceného větrání. Také průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy je ve všech případech větší než požaduje tabulka, byť nepatrně.

2. Environmentální dopady

Svislé konstrukce představují dnes 25–35 % všech tepelných ztrát objektu, tedy přibližně 1/3 produkce emisí potřebných k udržení vnitřních podmínek stavby. Podle toho, zda je objekt podsklepen či nikoliv a zda má či nemá instalovaný systém nuceného větrání se zpětným získáváním tepla, to může být i více. [10]

Třicet procent z nákladů na zachování přijatelného vnitřního prostředí není pro uživatele málo. V případě nákladů na provoz dochází tedy k průniku ekonomických zájmů uživatele s ekologickými zájmy. Budova s vysokým průměrným součinitelem prostupu tepla spotřebuje na svůj provoz v dlouhodobém horizontu náklady uspořené při její výstavbě.

Tento tržní mechanismus funguje samozřejmě pouze omezeně a nevypovídá nic o tom, jaký environmentální dopad má výstavba. Jednak budova, jejíž provoz je sice neekonomický a neekologický, ale jejíž výstavba je levná, v kombinaci s levným zdrojem energie pochopitelně v ekonomickém pohledu skončí nejlépe. A dále neexistuje tržní mechanismus, který by motivoval jedince k použití dražších, ale environmentálně lepších materiálů, pokud jsou jejich vlastnosti na cenu provozu stavby konstantní.

2.1. Nízkoenergetická výstavba

Od 1. 1. 2020 jsou dle zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií povolovány pouze stavby, které splňují standard budov s téměř nulovou spotřebou energie (NZEB). Nejedná se o pasivní budovy, přestože splnění požadavků pasivních budov a NZEB se z velké části překrývá.

Dle vyhlášky 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov jsou pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie stanoveny dva požadavky. Hodnota redukčního činitele požadované základní hodnoty průměrného prostupu tepla $f_R = 0,7$. A snížení neobnovitelné primární energie referenční budovy o hodnotou $\Delta_{ep,R} = 25\%$ (pro rodinný dům). Platnost vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov skončila 1. 9. 2020, a v platnost vešla vyhláška č. 264/2020 Sb. o energetické náročnosti budov s účinností ke stejnému datu. Vyhláška č. 264/2020 Sb. výrazně nemění hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla, a dotčen byl pouze požadavek procentního snížení hodnoty neobnovitelné primární energie oproti referenční stavbě. [11] [12] [13]

Hodnota f_R vyjadřuje násobek průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy (U) a referenční přírážky na vliv tepelných vazeb. Splněním požadovaných součinitelů prostupu tepla, jak jsou pro konstrukce uvedeny v normě ČSN 73 0540 – 2:2011, sice nelze dosáhnout

požadované základní hodnoty průměrného prostupu 0,7; splněním hodnot, které doposud stejná norma pouze doporučovala, již ale bude požadavek splněn. [13]

Druhá podmínka NZEB vyžaduje, aby spotřeba energie budovy byla pokryta z velké části z obnovitelných zdrojů. Je definována jako procentní snížení hodnoty neobnovitelné primární energie oproti referenční stavbě s parametry obálky budovy, které splňují hodnotu $f_R = 0,7$. Všechny potřebné koeficienty stanoví vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. Snížení je možné docílit zlepšením průměrného součinitele prostupu tepla, ekologičtějším zdrojem energie nebo alternativním zdrojem energie. [13]

2.2. Průkaz energetické náročnosti

Počínaje 1. lednem 2009 je stavebník v případě novostavby povinen doložit splnění požadavků na energetickou náročnost budovy průkazem energetické náročnosti (PENB). PENB je založen na teoretickém výpočtu a slouží jako informace o energetické náročnosti stavby. Průkaz je platný po dobu 10 let a může být zpracován pouze energetickým specialistou, jejichž seznam je veden na internetových stránkách Ministerstva průmyslu a obchodu. [14]

Průkaz kromě hodnocení tepelné obálky budovy zahrnuje také hodnocení použitých technologií technických zařízení budov, tj. vytápění, klimatizace, a ohřevu vody. Dle výsledků výpočtu je budova následně přiřazena do energetické třídy A (mimořádně úsporná) až G (mimořádně nešospodárná). Veškerá nová výstavba musí splňovat energetickou náročnost A až B. [12]

2.3. Environmentální značení produktu

Národní program environmentálního značení (NPEZ) je mezinárodní standard založený na normách ISO, který má za cíl podpořit politiku ochrany životního prostředí, udržitelného rozvoje a environmentální odpovědnosti u laické i odborné veřejnosti. Slouží jako informační nástroj pro zákazníka, který má na základě zveřejněných vlivů produktu na životní prostředí možnost zhodnotit environmentálních dopady svého nákupu. Systém NPEZ je založen na dobrovolnosti. [15]

Environmentální značení je v současné době jediný způsob, jakým se může stavebník dozvědět o ekologických dopadech zvolených stavebních materiálů.

2.3.1. Ekoznačení (typ I)

První typ environmentálního značení, tzv. ekoznačení (ecolabelling), je založen na systému ekoznaček, které jsou popsány v normě ČSN ISO 14024, Environmentální značky a prohlášení – Environmentální značení typu I – Zásady a postupy. Tuzemské produkty, které splní kritéria, mohou být označeny příslušnou ekoznačkou s logem „e“ a textem „Ekologicky šetrný výrobek“. To může konečným spotřebitelům pomoci při orientaci v produktové nabídce. Součástí značky je také čtyřmístný kód, podle kterého je možné příslušný výrobek identifikovat. [16]

Ekoznačka, kromě propagace a marketingových výhod, přináší držitelům také snadnější uplatnění výrobku ve státních zakázkách a výběrových řízeních ve smyslu metodiky Ministerstva životního prostředí pro environmentálně odpovědný přístup při zadávání veřejných zakázek a nákupech státní správy a samosprávy. Certifikace ekoznačení vyžaduje ověření třetí stranou. [15] [16]

2.3.2. Vlastní environmentální značení (typ II)

Zásady tohoto značení stanovuje norma ČSN ISO 14021, Environmentální značky a prohlášení – Vlastní environmentální tvrzení (environmentální značení typu II) a jedná se o vlastní způsob značení produktu výrobcem. Může jít o text, prohlášení, značku, logo nebo obrazec, který upozorňuje zákazníka na konkrétní environmentální kvality výrobku nebo použitého obalu. Na rozdíl od typu I a III není podmínkou ověřování typu II nezávislou třetí stranou, není to však neobvyklé. Musí nicméně být zveřejněna metodika, na základě které výrobce konkrétní značku použil. [16]

I vzhledem k volnější definici je vlastní environmentální značení především nástrojem marketingu cíleného na konečného spotřebitele. Může být i nástrojem tzv. „greenwashingu“, který je definován jako snaha organizace působit na zákazníka výrobku environmentálně vstřícným způsobem až do míry klamu. [17]

2.3.3. Environmentální prohlášení o produktu (EPD) (typ III)

Environmentální prohlášení o produktu představuje nejpropracovanější způsob, jakým se velkoobchody, průmysloví spotřebitelé, ale také koncoví spotřebitelé mohou dozvědět dopady výrobku na životní prostředí. Metodiku značení EPD stanovuje norma ČSN ISO 14025, Environmentální značky a prohlášení – Environmentální prohlášení typu III – Zásady a postupy.

Environmentální prohlášení o produktu nevypovídá, na rozdíl od značení typu I a II, o tom, zda je posuzovaný produkt z hlediska environmentálních dopadů šetrný, nýbrž pouze o rozsahu environmentálních dopadů informuje. Naopak se jedná o velmi přesný soubor dat detailně rozdělených podle řady kategorií, se kterými lze dále pracovat. EPD výrobců stavebních materiálů a hmot tvoří hlavní zdroj informací pro praktickou část této práce zabývající se ekologickými dopady jednotlivých materiálů na životní prostředí. EPD produktu se vzhledem ke komplexitě výpočtu vztahuje na konkrétní výrobek konkrétního výrobce. Stejně výrobky se tedy environmentálním dopadem liší podle toho, kde (sic) byly vyrobeny. To je způsobeno jednak dopravou potřebných surovin a jednak rozdílným energetickým mixem země původu.

Výhoda, kterou představuje množství informací, jenž může zákazník z EPD zjistit, je naopak nevýhodou pro výrobce, kterému se ne vždy vyplatí si nechat takto podrobnou analýzu svých výrobků zpracovat. Environmentální prohlášení produktu mají zřídka vypracované menší podniky a je spíše doménou nadnárodních korporací. I přesto ani velké společnosti nevytváří EPD pro všechny své produkty nebo pro všechny země původu. Z toho důvodu jsem se v praktické části práce musel opakovaně uchýlit k posouzení environmentálních dopadů za použití německých nebo rakouských Umwelt-Produktdeklaration či anglických EPD.

EPD má omezenou platnost – danou datem platnosti – po jejímž uplynutí je nutné zpracovat nové prohlášení na základě nových dat. [18]

Dokumenty EPD informují o dopadech produktu na životní prostředí v průběhu fází životního cyklu formou tzv. analýzy životního cyklu (LCA, Life Cycle Assessment). Ne všechna EPD se zabývají celým životním cyklem.

2.3.3.1. Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment je metodikou posuzování environmentálního dopadu produktu na životní prostředí v průběhu celého životního cyklu. Metodiku posuzování LCA definují normy ČSN EN ISO 14044 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice a ČSN EN ISO 14040 Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova. Životní cyklus je v tomto případě dělen na několik fází. Každá fáze je následně dělena na další podfáze.

- Výrobní fáze
 - A1 dodávka surovin
 - A2 doprava k výrobcí
 - A3 výroba
- Fáze výstavby
 - A4 doprava na staveniště
 - A5 instalace do budovy
- Fáze užívání
 - B1 Užívání
 - B2 Údržba
 - B3 Oprava
 - B4 Výměna
 - B5 Rekonstrukce
 - B6 Provozní spotřeba vody
 - B7 Provozní spotřeba energie
- Fáze konce životního cyklu
 - C1 Demolice
 - C2 Doprava odpadů
 - C3 Zpracování odpadů
 - C4 Odstranění

LCA sloužící k získání EPD je možné zpracovat v libovolném rozsahu, obvykle je tedy pouze pro tzv. „Cradle to Gate“, tedy pouze pro výrobní fázi (A1-A3). Cradle to Gate je také rozsah, který dokumentuje česká obecná databáze materiálů Envimat. [19]

2.3.3.2. Envimat

„Envimat je první český interaktivní katalog stavebních materiálů a konstrukcí, sloužící k posuzování a porovnávání jejich dopadů na životní prostředí.“ [20]

Envimat nabízí dobrý podklad k obecné environmentální analýze konstrukcí. Na rozdíl od zahraničních modelů, jako například baubook.info, však nenabízí katalog materiálů podle konkrétního výrobce. Materiály a prvky uvedené v databázi Envimat jsou obecné, bez uvedení přesného modelu a složení. Zdrojem dat je databáze Ecoinvent. Ve své práci jsem se snažil dopátrat vždy k podkladům, které přesným výrobcům odpovídají a databázi Envimatu jsem použil pouze v nezbytně nutných případech.

2.4. Environmentální kritéria

Environmentální dopad představuje zatížení životního prostředí působením určitého vlivu – pro potřeby této práce působením výroby materiálů, výstavby svislých konstrukcí nebo udržení vnitřního prostředí budov. V případě hodnocení environmentálních dopadů použitých materiálů stavební konstrukce je zapotřebí hodnotit větší množství různých kritérií. Pokud bychom u stavebního materiálu hodnotili např. pouze energii spotřebovanou při jeho výrobě, nepodaří se nám zjistit, zda případný zdánlivě ekologický úbytek spotřebované energie k produkci není draze vykoupen využíváním jiných zdrojů. [21]

Výběr kritérií závisí na dostupnosti a ověřitelnosti dat. Z výše uvedených environmentálních značení produktu představuje pro srovnání materiálů nejlepší volbu environmentální prohlášení o produktu (EPD) (typ III). To hodnotí různá kritéria, obvykle: spotřebu primární energie (PEI), svázané emise CO₂ (GWP), svázané emise SO₂ (AP), potenciál tvorby přízemního ozónu (POCP), potenciál ničení ozonové vrstvy (ODP), a potenciál eutrofizace prostředí (EP).

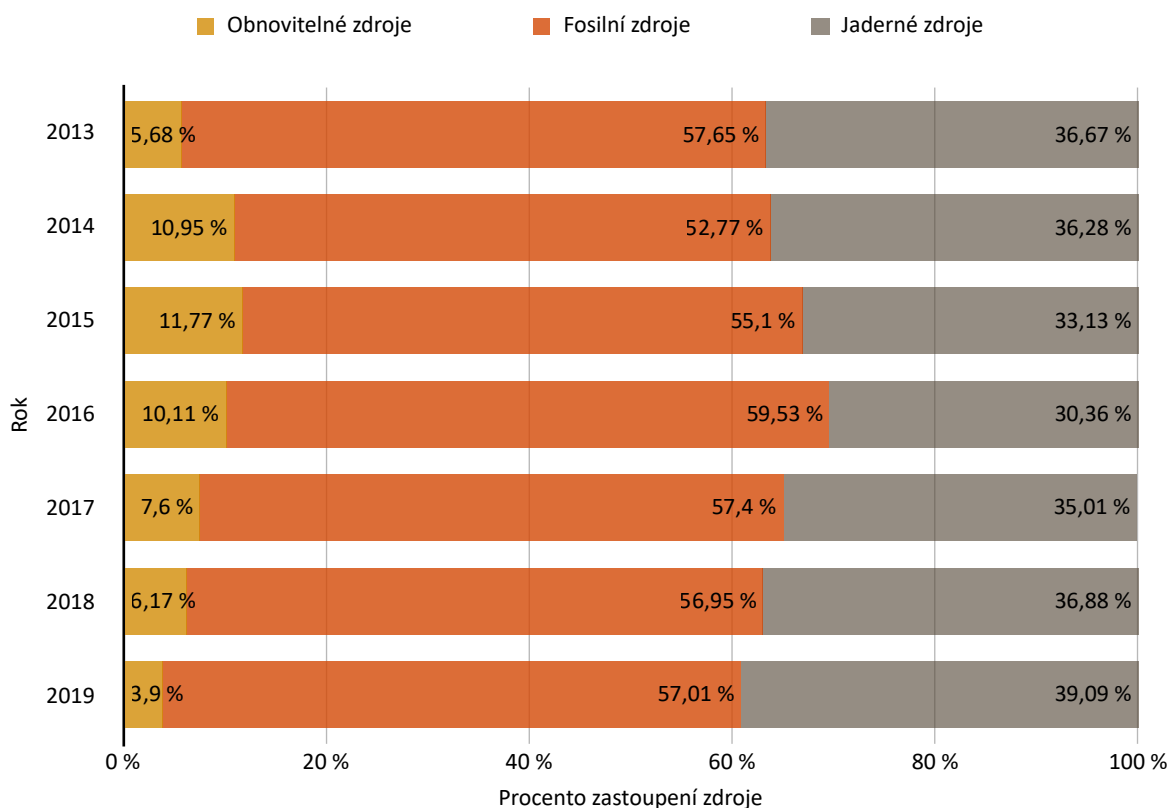
2.4.1. Spotřeba primární energie (PEI)

PEI (primary energy input) neboli spotřeba primární energie, též zabudovaná energie, zohledňuje množství energie potřebné k výrobě stavebního materiálu. Zahrnuje energii potřebnou k těžbě surovin, dopravě, výrobě stavebního materiálu a obalu. Spotřeba primární energie je udávána v MJ/kg, resp. MJ/m² konstrukce. [22]

V EPD většiny produktů je možné nalézt informace o spotřebě primární energie jak celkové, tak také spotřebě primární energie z obnovitelných zdrojů (dále PEI_r) a neobnovitelných zdrojů (dále PEI_n). Poměr mezi spotřebou energie z obnovitelného a neobnovitelného zdroje závisí především na energetickém mixu země původu, v tomto případě ČR (Tab. 2, Graf 1). Stejný výrobek vyráběný v ČR bude mít podstatně vyšší hodnoty spotřeby neobnovitelné energie než výrobek vyráběný např. v Norsku, kde je 98 % energie vyráběno z obnovitelných zdrojů. [23] [24]

(2) Tabulka: Energetický mix ČR [23, formátováno]

Zdroje energie	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Obnovitelné zdroje – Celkem	5,68 %	10,95 %	11,77 %	10,11 %	7,60 %	6,17 %	3,90 %
- Sluneční	1,96 %	2,63 %	2,88 %	2,77 %	2,14 %	2,07 %	1,66 %
- Větrné	0,47 %	0,57 %	0,71 %	0,63 %	0,45 %	0,22 %	0,00 %
- Vodní	1,93 %	2,56 %	2,67 %	1,15 %	1,43 %	0,77 %	0,44 %
- Geotermální	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
- Biomasa	1,33 %	2,19 %	2,34 %	5,57 %	3,58 %	3,11 %	1,81 %
- Ostatní	0,00 %	2,99 %	3,17 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Fosilní zdroje – Celkem	57,65 %	52,77 %	55,10 %	59,53 %	57,40 %	56,95 %	57,01 %
- Hnědé uhlí	40,71 %	41,27 %	42,15 %	43,91 %	43,77 %	44,63 %	46,18 %
- Černé uhlí	6,11 %	5,78 %	6,31 %	6,97 %	5,38 %	4,18 %	2,84 %
- Zemní plyn	8,30 %	5,52 %	6,41 %	8,40 %	5,45 %	5,80 %	7,74 %
- Ropa a ropné produkty	0,01 %	0,06 %	0,05 %	0,05 %	0,06 %	0,04 %	0,15 %
- Druhotné zdroje a ostatní	2,52 %	0,14 %	0,18 %	0,20 %	2,73 %	2,30 %	0,10 %
Jaderné zdroje – Celkem	36,67 %	36,28 %	33,13 %	30,36 %	35,01 %	36,88 %	39,09 %

(1) Graf: Energetický mix ČR

2.4.2. Potenciál globálního oteplování (GWP)

GWP (global warming potential), v češtině též PGO (potenciál globálního oteplování), hodnotí množství ekvivalentů oxidu uhličitého. GWP je možné použít v souvislosti s energií spotřebovanou během celoročního provozu budovy nebo, což je důležité pro potřeby mé práce, v souvislosti s množstvím svázané produkce oxidu uhličitého ve stavebních materiálech. [22]

Jednotkou GWP je kg CO₂ ekv./kg materiálu, respektive kg CO₂ ekv./m² – tedy kilogram CO₂ a ekvivalentních emisí na běžný čtverečný metr konstrukce. Ekvivalentní emise zahrnují kromě oxidu uhličitého také další emisní plyny jako metan (CH₄) nebo oxid dusný (N₂O). Měření a výpočet spotřeby CO₂ je jedno ze spolehlivěji ověřitelných environmentálních kritérií. [22]

2.4.3. Potenciál acidifikace půdy a vody (AP)

AP (Acidification potential) neboli potenciál acidifikace půdy a vody, stručně též potenciál okyselování prostředí, hodnotí množství ekvivalentů oxidu siřičitého. AP též udává jak emise ekvivalentů oxidu siřičitého vzniklé při provozu stavby, tak emise v použitých materiálech.

Jednotkou AP jsou kg SO₂ ekv./kg, případně podobně jako u GWP kg SO₂ ekv./m² – tedy vztahené k běžnému čtverečnímu metru konstrukce. Ekvivalentní emise zahrnují například oxid dusičitý (NO₂), chlorovodík (HCl), sulfan (H₂S) nebo amoniak (NH₃). Před rokem 1989 představoval oxid siřičitý jeden z hlavních problémů kvality ovzduší v ČR. Především v důsledku masivního spalování uhlí s vysokým obsahem síry způsobující při reakci s vodní párou v mracích vznik tzv. kyselých dešťů. [22]

Od roku 1990 do roku 2015 došlo k poklesu emisí SO₂ v ČR z původních téměř 1900 kt/rok na současných 250 kt/rok a to především v důsledku instalace odsiřovacích zařízení. V posledních letech stoupají emise SO₂ z malých zdrojů. [25]

2.4.4. Potenciál tvorby přízemního ozonu (POCP)

POCP (photochemical ozone creation potential) vyjadřuje množství látek, které přispívají k tvorbě tzv. troposférického neboli přízemního ozonu. Jednotkou jsou gramy ekvivalentů ethenu (C₂H₄) na kg resp. g C₂H₄ ekv./m².

Přízemní ozón vzniká za přítomnosti slunečního záření jako důsledek reakce produktů silniční dopravy a spalování fosilních paliv – jmenovitě reakce oxidu dusíku. Imisní limit – tedy nejvyšší povolená úroveň znečišťující látky v m³ přízemního ozónu (O₃) je překročen, pokud je denní osmihodinový klouzavý průměr vyšší než 120 µg/m³. Tento limit byl mezi lety 2016–2018 překročen na 51 % lokalit. [26] Za období 2015–2017 to bylo pouze na 30 % lokalit. [27] 2014–2016 29 %. [28]

K nárůstu koncentrací nicméně přispívají především meteorologické podmínky. Teplé a méně větrné léto s nízkou vlhkostí vzduchu zvyšuje koncentraci troposférického ozónu. [29]

2.4.5. Potenciál ničení ozonové vrstvy (ODP)

ODP (Ozone Depletion Potential) neboli potenciál ničení ozonu vyjadřuje množství látek, které jsou zodpovědné za poškozování ozonové vrstvy v atmosféře planety. Jedná se o ekvivalenty tzv. trichlorfluormethanu, také nazývaného freon-11, CFC-11 nebo R-11. V EPD výrobců je možné najít všechna výše uvedená označení, stejně jako označení chlor-fluorovaný uhlovodík. Jednotkou jsou g CFC-11 ekv. /kg resp. g CFC-11 ekv./m² konstrukce. [22]

Používání látek poškozujících ozonovou vrstvu bylo zakázáno v roce 1987 na základě Montrealského protokolu, který postupně přijala většina států světa vč. České republiky. Bylo tak učiněno po zjištění dramatického úbytku stratosférického ozonu v důsledku používání CFC-11 od šedesátých do osmdesátých let, kdy tyto látky sloužily například jako médium chladících zařízení. Nebezpečí freonů spočívá ve schopnosti opakovaně katalyzovat desetitisíce molekul O₃ v důsledku stále se opakující chemické reakce. Ozón reakcí v atmosféře přirozeně přibývá a v roce 2019 byla agenturami NOAA a NASA hlášena nejmenší ozónová díra od roku 1982. [22] [30]

2.4.6. Potenciál eutrofizace prostředí (EP)

EP (eutrophication potential), česky potenciál eutrofizace prostředí, znamená nasycování prostředí minerálními živinami – zejména dusíkem a fosforem. [22]

Udává se v g aniontu fosforečnanového (g PO₄³⁻/kg, případně g PO₄³⁻/m²). Kromě přirozené eutrofizace prostředí jsou hlavním zdrojem nevyčištěné splašky s obsahem fosfátů z pracích prostředků a oxidy dusíku produkované při hoření za vysokých teplot a tlaků.[22]

2.5. Teorie environmentálního hodnocení

Při posuzování jednotlivých výše uvedených environmentálních kritérií je zapotřebí stanovit míru jejich vlivu na životní prostředí. Chceme-li budovu či konstrukci porovnat s jinou, potřebujeme vědět, kolikrát je pro nás jedno kritérium důležitější než ostatní. V opačném případě bychom stejný význam přiřadili kg SO₂ jako kg CO₂, což by nebylo správně – například produkce určitého množství (gramů) látek ekvivalentních freon-11 může představovat (a také představuje) pro přírodu či lidstvo větší nebezpečí než obohacování vod o dusík nebo fosfor.

Přístupů k váhovému hodnocení environmentálních kritérií lze zvolit více, s větší či menší mírou subjektivity.

2.5.1. Environmentální profil konstrukce

Environmentální profil konstrukce označuje součet ekologické zátěže všech vrstev konstrukce v jednotlivých environmentálních kritériích v běžném metru čtverečním konstrukce. Například pro GWP (global warming potential) je to součet kg svázaných emisí CO₂ ekv. v běžném metru čtverečním hodnocené konstrukce.

2.5.2. Zahraniční modely porovnání

Existují různé zahraniční ekonomické modely, které převádí vyprodukované dopady environmentálních vlivů na společenské náklady. Příkladem může být německý model Methodological Convention 3.0 for the Assessment of Environmental Costs, kde cenové sazby představují průměrné hodnoty pro různé druhy emisí. Výslednou jednotkou jsou pak €/t emisních látek, což umožňuje porovnání konstrukcí a celých staveb mezi sebou. [31]

Dalším příkladem může být belgická studie Annex: Monetisation of the MMG method, aktualizovaná v roce 2017, která umožňuje přepočít environmentálních dopadů na společenské náklady jak pro státy střední Evropy, tak potenciálně další země světa. I v tomto případě jsou základní jednotky emisí násobeny monetizačním koeficientem a výsledkem jsou €/t konkrétních odpadních látek. [32] [33]

V rámci LCA lze pro agregaci hodnot použít také hodnocení pomocí tzv. endpoint indikátorů. Příkladem může být americká metoda TRACI, jejímž výsledkem je jednočíselné posouzení životního cyklu (LCA) stanovené pomocí harmonizačního a váhového koeficientu – podobný přístup používá také česká metodika SBToolCZ. [34]

Ekvivalentem TRACI je dále např. globální přístup ReCiPe2016, vycházející z ReCiPe2008, porovnávající více než 15 různých kritérií na základě vlivu na člověka, ekosystém a vzácné zdroje. Příkladem takového kritéria může být potenciál ničení ozonové vrstvy (ODP), jehož váha je vypočítána mmj. také na základě zkrácení délky života v souvislosti se zvýšeným výskytem rakoviny kůže či šedého zákalu v důsledku expozice UV záření. [35]

2.5.3. SBToolCZ

Česká metodika pro porovnání environmentálních kritérií se nazývá SBToolCZ. Porovnává hodnoty na základě normalizovaného benchmarku a arbitrárně stanovené společenské významnosti (váhy). Tyto váhy, jak jsou uvedeny v metodice SBToolCZ, byly stanoveny panelem expertů, kteří bodovali jednotlivá kritéria na základě intenzity vlivu, prostorového dosahu, doby trvání potenciálního vlivu a národní priority sledování daného vlivu tj. osobního pohledu. [22]

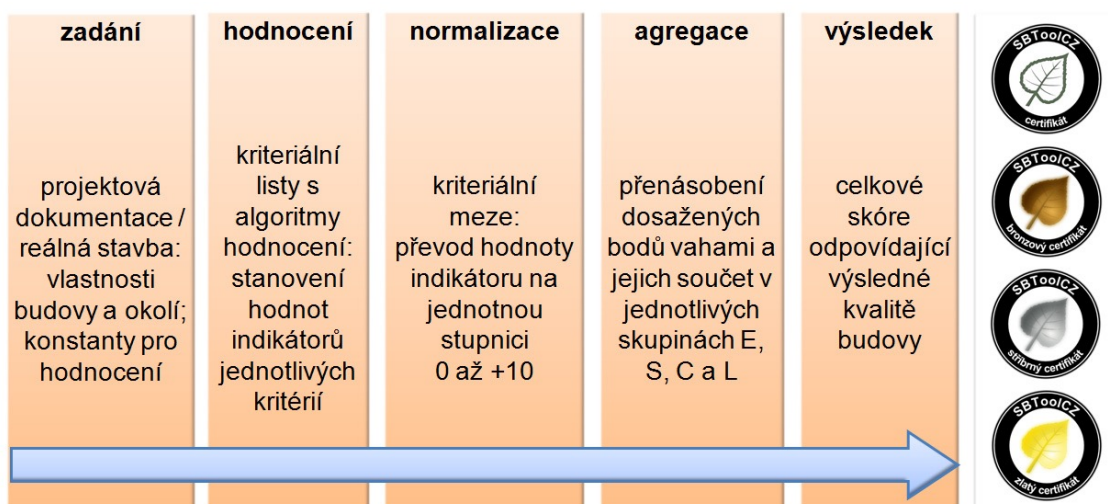
„Panelu expertů se zúčastnilo 30 odborníků z různých oblastí a každý vyplnil tabulku kritérií dle výše uvedené metodiky. V případě, že se expert necítil dostatečně odborně kompetentní pro hodnocení některého z kritérií, nebo jej nechtěl hodnotit, tak mu byla dána možnost nevyplnit hodnocení na některé z úrovní pohledu.“ [22]

Metodika SBToolCZ zahrnuje kromě šesti výše uvedených kritérií ještě několik dalších environmentálních kritérií. Jmenovitě například využití zeleně na pozemku, využití zeleně na střeších a fasádách, spotřebu pitné vody, využití půdy, podíl dešťové vody zachytávané na pozemku aj. Pro potřeby práce jsou ale některá tato kritéria nadbytečná, neboť modelový objekt se nachází na jednom a tom samém místě.

2.5.3.1. Postup výpočtu dle metodiky SBToolCZ

Hodnocení za použití metodiky SBToolCZ vyžaduje několik kroků (Obr. 1), z nichž část není přímo aplikovatelná pro environmentální hodnocení samostatné svíslé konstrukce rodinného domu.

(1) Obr: Základní kroky v procesu hodnocení [36]



Metodika SBToolCZ počítá s měrnými jednotkami vztaženými na 1 m² celkové podlahové plochy budovy za jeden rok. Vstupním hodnotám environmentálních kritérií, které jsou vypočteny na základě konverzních faktorů z ročních emisí budovy, jsou v procesu normalizace přiděleny body benchmarku 0-10, neboť hodnoty environmentálních kritérií jsou uvedeny v různých jednotkách. Mezilehlé hodnoty se v benchmarku lineárně interpolují. Získané body (0 nejhorší, 10 nejlepší) jsou následně agregovány přenásobením arbitrárně stanovenými vahami environmentálních kritérií – například 20,8 % pro spotřebu primární energie rodinného domu. [22]

Pro pochopení systému vezměme výpočet environmentálního dopadu roční spotřebované energie v rodinném domě, jak jej zpracovává metodika SBToolCZ.

Jelikož podkladem pro výpočet všech environmentálních kritérií je v případě metodiky SBToolCZ roční spotřebovaná energie v MJ, je tato hodnota nejprve násobena emisním faktorem podle zdroje energie (Tab. 3).

(3) Tabulka: Emisní a konverzní faktory SBToolCZ [37, formátováno]

Zdroj energie/tepla	emisní faktor					
	CO ₂ ,ekv.	SO ₂ ,ekv.	kg Phosphate - Equiv. (EP)	ethen (POCP)	kg R11-Eq. (ODP)	
	[MJ/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]	[kg/MJ]
kotel na palivové dřevo	0,05	0,0052	1,28E-04	4,65E-05	2,35E-06	3,08E-10
kotel na dřevěné pelety	0,15	0,0147	1,15E-04	5,70E-05	3,77E-06	9,94E-10
kotel na černé uhlí	1,40	0,1240	6,88E-04	1,71E-04	1,68E-04	6,95E-10

Zdroj energie/tepla	emisní faktor					
kotel na zemní plyn	1,20	0,0716	5,69E-05	1,11E-05	6,30E-06	7,46E-10
solární kolektor	0,05	0,0029	2,30E-05	1,68E-05	1,40E-06	3,54E-10
elektrická energie – mix ČR	3,00	0,2110	5,96E-04	1,08E-03	2,07E-05	4,94E-09
elektrická energie – fotovoltaická elektrárna	0,20	0,0238	1,14E-04	7,18E-05	7,03E-06	4,69E-09
teplárna na uhlí	1,40	0,1064	1,62E-04	9,37E-05	6,13E-06	2,38E-10
teplárna na zemní plyn	1,40	0,0684	7,44E-05	9,46E-06	5,69E-06	7,78E-10
teplárna ORC (spalování biomasy)	0,10	0,0109	8,63E-05	3,58E-05	1,65E-06	3,04E-10

Výsledná hodnota, pro roční spotřebu primární energie v MJ, je následně dle metodiky SBToolCZ dělena plochou v m² hodnoceného objektu a normalizována pomocí benchmarku. Ten pro hodnoty roční spotřebované primární energie z neobnovitelných zdrojů vypadá následovně (Tab. 4):

(4) Tabulka: Kriteriační meze pro E.01 Spotřeba primární energie [36, formátováno]

Měrná roční spotřeba primární energie [MJ/(m ² .a)]	Body
≥ 760	0
702	1
644	2
586	3
528	4
470	5
412	6
354	7
296	8
238	9
≤ 180	10

Hodnota benchmarku je agregována použitím vah kritérií. Pro spotřebu primární energie z neobnovitelných zdrojů byla váha stanovena na 20,8 % z 13 kritérií. Výslednou hodnotu benchmarku bychom tedy násobili odpovídajícími procenty. [22]

2.5.4. Metodika environmentálního hodnocení

Z výše uvedeného plyne, že metodika SBToolCZ je pro české prostředí nejvhodnější, není však možné ji aplikovat přímo na cíle této práce. Problém přímé aplikace metodiky SBToolCZ spočívá jednak v rozdílných jednotkách vstupních hodnot, které v EPD nejsou vztaženy na m² stavby, ale kg případně m² produktu, a jednak v kriteriačních mezích benchmarků, které jsou k těmto jednotkám vztaženy. To vyžaduje provést několik níže uvedených optimalizací.

Co je důležité – poměr mezi jednotlivými environmentálními kritérii zůstává naštěstí zachován, a lze tedy metodiku vhodně upravit. Namísto bodových stupnic benchmarků (krok normalizace) s kritériálními mezemi je zapotřebí pro jednotlivá environmentální kritéria vypočítat normalizační koeficienty použitelné pro libovolné hodnoty environmentálních kritérií.

Poměry mezi vahami jednotlivých environmentálních kritérií (krok agregace) jsou taktéž zachovány bez ohledu na to, že metodika SBTool uvažuje s environmentálními kritérii, která nejsou předmětem této práce. Ta jsou z celku jednoduše odebrána a ostatní kritéria přepočítána tak, aby výsledek byl stále 100 %.

2.5.4.1. Editace hodnocení konverzních benchmarků

Oproti metodice SBToolCZ není v části práce, která se zabývá environmentálním dopadem *výstavby* svislých konstrukcí, nutné provádět výpočet hodnot environmentálních kritérií z MJ spotřebované energie (pomocí konverzních faktorů), neboť EPD výrobků obsahují hodnoty environmentálních kritérií již připravené od výrobce.

Druhá část environmentálního hodnocení v této práci se zabývá dlouhodobým dopadem použitých konstrukcí na životní prostředí, který je zapříčiněn zejména jinými tepelně technickými vlastnostmi jednotlivých variant (*Kapitola 6.3. Skladby konstrukcí*) a tedy i nezbytností dodat pro různé varianty různé množství energie do budovy pro udržení stejného vnitřního prostředí. V tomto bodě vychází práce z průkazu energetické náročnosti budovy, který udává roční spotřebu v MWh. Je tedy zapotřebí vztáhnout tabulku emisních a konverzních faktorů na MWh namísto MJ, vynásobením koeficientů 3600. Výsledná tabulka vypadá po úpravě následovně (*Tab. 5*):

(5) *Tabulka: Emisní a konverzní faktory SBToolCZ vztahované na MWh*

Zdroj energie/tepla	emisní faktor, f					
	CO ₂ ,ekv.	SO ₂ ,ekv.	kg Phosphate -Equiv. (EP)	ethen (POCP)	kg R11-Equiv. (ODP)	
	MJ/MJ	kg/MWh	kg/MWh	kg/MWh	kg/MWh	kg/MWh
kotel na palivové dřevo	0,05	18,675	0,4608	0,1674	8,44E-03	1,11E-06
kotel na dřevěné pelety	0,15	52,866	0,41364	0,20502	1,36E-02	3,58E-06
kotel na černé uhlí	1,40	446,4	2,4768	0,61704	6,05E-01	2,50E-06
kotel na zemní plyn	1,20	257,616	0,20484	0,0398124	2,27E-02	2,69E-06
solární kolektor	0,05	10,476	0,0828	0,06048	5,04E-03	1,27E-06
elektrická energie – mix ČR	3,00	759,6	2,14596	3,891096	7,47E-02	1,78E-05
elektrická energie – fotovoltaická elektrárna	0,20	85,572	0,41148	0,25848	2,53E-02	1,69E-05
teplárna na uhlí	1,40	383,04	0,58284	0,337248	2,21E-02	8,58E-07
teplárna na zemní plyn	1,40	246,24	0,26784	0,0340452	2,05E-02	2,80E-06
teplárna ORC (spalování biomasy)	0,10	39,24	0,31068	0,128772	5,92E-03	1,09E-06

Pro tuto práci jsou klíčové emisní faktory pro kotel na zemní plyn a elektrickou energii dodanou ze sítě.

2.5.4.2. Editace normalizace

Hodnoty jednotlivých environmentálních kritérií přebíráme přímo z environmentálního profilu konstrukcí.

Rovnici popisující hodnoty benchmarků SBToolCZ (krok normalizace) lze zapsat jako následující funkci s absolutního hodnotou :

$$(I) \quad F(x) = - \left(\left| \frac{b_1 - b_0}{2} \times x + 0 \right| - \left| \frac{b_1 - b_0}{2} \times x - 10 \times \frac{b_1 - b_0}{2} \right| \right) + \left(b_0 - 10 \times \frac{b_1 - b_0}{2} \right)$$

Kde x je počet bodů na stupnici benchmarku; b_1 je hodnota environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 1; b_0 je hodnota environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 0.

Například pro PEI (Tab. 3) by tedy rovnice vypadala následovně:

$$(II) \quad F(x) = - \left(\left| \frac{760 - 702}{2} \times x + 0 \right| - \left| \frac{760 - 702}{2} \times x - 10 \times \frac{760 - 702}{2} \right| \right) + \left(760 - 10 \times \frac{760 - 702}{2} \right)$$

Po úpravě:

$$(III) \quad F(x) = - 29 |x| - |29x - 290| + 470$$

Obdobným způsobem je možné zapsat také rovnice ostatních benchmarků environmentálních kritérií. Z rovnice č. III a z grafu ostatních rovnic, který je pro vybraná environmentální kritéria uveden dále (Obr. 2), je možné udělat dva závěry:

Za prvé, bodová stupnice, kterou metodika SBToolCZ pro každé environmentální kritérium používá, je v intervalu pro $x \in \langle 0, 10 \rangle$ lineární funkcí, zatímco v intervalu $(-\infty, 0)$ a $\langle 10, +\infty \rangle$ funkcí konstantní. Je to dáno omezením benchmarku SBToolCZ na škálu od 0 do 10, kde všechny hodnoty environmentálního kritéria, které spadají za hranice tohoto intervalu, získávají přidělenou pouze nejvyšší nebo nejnižší hodnotu benchmarku. Tedy například opět pro PEI 760 MJ/(m².a)¹ spotřebované energie získává dle této metodiky stejné bodové hodnocení jako, řekněme, 1 000 000 MJ/(m².a), neboť 760 MJ/(m².a) je hraniční hodnotou s přidělenými 0 body. Je to proto, že metodika SBToolCZ, jak bylo uvedeno výše, je přizpůsobena hodnocení celých budov podobného charakteru, nikoliv jednotlivých konstrukčních řešení.

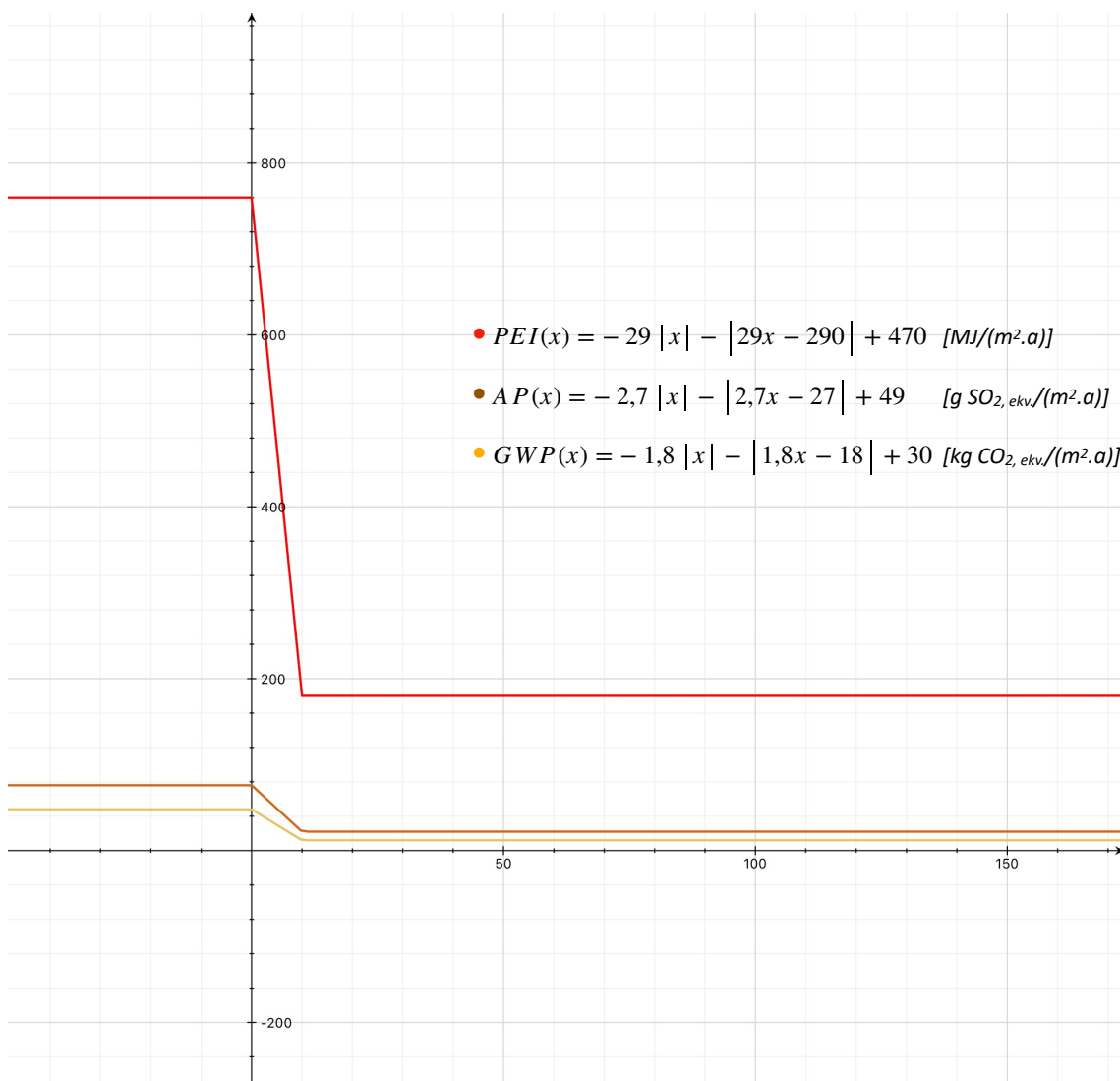
Za druhé, lineárně klesající funkce benchmarků environmentálních kritérií svírají s osou y (a tedy i x) jiný úhel, proto také *není* možné na základě prostého podílu stanovit poměr mezi

¹ MJ/(m².a) vyjadřuje MJ na metr čtvereční stavby za rok

vahami jednotlivých kritérií. Neplatí totiž, že pakliže má například 48 kg/(m².a) emisí CO₂, ekv. před agregací environmentální dopad jako 760 MJ/(m².a) zabudované energie (tedy 1 : 15,84), bude tento poměr stejný také pro 12 kg/(m².a) CO₂, ekv. a 180 MJ/(m².a) zabudované energie, jak uvádí SBToolCZ. Ve skutečnosti je 12 kg/(m².a) CO₂, ekv. ku 180 MJ/(m².a) poměr 1:15, nikoliv 1:15,84.

Konstantních hodnot nabývá v metodice SBToolCZ poměr mezi dvěma náhodnými environmentálními kritérii pouze v intervalech $(-\infty, 0)$ a $\langle 10, +\infty)$, což ale nepředstavuje reprezentativní hodnotu. Jiný bude také poměr mezi dvěma náhodnými environmentálními kritérii v intervalu $(-\infty, 0)$ a jiný v intervalu $\langle 10, +\infty)$.

(2) Obr: Graf funkce benchmarku PEI, GWP, a AP v SBToolCZ



Cílem úpravy metodiky musí být výpočet takového normalizačního koeficientu, který nejvíce odpovídá poměru mezi environmentálními kritérii stanovenými v SBToolCZ (1), pro co největší množství hodnot (2).

Ad (1) Z tohoto plyne, že pro výpočet poměru mezi environmentálními kritérii nás zajímá lineární část funkce benchmarku (v intervalu $\langle 0,10 \rangle$), neboť nejvíce odpovídá zamýšlenému poměru environmentálních kritérií stanovenému metodikou SBToolCZ.

Tuto část intervalu můžeme zapsat jako rovnici přímky.

$$(IV) \quad F(x) = b_0 - (b_0 - b_1)x$$

Kde x je počet bodů na stupnici benchmarku; b_1 je hodnota environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 1; b_0 je hodnota environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 0.

Opět pro hodnoty PEI tedy:

$$(V) \quad F(x) = 760 - 58x$$

Ad (2) Podíl mezi dvěma lineárními funkcemi svírajícími různé úhly vůči ose y , stanovíme v tomto případě pro největší množství hodnot jako limitu x k plus-mínus nekonečnu:

$$(VI) \quad \lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = \frac{b_0 - (b_0 - b_1)x}{a_0 - (a_0 - a_1)x}$$

Kde x je počet bodů na stupnici benchmarku; b_1 je hodnota jednoho environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 1; b_0 je hodnota jednoho environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 0; a_1 je hodnota druhého environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 1; a_0 je hodnota druhého environmentálního kritéria v jednotkách uvedených v SBToolCZ pro bod 0.

Pro hodnoty PEI v MJ/(m².a) a GWP v kg CO_{2,ekv.}/(m².a) bude rovnice (VI) vypadat následovně:

$$(VII) \quad \lim_{x \rightarrow \pm\infty} f(x) = \frac{760 - 58x}{48 - 3,6x}$$

Výsledek v tomto případě je 16,111 s periodou. Ergo normalizační koeficient pro PEI (spotřeba primární energie) bude 1 a normalizační koeficient pro svázané emise CO₂ bude 16,1 s periodou. V bezrozměrných jednotkách pak tedy 1 MJ spotřebované energie odpovídá 16,1 kg CO₂ – tak jak to je zamýšleno metodikou SBToolCZ. Tímto způsobem byly vypočteny i všechny ostatní normalizační koeficienty, uvedené v *tabulce č. 6* níže.

(6) Tabulka: Normalizační koeficienty

Environmentální kritérium	Měrná jednotka	Normalizační koeficient
PEIn (Spotřeba primární energie – neobnovitelné)	MJ/m ²	1,0 ¹
PEIr (Spotřeba primární energie – obnovitelné)	MJ/m ²	-
GWP (Svázané emise CO ₂)	kg CO ₂ ekv./m ²	16,1
AP (Svázané emise SO ₂)	g SO ₂ ekv./m ²	10,7
POCP (Potenciál tvorby přízemního ozonu)	g C ₂ H ₄ ekv./m ²	193,3
ODP (Potenciál ničení ozonové vrstvy)	g R-11 ekv./m ²	1 318 181,8
EP (Potenciál eutrofizace prostředí)	g (PO ₄) ³⁻ ekv./m ²	12,8

¹ m² = běžný m² konstrukce

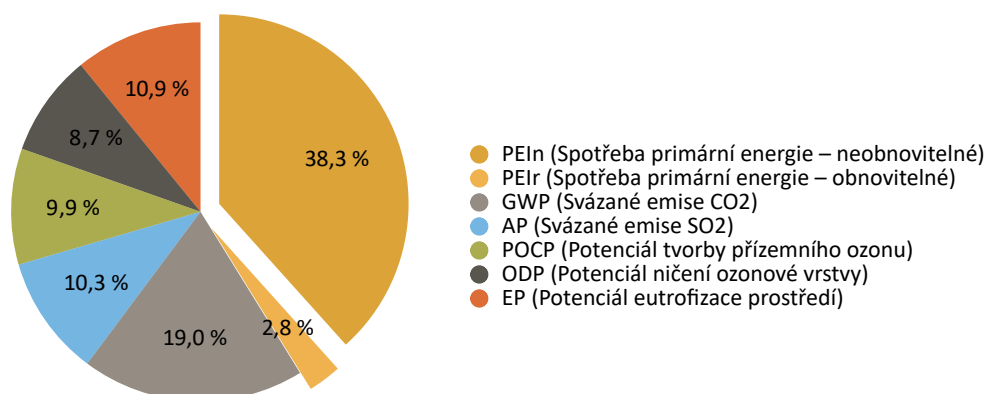
2.5.4.3. Editace metodiky agregace

Agregace znamená přepočítání normalizované hodnoty dle váhy, jaká byla environmentálnímu kritériu přidělena panelem expertů na základě intenzity vlivu, prostorového dosahu, doby trvání potenciálního vlivu, a národní priority sledování daného vlivu. Metodika SBToolCZ počítá s větším množstvím environmentálních kritérií, než jaké obsahuje běžné EPD. Tato environmentální kritéria je možné vyřadit. Váhy mnou použitých kritérií z metodiky jsem následně pouze přepočítal tak, aby odpovídaly 100 %.

(7) Tabulka: Váha environmentálních kritérií na životní prostředí

Environmentální kritérium	Měrná jednotka	Váha kritéria dle SBTool	Přepočítaná váhová hodnota
PEIn (Spotřeba primární energie – neobnovitelné)	MJ/m ²	20,8	38,3
PEIr (Spotřeba primární energie – obnovitelné)	MJ/m ²		2,8
GWP (Svázané emise CO ₂)	kg CO ₂ ekv./m ²	9,6	19,0
AP (Svázané emise SO ₂)	g SO ₂ ekv./m ²	5,2	10,3
POCP (Potenciál tvorby přízemního ozonu)	g C ₂ H ₄ ekv./m ²	5,0	9,9
ODP (Potenciál ničení ozonové vrstvy)	g R-11 ekv./m ²	4,4	8,7
EP (Potenciál eutrofizace prostředí)	g (PO ₄) ³⁻ ekv./m ²	5,5	10,9
		51	100

Pozn.: Poměr mezi PEIn a PEIr je dále řešen v kapitole Editace metodiky – spotřeba primární energie

(2) Graf: Váha environmentálních kritérií na životní prostředí

2.5.4.4. Editace metodiky – spotřeba primární energie

Spotřeba obnovitelné energie je důležitým faktorem, který nelze převzít z metodiky SBToolsCZ. Metodika SBToolsCZ přiděluje body benchmarku environmentálního dopadu spotřeby obnovitelné energie podle procentuálního podílu obnovitelné energie z celkové roční spotřeby energie – s nejvyšším možným skóre 10 bodů pro 24 % a více na podílu z celkové roční spotřebované energie budovy. V tomto případě není možné použít stejný výpočet normalizačního koeficientu jaký je uveden výše, neboť mnou vypočtený normalizační koeficient není nikdy, na rozdíl od bodového benchmarku metodiky SBToolCZ, zastropovaný. Pokud bych použil stejný výpočet pro normalizační koeficient jako výše, získávaly by materiály s větším než 24% podílem obnovitelné energie potřebné k jejich výrobě záporné body. Výpočet se zápornými čísly je možný v případě celého objektu. Je však zřejmý rozdíl, zda je na výrobu materiálu v konstrukční skladbě použita žádná energie, nebo energie obnovitelného zdroje.

Kriteriální meze, které využívá SBToolCZ, fungují dobře pro účely SBToolCZ – jsou přizpůsobené českému prostředí a lze je při správné modifikaci metodiky použít i k hodnocení environmentálních dopadů materiálů. Nelze je ale převést zcela bezvýjimečně.

Pokud bychom vycházeli z hodnoty, kterou stanovil panel expertů, odpovídá váha obnovitelné energie 7,2 %. [22] Tento výsledek je ale bez přenásobení příslušným normalizačním koeficientem – který by, připustíme-li, že bychom jej mohli použít, váhu kritéria výrazně *snižoval* – pouze orientační. (A)¹

Poměr mezi PE_l a PE_n je důležitým faktorem, který by bylo zbytečné opomenout. Jak bylo uvedeno výše, je rozdíl, zda je kromě určitého množství primární energie z neobnovitelného zdroje zapotřebí také dodání další energie ze zdroje obnovitelného. Přestože obnovitelné zdroje energie mají ve srovnání s neobnovitelnými zdroji násobně nižší dopad na životní prostředí, není tento dopad nulový, natož záporný.

“The pumped reservoir hydro plant undoubtedly has a relatively high global warming impact...”

“Solar PV also makes a fairly significant impact.”

“...bioenergies show high results for the acidification factor.”

[38]

V tabulce níže (Tab. 8, Graf 3) je uveden seznam vybraných obnovitelných zdrojů energie a jejich produkce CO₂ a SO₂.

¹ Odkazuje na závěr kapitoly

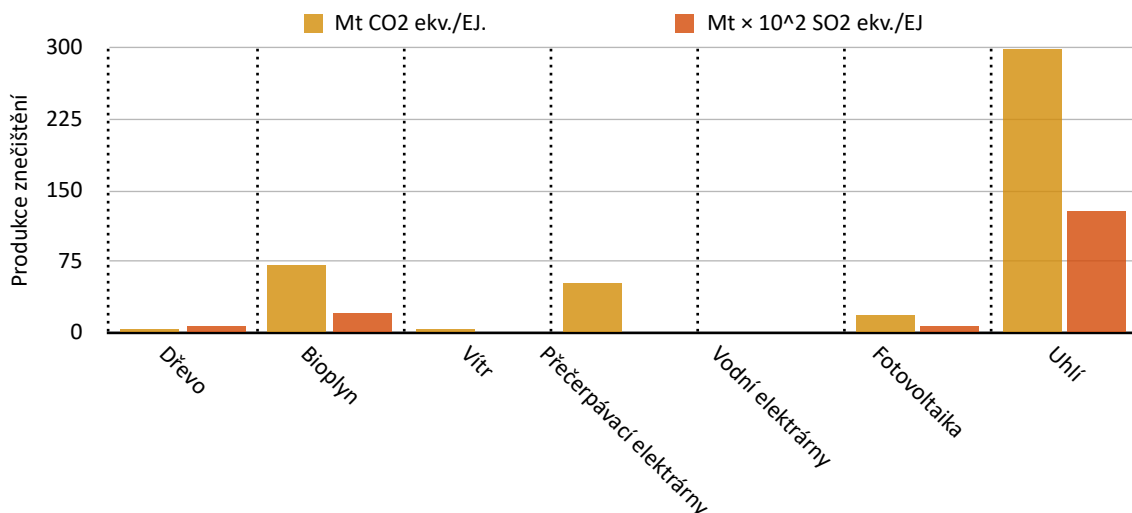
(8) Tabulka: Vybrané vlivy obnovitelných zdrojů na životní prostředí [38, kráceno]

Zdroj energie	Mt CO ₂ ekv./EJ. ^{(1) (3)}	Mt × 10 ² SO ₂ ekv./EJ ⁽²⁾
Dřevo	3,7	8
Bioplyn	71,3	22
Vítr	4,8	2
Přečerpávací elektrárny	52,5	0
Vodní elektrárny	1	0
Fotovoltaika	19	8
Uhlí	299,9	127

¹ Mt = megatuny

² kt = kilotuny

³ EJ = exajoul = 277,8 TWh

(3) Graf: Vybrané vlivy obnovitelných zdrojů na životní prostředí [38, kráceno]

Z výše uvedených dat je patrné, že například emise CO₂/J obnovitelných zdrojů energie se ve srovnání s uhelnou elektrárnou pohybují mezi 0,3 – 24 %. Průměr z výše uvedených hodnot dosahuje 8,5 % pro emise CO₂/J, 5,3 % pro emise SO₂ ekv./J. Oproti neobnovitelnému zdroji energie má obnovitelný zdroj ale výhodu v podobě možnosti umístění v místě odběru. (B)

Výše uvedená hodnota v přeneseném slova smyslu reprezentuje to, co vyhláška č. 480/2012 Sb. označuje jako emisní faktor (Tab. 9), tedy:

„...uvádí množství uhlíku, respektive oxidu uhličitého, připadajícího na jednotku energie ve spalovaném palivu.“

(9) Tabulka: Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého [39]

Druh paliva	Emisní faktor
Hnědé uhlí	0,36 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Černé uhlí	0,33 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Těžký topný olej	0,27 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Lehký topný olej	0,26 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Zemní plyn	0,20 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Biomasa	0 t CO ₂ /MWh výhřevnosti paliva
Elektrina	1,17 t CO ₂ /MWh elektřiny

Bohužel emisní faktory nevyjadřují poměr mezi neobnovitelnými zdroji energie, neboť pracují s výpočtem na základě výhřevnosti paliva a nemohou tedy sloužit k přesnému stanovení hodnoty poměru mezi environmentálními dopady PEI_r a PEI_n. (C)

Závěr:

Hodnotu PEI_r jsem v rámci své práce stanovil jako 6,9 % z celkové hodnoty PEI, což představuje 2,84 % ze všech hodnocených environmentálních kritérií. Stanovení poměrové hodnoty je kvalifikovaným odhadem na základě výše uvedených zdrojů (A), (B), (C).

2.6. Environmentální hodnocení

Environmentální hodnocení konstrukcí se skládá ze dvou částí. Environmentálního profilu konstrukce – výpočtů dopadů výstavby na životní prostředí, a dlouhodobého dopadu konstrukčního řešení na životní prostředí.

2.6.1. Metodika výpočtu environmentálních dopadů výstavby ($VS_{v,i}$) (VSV)

Základem první části je zpracování environmentálního profilu konstrukce, jehož výsledkem jsou hodnoty sedmi environmentálních kritérií. Podkladem pro zpracování environmentálního profilu konstrukce jsou EPD všech vrstev konstrukce.

Environmentální kritérium		Měrná jednotka
PEI _n	(Spotřeba primární energie – neobnovitelné)	MJ/m ²
PEI _r	(Spotřeba primární energie – obnovitelné)	MJ/m ²
GWP	(Svázané emise CO ₂)	kg CO ₂ ekv./m ²
AP	(Svázané emise SO ₂)	g SO ₂ ekv./m ²
POCP	(Potenciál tvorby přízemního ozónu)	g C ₂ H ₄ ekv./m ²
ODP	(Potenciál ničení ozonové vrstvy)	g R-11 ekv./m ²
EP	(Potenciál eutrofizace prostředí)	g (PO ₄) ³⁻ -ekv./m ²

Tyto hodnoty jsou následně vynásobeny plochou konstrukce stěn (129,956 m²) a převedeny na jednotky o tři řády vyšší, tedy z kg na tuny, z g na kg. Výsledkem jsou tzv. prosté skóry – v tomto případě označené dolním indexem v jako *prosté skóry výstavby* (PS_v) – pro každé environmentální kritérium.

Prosté skóry environmentálních kritérií		Měrná jednotka
PS _v PEIn	(Prostý skór výstavby spotřeby primární energie – neobnovitelné)	[GJ]
PS _v PEIr	(Prostý skór výstavby spotřeby primární energie – obnovitelné)	[GJ]
PS _v GWP	(Prostý skór výstavby svázaných emisí CO ₂)	[t CO ₂ ekv.]
PS _v AP	(Prostý skór výstavby svázaných emisí SO ₂)	[kg SO ₂ ekv.]
PS _v POCP	(Prostý skór výstavby potenciálu tvorby přízemního ozónu)	[kg C ₂ H ₄ ekv.]
PS _v ODP	(Prostý skór výstavby potenciálu ničení ozonové vrstvy)	[kg R-11 ekv.]
PS _v EP	(Prostý skór výstavby potenciálu eutrofizace prostředí)	[kg (PO ₄) ³⁻ ekv.]

Jednotlivé prosté skóry výstavby environmentálních kritérií jsou následně vynásobeny nejprve normalizačními koeficienty (Tab. 6) vypočtenými z metodiky SBToolCZ (VI) (VII), a poté agregovány vahami určenými panelem expertů pro metodiku SBToolCZ. Výsledkem je sedm bezrozměrných tzv. vážených skórů, označených jako *vážené skóry výstavby*. Tuto část výpočtu lze zapsat vzorcem jako:

$$(VIII) \quad VS_{v,i} = PS_{v,i} \times k_{h,i} \times k_{a,i}$$

Kde VS_v je vážený skór výstavby; PS_v představuje prostý skór výstavby jednotlivého environmentálního kritéria; k_k je harmonizační koeficient (Tab. 6); k_a je váhový koeficient (Tab. 7)

Vážené skóry environmentálních kritérií		Měrná jednotka
VS _v PEIn	(Vážený skór výstavby spotřeby primární energie – neobnovitelné)	[-]
VS _v PEIr	(Vážený skór výstavby spotřeby primární energie – obnovitelné)	[-]
VS _v GWP	(Vážený skór výstavby svázaných emisí CO ₂)	[-]
VS _v AP	(Vážený skór výstavby svázaných emisí SO ₂)	[-]
VS _v POCP	(Vážený skór výstavby potenciálu tvorby přízemního ozónu)	[-]
VS _v ODP	(Vážený skór výstavby potenciálu ničení ozonové vrstvy)	[-]
VS _v EP	(Vážený skór výstavby potenciálu eutrofizace prostředí)	[-]

Součet vážených skórů výstavby jednotlivých environmentálních kritérií představuje *environmentální dopad výstavby konstrukce*. Tuto operaci lze zapsat jako:

$$(IX) \quad \sum_{i=1}^{VSV} VS_{v,i}$$

Kde VS_v jsou vážené skóry výstavby pro jednotlivá environmentální kritéria; VSV je výsledný vážený skór výstavby, který představuje *environmentální dopad výstavby konstrukce*.

2.6.2. Metodika výpočtu environmentálních dopadů provozu (VS_{P, i}) (VSP)

Environmentální dopady provozu budovy jsou v rámci této práce počítány v horizontu 20 let, což představuje dobu, po kterou lze ekonomickou návratnost investice považovat za smysluplnou.

Vstupní hodnotou pro posouzení environmentálních dopadů provozu jsou MWh/rok vypočtené v průřezu energetické náročnosti budovy. Spotřeba energie je na základě emisních a

konverzních faktorů (Tab. 3), zvláště pro elektrickou energii ze sítě a zvláště pro kotel na zemní plyn, převedena na hodnoty jednotlivých environmentálních kritérií. Součet těchto dvou výsledků odpovídá hodnotě emisí environmentálního kritéria za jeden rok a představuje tedy tzv. průběžný prostý skór pro environmentální kritérium. Níže uvedená tabulka je výňatkem z tabulky č. 3.

Zdroj energie/tepla	emisní faktor, f					
		CO ₂ ,ekv.	SO ₂ ,ekv.	kg Phosphate -Equiv. (EP)	ethen (POCP)	kg R11-Equiv. (ODP)
	MJ/MJ	kg/MWh	kg/MWh	kg/MWh	kg/MWh	kg/MWh
kotel na zemní plyn	1,20	257,616	0,20484	0,0398124	2,27E-02	2,69E-06
elektrická energie – mix ČR	3,00	759,6	2,14596	3,891096	7,47E-02	1,78E-05

Převod spotřeby na hodnotu jednotlivých environmentálních kritérií lze zapsat jako:

$$(X) \quad \sum_{i=1}^{PS_{p,i}} P_i \times f_i$$

Kde $PS_{p,e}$ je průběžný prostý skór pro jednotlivá environmentální kritéria. Hodnota průběžného prostého skóru je shodná během všech let provozu. P představuje dodanou energii v MWh/rok, f představuje emisní faktor (Tab. 3). Výsledkem jsou tedy průběžné prosté skóry (PS_p) pro každé environmentální kritérium.

Průběžné prosté skóry environmentálních kritérií		Měrná jednotka
PS_p PEIn	(Prostý skór průběžný spotřeby primární energie – neobnovitelné)	[GJ]
PS_p PEIr	(Prostý skór průběžný spotřeby primární energie – obnovitelné)	[GJ]
PS_p GWP	(Prostý skór průběžný svázaných emisí CO ₂)	[t CO ₂ ekv.]
PS_p AP	(Prostý skór průběžný svázaných emisí SO ₂)	[kg SO ₂ ekv.]
PS_p POCP	(Prostý skór průběžný potenciálu tvorby přízemního ozónu)	[kg C ₂ H ₄ ekv.]
PS_p ODP	(Prostý skór průběžný potenciálu ničení ozonové vrstvy)	[kg R-11 ekv.]
PS_p EP	(Prostý skór průběžný potenciálu eutrofizace prostředí)	[kg (PO ₄) ³⁻ ekv.]

Jednotlivé průběžné prosté skóry environmentálních kritérií jsou, stejně jako ve výpočtu vážených skórů výstavby pro výpočet environmentálních dopadů výstavby svislých konstrukcí, následně vynásobeny opět nejprve normalizačními koeficienty (Tab. 6) vypočtenými z metodiky SBToolCZ a poté agregovány vahami (Tab. 7) určenými panelem expertů pro metodiku SBToolCZ. Výsledkem je sedm bezrozměrných průběžných vážených skórů. Tuto část výpočtu lze zapsat vzorcem jako:

$$(XI) \quad VS_{p,i} = PS_{p,i} \times k_{h,i} \times k_{a,i}$$

Kde VS_p je vážený skór průběžný; PS_p představuje průběžný prostý skór jednotlivého environmentálního kritéria; k_h je harmonizační koeficient (Tab. 6); k_a je váhový (agregační) koeficient (Tab. 7).

Vážené skóry environmentálních kritérií		Měrná jednotka
VS_p PEIn	(Vážený skór průběžný spotřeby primární energie – neobnovitelné)	[-]
VS_p PEIr	(Vážený skór průběžný spotřeby primární energie – obnovitelné)	[-]
VS_p GWP	(Vážený skór průběžný svázaných emisí CO ₂)	[-]
VS_p AP	(Vážený skór průběžný svázaných emisí SO ₂)	[-]
VS_p POCP	(Vážený skór průběžný potenciálu tvorby přízemního ozónu)	[-]
VS_p ODP	(Vážený skór průběžný potenciálu ničení ozonové vrstvy)	[-]
VS_p EP	(Vážený skór průběžný potenciálu eutrofizace prostředí)	[-]

Součet vážených skórů jednotlivých environmentálních kritérií představuje *environmentální dopad výstavby konstrukce*. Tuto operaci lze zapsat jako:

$$(XII) \quad \sum_{i=1}^{VSP} VS_{p,i}$$

Kde VS_p jsou vážené skóry průběžné pro jednotlivá environmentální kritéria; VSP je výsledný vážený skór průběžný, který představuje *environmentální dopad provozování konstrukce po dobu jednoho roku*.

2.6.3. Metodika výpočtu kumulativních environmentálních dopadů konstrukce za 20 let (VS20)

Výsledky environmentálního posouzení jsou následující:

1. Vážený skór výstavby (VSV) představující environmentální dopad výstavby použité varianty svislé konstrukce.
2. Vážený skór průběžný (VSP) představující environmentální dopad provozování použité varianty svislé konstrukce v průběhu jednoho roku.
3. Vážený skór stavby po 20 letech provozu (VS20), který představuje součet dopadu výstavby použité varianty svislé konstrukce a kumulativního environmentálního dopadu provozování použité varianty svislé konstrukce v průběhu dvaceti let. Tento skór je možné matematicky zapsat jako:

$$(XIII) \quad VS20 = VSV + VSP$$

Kde VSV je celkový vážený skór výstavby; VSP je celkový vážený skór průběžný za 20 let.

3. Ekonomie výstavby

Ekonomické hodnocení stavby je obvykle první, co stavebníka zajímá. Úspora na pořizovacích nákladech stavby se může nevyplatit na nákladech za její provoz. Provázání ekonomické výhodnosti s kvalitou použitých materiálů se nicméně projevuje až ve fázi užívání stavby, proto nemusí být jednoduché udělat ekonomicky efektivní rozhodnutí při projektování budovy. Kvalitní materiály nezpochybnitelně ušetří náklady na provoz v podobě menší spotřeby energií, obvykle ale na úkor jejich pořizovací ceny.

Samotné environmentální dopady použitých stavebních materiálů nemají pro investora žádnou přidanou ekonomickou hodnotu. Jsou-li tepelné vlastnosti, životnost a praktické vlastnosti (podmínky skladování, hmotnost, pracnost montáže příp. demontáže) materiálů shodné, lze předpokládat, že ekonomicky motivovaný investor zvolí levnější materiál bez ohledu na dopady takového materiálu na životní prostředí. V tomto případě hraje klíčovou roli buď potenciální zisk dotačního titulu, který motivuje k využití konkrétních materiálů, nebo osobní zájem stavebníka použít materiály s menšími environmentálními dopady.

Možnost zisku dotačních programů popisují výše v této práci. V případě, kdy je objekt stavěn stavební firmou a navržen architektem, není problém si potenciální zisk dotačního titulu předem spočítat a ekonomicky vyhodnotit. Osobní zájem stavebníka může, kromě případů kdy je investor zároveň stavitelem a nechce svou stavbou způsobovat nadměrnou ekologickou zátěž, zároveň vstupovat do hry v případě, kdy je stavba stavěna za účelem prodeje a použití ekologických materiálů je součástí marketingu zaměřeného na konkrétní typ zákazníků.

3.1. Legislativní rámec

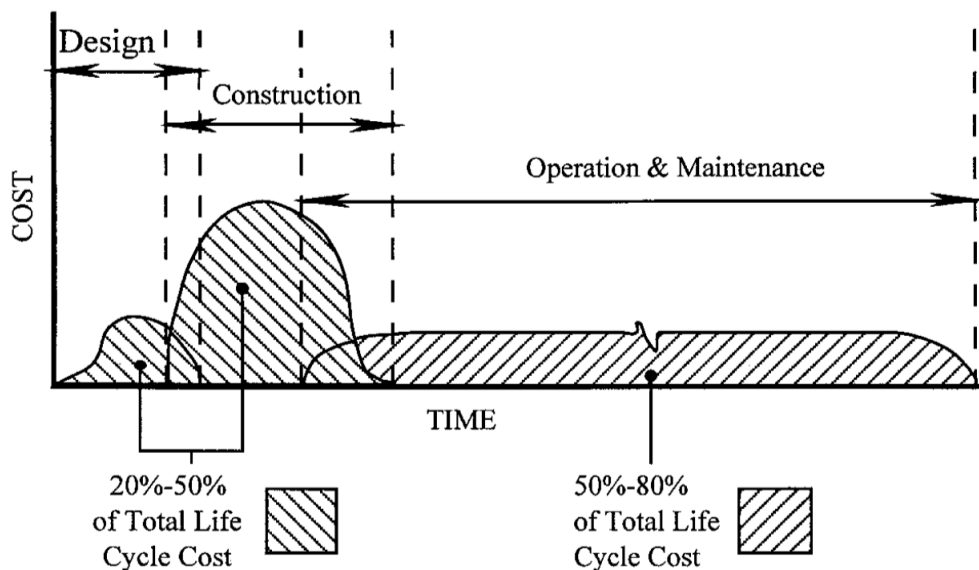
Právní rámec pro oceňování stavebních objektů představuje mmj. následující legislativa:

- Zákon č. 151/1997 Sb., Zákon o oceňování majetku a o změně některých zákonů (zákon o oceňování majetku)
- Zákon č. 134/2016 Sb., Zákon o zadávání veřejných zakázek
- Vyhláška č. 169/2016 Sb., Vyhláška o stanovení rozsahu dokumentace veřejné zakázky na stavební práce a soupisu stavebních prací, dodávek a služeb s výkazem výměr
- Vyhláška č. 450/2009 Sb., Vyhláška, kterou se provádí zákon č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů
- Vyhláška č. 441/2013 Sb., Vyhláška k provedení zákona o oceňování majetku (oceňovací vyhláška)

3.2. Náklady životního cyklu

Způsobů jak schématicky dělit náklady stavby je celá řada. Podle času kdy jsou kalkulovány (skutečné, plánované), dle přičitatelnosti (přímé, nepřímé), dle druhu (mzdové, odpisové, náklady na materiál) atd. Pro potřeby této práce je názorné, pokud náklady rozdělíme dle času kdy vznikly v životním cyklu stavby (Obr. 3). [40]

(3) Obr: Rozložení nákladů životního cyklu v čase¹ [41]



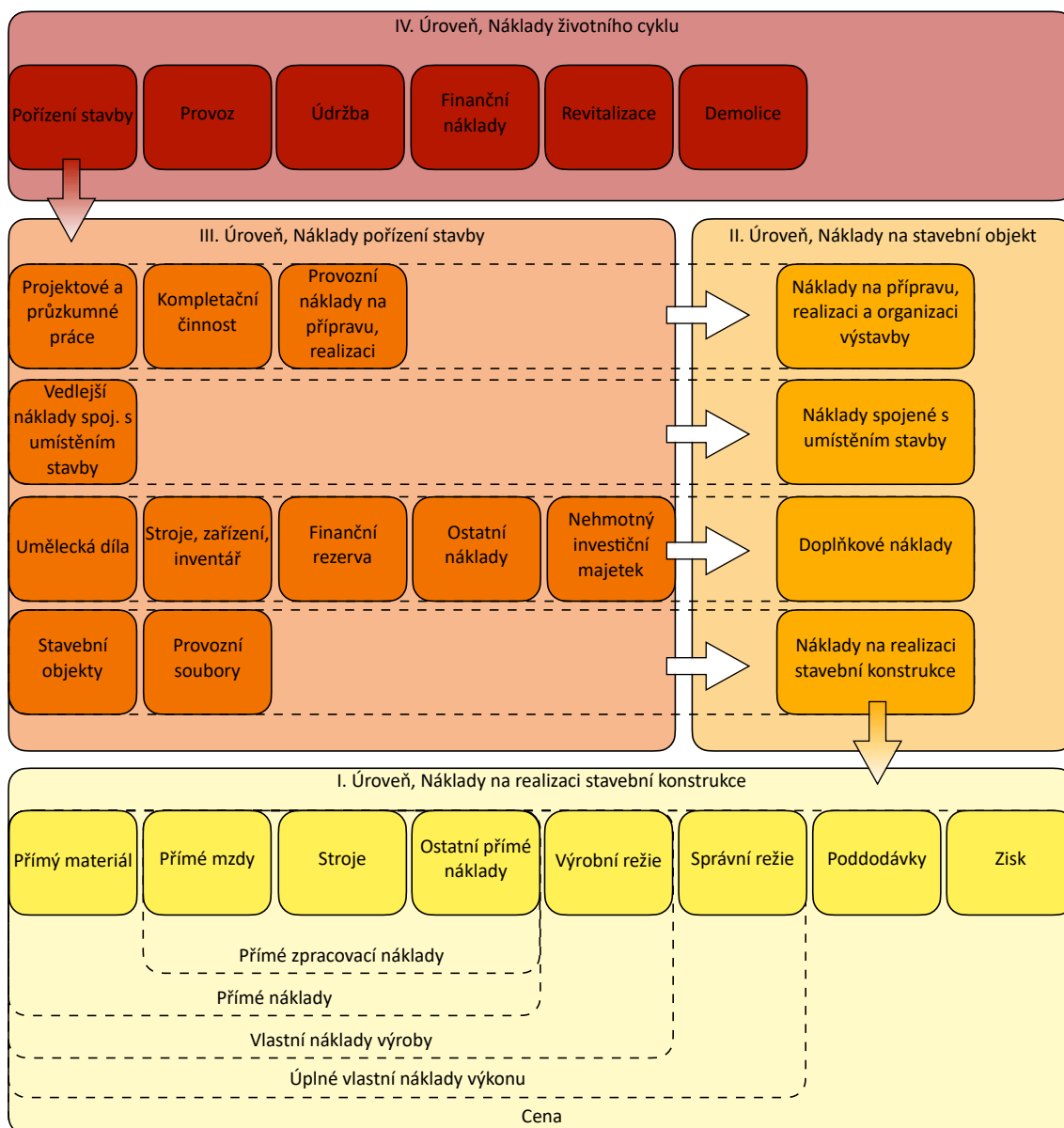
Náklady životního cyklu, též LCC (life cycle cost), jsou veškeré náklady vynaložené na pořízení, užívání a zbourání budovy. Zahrnují veškeré náklady výstavbového projektu, náklady na údržbu, správu a obnovu (náklady rekonstrukcí a revitalizací), finanční náklady (daně, pojištění) a náklady na recyklaci a ekologickou likvidaci. Z pohledu managementu nákladů je nejdůležitější předinvestiční fáze výstavby, která rozhoduje nejen o nákladech výstavbového projektu, ale také budoucích provozních nákladech a následně i nákladech na údržbu, případně renovaci a recyklaci objektu. [42]

¹ V Obr. 3 nákladů životního cyklu schází zakreslení nákladů potřebných na recyklaci objektu.

3.2.1. Pořizovací náklady

Náklady na pořízení stavby lze dělit do tří, resp. čtyř úrovní. Tři úrovně představují celkové náklady na pořízení stavby a jejich dělení a čtvrtá úroveň zahrnuje ostatní náklady životního cyklu. [43] [44]

(4) Obr: Úrovně nákladů [43] [44] [editováno]



Pořizovacími náklady (celkové náklady na pořízení stavby) se rozumí fáze životního cyklu do uvedení stavby do provozu. Zahrnuje to mmj. náklady na projektové práce, kompletační činnost, náklady stavebních objektů, náklady spojené s umístěním stavby, případné náklady na umělecká díla, vybavení, rezervu, ostatní náklady aj. Tyto náklady je možné určit různými metodami, nejpoužívanější ve stavebnictví je tzv. individuální kalkulace. Podkladem jsou v takovém případě normy spotřeb (materiálu, normohodin, strojohodin) s vedlejšími náklady kalkulovanými formou paušální přirážky. [40] [42] [44]

Pro kalkulaci nákladů na *realizaci stavební konstrukce* se v současné době nejčastěji používá tzv. kalkulační vzorec s výše uvedenou strukturou. (Obr. 4) [40]

Požizovací náklady je možné kalkulovat v různé míře podrobnosti a na základě různých metod. Kvalifikovaným odhadem, propočtem na základě cenových ukazatelů nebo rozpočtem, který samotný může být také v různé míře podrobnosti.

3.2.1.1. Cenové ukazatele, CZ-CC, JKSO

Cenové ukazatele ve stavebnictví představují základ pro předběžné plánování a cenotvorbu stavebních objektů. Jsou vyhotoveny na základě dlouhodobých statistických údajů, které sledují cenu staveb a stavebních objektů, a roztříděny dle jednotné klasifikace stavebních objektů JKSO (Tab. 10, Graf 4). Cenové ukazatele jsou uvedeny bez vedlejších rozpočtových nákladů (VRN) a bez DPH. Odchylka u konkrétních stavebních objektů může dosahovat až 25 %. [45]

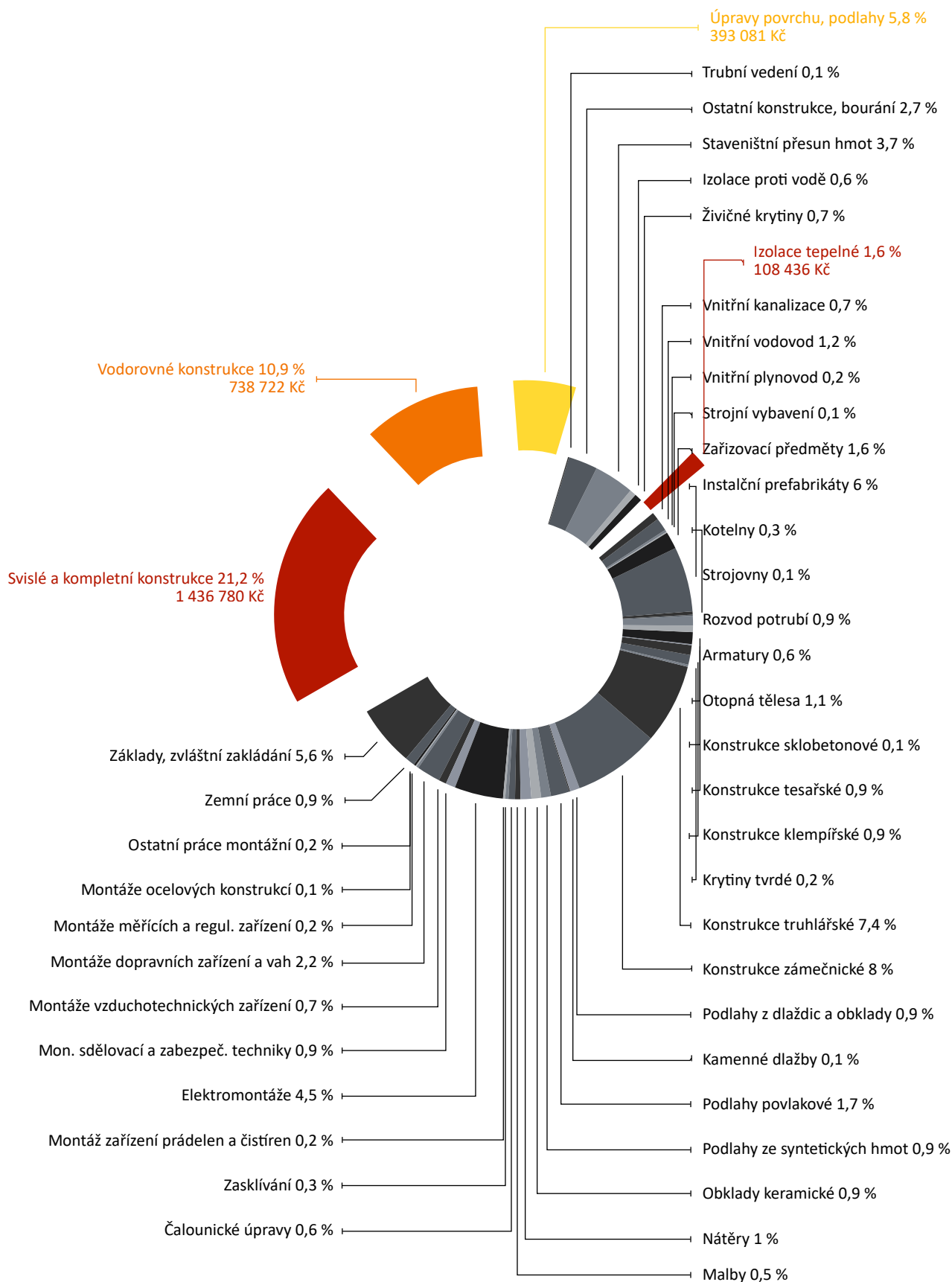
Přestože JKSO byla nahrazena Klasifikací stavebních děl (KSD) a posléze v roce 2004 klasifikací CZ-CC, JKSO se stále používá ve znění v jakém byla zavedena vyhláškou č.124/1980 Sb. K tomu také přispívá fakt, že RTS, a.s. stále vydává cenové ukazatele, ve kterých využívá strukturu JSKO. [45] [46]

Výpočet předběžných nákladů na základě cenových ukazatelů je založen na m³ obestavěného prostoru ve smyslu vyhlášky č. 3/2008 Sb.

(10)Tabulka: 803 Budovy pro bydlení [45, formátováno]

Díl	Konstrukčně materiálová charakteristika /	Průměrná hodnota	(803.6) RD jednobytové [Kč]
		%	6 625 [Kč/m3]
1	Zemní práce	0,9	60 995 Kč
2	Základy, zvláštní zakládání	5,6	379 527 Kč
3	Svislé a kompletní konstrukce	21,2	1 436 780 Kč
4	Vodorovné konstrukce	10,9	738 722 Kč
6	Úpravy povrchu, podlahy	5,8	393 081 Kč
8	Trubní vedení	0,1	6 777 Kč
9	Ostatní konstrukce, bourání	2,7	182 986 Kč
99	Staveništní přesun hmot	3,7	250 759 Kč
711	Izolace proti vodě	0,6	40 664 Kč
712	Živičné krytiny	0,7	47 441 Kč
713	Izolace tepelné	1,6	108 436 Kč
721	Vnitřní kanalizace	0,7	47 441 Kč
722	Vnitřní vodovod	1,2	81 327 Kč
723	Vnitřní plynovod	0,2	13 555 Kč
724	Strojní vybavení	0,1	6 777 Kč
725	Zařizovací předměty	1,6	108 436 Kč
726	Instalační prefabrikáty	6	406 636 Kč
731	Kotelny	0,3	20 332 Kč
732	Strojovny	0,1	6 777 Kč
733	Rozvod potrubí	0,9	60 995 Kč
734	Armatury	0,6	40 664 Kč
735	Otopná tělesa	1,1	74 550 Kč
761	Konstrukce sklobetonové	0,1	6 777 Kč
762	Konstrukce tesařské	0,9	60 995 Kč
764	Konstrukce klempířské	0,9	60 995 Kč
765	Krytiny tvrdé	0,2	13 555 Kč
766	Konstrukce truhlářské	7,4	501 517 Kč
767	Konstrukce zámečnické	8	542 181 Kč
771	Podlahy z dlaždic a obklady	0,9	60 995 Kč
772	Kamenné dlažby	0,1	6 777 Kč
776	Podlahy povlakové	1,7	115 213 Kč
777	Podlahy ze syntetických hmot	0,9	60 995 Kč
781	Obklady keramické	0,9	60 995 Kč
783	Nátěry	1	67 773 Kč
784	Malby	0,5	33 886 Kč
786	Čalounické úpravy	0,6	40 664 Kč
787	Zasklívání	0,3	20 332 Kč
793	Montáž zařízení prádeln a čistíren	0,2	13 555 Kč
M21	Elektromontáže	4,5	304 977 Kč
M22	Montáž sdělovací a zabezpečovací techniky	0,9	60 995 Kč
M24	Montáže vzduchotechnických zařízení	0,7	47 441 Kč
M33	Montáže dopravních zařízení a vah	2,2	149 100 Kč
M36	Montáže měřících a regul. zařízení	0,2	13 555 Kč
M43	Montáže ocelových konstrukcí	0,1	6 777 Kč
M99	Ostatní práce montážní	0,2	13 555 Kč
		100 %	6 777 262 Kč

(4) Graf: 803 Budovy pro bydlení [45, formátováno] ¹



¹ Barvy v grafu nemají souvislost s úrovněmi nákladů. Představují přibližné procento přímých nákladů, které jsou podrobně kalkulovány v této práci.

Z výše uvedené tabulky a grafu je patrné, že svislé konstrukce a konstrukce, které přímo se svislými konstrukcemi souvisí a jejichž relevantní část je součástí této práce, představují podstatné procentuální zastoupení v rozpočtu rodinného domu.

3.2.1.2. Rozpočet, KROS

Pro vyhotovení rozpočtu nákladů svislých konstrukcí jsem použil stavební rozpočtovací software KROS 4.

„Stavební software KROS 4 je určen pro tvorbu rozpočtů, kalkulací stavebních prací a sledování stavební zakázky.“ [47]

Výhodou programu je rozsáhlá databáze ÚRS a přehledná kalkulace jednotlivých prací podle jednotné klasifikace. Rozpočtovací software KROS 4 automaticky kalkuluje náklady na přesun hmot, počítané z váhy materiálů v databázi.

Mezi další rozpočtovací softwary patří například:

euroCALC (CALLIDA, s.r.o.)

Aspe (IBR Consulting s.r.o.)

BUILDPower (RTS, a.s.)

RTS Stavitel+ (RTS, a.s.)

Jelikož tato práce se zabývá pouze svislými konstrukcemi, nejsou rozpočty vyhotoveny pro celou stavbu, nezahrnují VRN, ale pouze náklady, které přímo souvisí s výstavbou svislých konstrukcí a zejména se odlišují v případě různých konstrukčních variant (*Kapitola 6.3. Skladby konstrukcí*).

3.2.1.3. Vedlejší rozpočtové náklady

Vedlejší rozpočtové náklady (VRN) zahrnují náklady zařízení staveniště, mimostavební dopravu, dopravu zaměstnanců, územní vlivy, inženýrskou činnost atd. [42]

Vedlejší rozpočtové náklady lze stanovit přiřázkovou metodou – se základnou základních rozpočtových nákladů – tedy procentem ze ZRN, individuální kalkulací, kvalifikovaným odhadem apod. V případě níže uvedené případové studie nejsou VRN uvedeny v rozpočtech, jelikož jsou kalkulovány individuálně a jejich výše se tedy nemění podle nákladů na svislé konstrukce. [43]

3.2.1.4. Vyjmutí z půdního fondu (vliv šířky konstrukcí na VRN)

Vyjmutí ze zemědělského půdního fondu (ZPF) je dle zákona Zákon č. 334/1992 Sb, Zákon České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu nutné, pokud jsou pozemky v katastru nemovitostí vedeny jako:

„...orná půda, chmelnice, vinice, zahrady, ovocné sady, trvalé travní porosty a půda, která byla a má být nadále zemědělsky obhospodařována, ale dočasně obdělávána není.“

Žádost podává na odbor životního prostředí příslušného úřadu s rozšířenou působností majitel pozemku na příslušném formuláři.

Výpočet ceny za vynětí 1 m² z půdního fondu se odvíjí od několika proměnných, které lze vyčíst z kolonky bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ) v katastru nemovitostí.

BPEJ je pětimístný kód ve tvaru například 2.02.00 (Tab. 11). První číslice BPEJ udává kód klimatického regionu, druhá a třetí (dvojčíslí) udává kód hlavní půdní jednotky, čtvrtá číslice definuje sklonitost a expozici, pátá číslice skeletovitost a hloubku půdy. Vynásobením bonity půdy a koeficientu třídy ochrany zjistíme cenu za 1 m². [48]

Cena za m² se může pohybovat od 1,15 Kč/m² po 19,79 Kč/m², a pro vyjmutí je násobena třídou ochrany 3, 4, 6, nebo 9×. Může se tedy vyšplhat až na 178,11 Kč/m². [48]

(11) Tabulka: Bonitovaná půdně ekologická jednotka [48, formátováno]

Označení kódu BPEJ	Pořadí číslice v kódu BPEJ		Rozsah hodnot
X.xx.xx	1.	kód klimatického regionu	0-9
x.XX.xx	2. a 3.	kód hlavní půdní jednotky	01-78
x.xx.Xx	4.	sdužený kód sklonitosti a expozice	0-9
x.xx.xX	5.	sdužený kód skeletovitosti a hloubky půdy	0-9

Při stavbě rodinného domu je vliv samotné šířky konstrukcí na náklady spojené s vyjmutím u půdního fondu zanedbatelný.

3.2.2. Náklady na provoz

Pořízení rodinného domu, který zároveň nevyužíváme k podnikání, představuje z ekonomického pohledu pasivum. Náklady vynaložené na energeticky efektivnější tepelnou obálku objektu mohou být přesto investicí, neboť mohou v horizontu několika let šetřit výdaje za udržení vnitřního prostředí.

Mezi náklady na provoz patří mmj. náklady energií (vytápění, elektřina, vodné a stočné), náklady na údržbu, likvidaci odpadu, daně, pojištění, aj. Většina výše uvedených jsou konstantní náklady, které se nemění bez ohledu na použité materiály obvodové konstrukce.

3.2.2.1. Životnost

Stavební objekty, stejně jako všechny ostatní předměty, mají omezenou dobu životnosti. Životnost stavebního objektu se liší podle účelu, použitých materiálů a společenské poptávky. Hovoříme o životnosti *morální* (předmět/stavba zastarává vzhledem ke společenským nárokům) *technické* (degradací materiálů, opotřebením) *ekonomické* (ekonomické náklady převyšují smysluplnost používání výrobku) a *právní* (životnost definovaná zákonnými mantinely).

Z hlediska této práce převyšuje životnost obytných staveb čas, do kterého považujeme návratnost investice za smysluplnou, zcela drtivě. [49]

3.2.2.2. Diskontovaná doba návratnosti, metodika

Diskontovaná doba návratnosti představuje časové období, za které se výdaje vložené do projektu vyrovnají s příjmy (v tomto případě s úsporou výdajů za provoz). Na rozdíl od prosté doby návratnosti počítá diskontovaná doba návratnosti s diskontovaným peněžním tokem. V případě běžné doby návratnosti bychom celkové výdaje za investici podělili výnosem (resp. uspořené náklady). V případě diskontované doby návratnosti počítáme se ztrátou z výnosu, neboť investované výdaje na investici bychom mohli investovat jinde. [50]

Rovnici pro výpočet diskontované doby návratnosti lze zapsat jako:

$$(XIII) \quad \sum_{t=1}^{T_{ds}} \frac{CF}{(1+r)^t} - IN = 0$$

Kde T_{ds} představuje diskontovanou dobu návratnosti; IN představuje výši investice (vstupní náklady); CF je roční výnos; r je diskont; $(1+r)^{-t}$ je odúročitel. [39] [50]

Diskontní míru pro energetické posudky v tomto případě stanovuje vyhláška č. 480/2012 Sb., Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku:

„Pro energetické posudky podle § 9a odst. 1 písm. e) zákona se stanovuje hodnota diskontního činitele ve výši 1,04.“ [39]

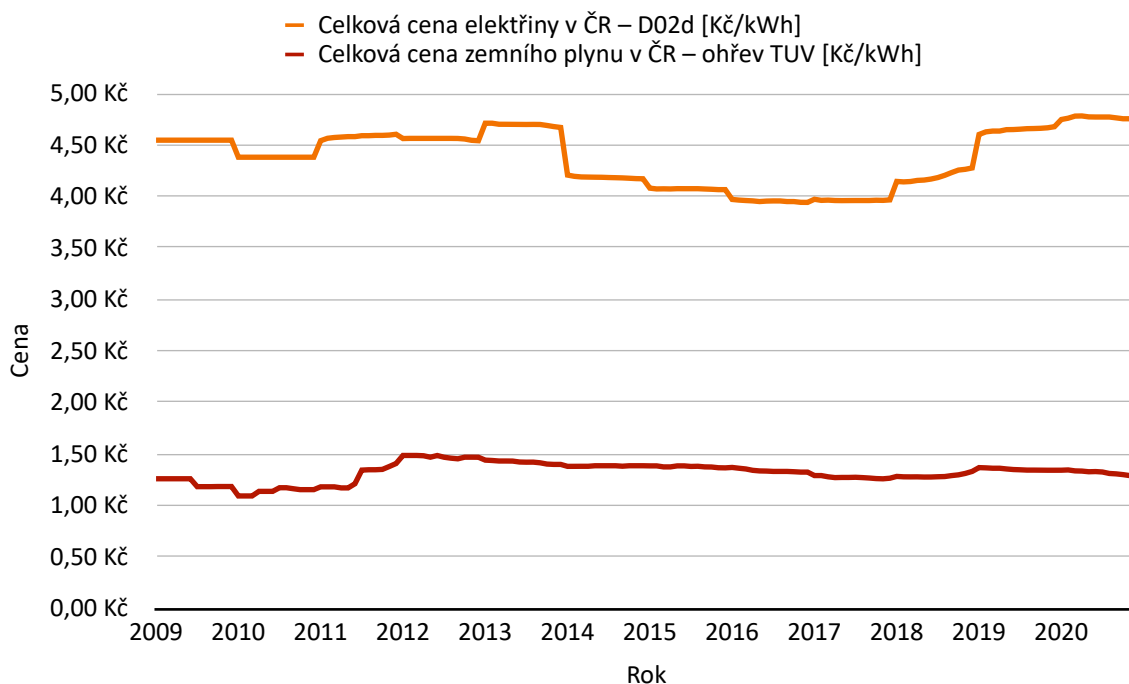
3.2.2.3. Ceny energií

Náklady na energie představují podstatnou část nákladů na provoz objektu. Pro potřeby této práce je relevantní zejména cena elektrické energie a plynu. Elektrická energie slouží jako bivalentní (pomocný) zdroj pro pokrytí výpadků tepelného čerpadla. Náklady ostatních energií zůstávají stejné bez ohledu na materiály svislých konstrukcí a do investorské rozvahy vstupují tedy pouze jako konstanty.

Níže je uveden graf vývoje (*Graf 5*) cen energií pro případovou studii – tj. celkové ceny elektřiny v tarifu D02d¹ a celkové ceny zemního plynu v pásnu pro ohřev TUV. [51] [52]

Z níže uvedeného grafu je patrný nárůst cen elektřiny od roku 2017 meziročně o cca 3 %, cena plynu se drží dlouhodobě stejná. To se projeví ve výpočtu diskontní sazbou 1,03 a 1,00.

¹ D02d označuje sazbu pro domácnosti se středním odběrem – jedná se o jednorázovou sazbu bez nízkého a vysokého tarifu (na rozdíl od D01d).

(5) Graf: Celková cena elektřiny a zemního plynu [51] [52]

Cena elektřiny se skládá z regulovaných a neregulovaných složek. Pravidelné výkyvy v ceně elektřiny jsou způsobeny každoroční změnou regulovaných složek Energetickým regulačním úřadem. [51]

Od roku 2010 došlo k výraznému nárůstu sazby regulované složky na PoZE (podporované zdroje energie) z 0,052 Kč/kWh v roce 2009 na 0,4950 Kč/kWh v roce 2014. Od roku 2014 je pak cena této regulované složky konstantní 0,04950 Kč/kWh. [51]

3.2.2.4. Daň z nemovitosti (vliv šířky konstrukcí na náklady na provoz)

Daň z nemovitosti je upravena zákonem č. 338/1992 Sb., Zákon České národní rady o dani z nemovitých věcí. Povinnost podat na finanční úřad přiznání má každý, kdo v předchozím kalendářním roce nabyt do svého vlastnictví pozemek, zdanitelnou stavbu nebo bytovou či nebytovou jednotku.

Základem daně je v případě RD zastavěná plocha, v případě bytových jednotek pak podlahová plocha přenásobená koeficientem. Základ daně následně vynásobíme příslušnou sazbou, pro RD 6 Kč/m², sazba daně se dále zvedá o 0,75 Kč za každé podlaží, které zaujímá více než 2/3 zastavěné plochy. Výsledek se pak násobí koeficienty obce, které může usnesením obecního úřadu obec zvýšit o 1 nebo snížit o 3 kategorie. Obce mohou také stanovit místní koeficient. Od zastavěné plochy se odvíjí plocha zahrady, která též podléhá dani. [53]

Z hlediska výše daně z nemovitosti hraje rozdíl tloušťky konstrukcí teoreticky zvětšující zastavěnou plochu zcela zanedbatelnou roli a nevstupuje mezi proměnné do výpočtu návratnosti investice.

3.3. Ekonomické hodnocení

Stejně jako environmentální hodnocení konstrukcí se i ekonomické hodnocení skládá ze dvou částí. Výpočtu nákladů na výstavbu a dlouhodobých nákladů na provoz domu s použitým konstrukčním řešením.

Do těchto nákladů (Obr. 5) není nutné kalkulovat náklady, které se neliší bez ohledu na použitou variantu konstrukce. Příkladem mohou být náklady na umístění stavby.

(5) Obr: Náklady hodnocené v této práci¹



3.3.1. Metodika výpočtu nákladů výstavby (NV)

Většina nákladů na pořízení stavby je pro všechny varianty konstrukcí stejná. Náklady (NV) na výstavbu jednotlivých variant svislých konstrukcí byly zkalkulovány v rozpočtovém softwaru KROS 4.

3.3.2. Metodika výp. kumulativních nákladů za 20 let (N20)

Stejně jako v případě nákladů na výstavbu jsou i v případě nákladů na provoz kalkulovány pouze položky, které jsou na základě různých variant konstrukčních řešení rozdílné. V tomto případě jde o rozdíl nákladů za energie. V případě elektrické energie počítáme s růstem cen meziročně o 3 %. Růst cen zemního plynu uvažujeme nulový.

Stejně jako pro environmentální dopad, i zde kalkuluje náklady v horizontu 20 let (N20). Celkové náklady vynaložené za energie za 20 let lze vyjádřit vzorcem:

$$(XIV) \quad \sum_{t=0}^{19} E_{D02d,t} \times D02d \times (1+r)^t + E_{TUV,t} \times TUV \times (1+r)^t$$

Kde E_{D02d} představuje elektrickou energii v kWh za rok; $D02d$ je cena za 1 kWh elektrické energie v tarifu $D02d$ s počáteční hodnotou pro $t_0=4,5$ Kč (proto pro 20 let N20 $t=19$); r představuje procentuální meziroční nárůst cen energií; $(1+r)^t$ je úročitel; E_{TUV} představuje energii zemního plynu v kWh pro ohřev teplé vody; TUV je cena za 1 kWh zemního plynu pro $t_0=1,7$ Kč.

¹ Náklady jsou kalkulovány pouze pro položky, které se liší pro jednotlivé konstrukce.

4. Poměr mezi environmentálními dopady a ekonomii výstavby (X)

Vztah mezi náklady na výstavbu, případně provoz a environmentálními dopady výstavby a provozu je důležitým východiskem této práce. Vzhledem k povaze metodiky výpočtu environmentálních dopadů a povaze metodiky hodnocení nákladů není možné pouze podělit celkový vážený skór vynaloženými náklady. Neboť čím vyšší skór, tím větší dopad na životní prostředí, a čím vyšší náklady, tím větší ekonomický dopad na investora.

Při posuzování poměru poměru mezi náklady a environmentálními dopady jsou proto náklady děleny obrácenou hodnotou váženého skóru. Výsledkem je poměr X . Čím nižší X , tím lépe. Níže je uveden výpočet pro poměr X po výstavbě a pro poměr X po 20 letech provozu.

$$(XV) \quad X V = N V \div \left(\frac{1}{V S V} \right) \times 10^{-9}$$

$$(XVI) \quad X 20 = N 20 \div \left(\frac{1}{V S 20} \right) \times 10^{-10}$$

Kde X představuje poměr mezi náklady a environmentálním dopadem; N představuje výši nákladů; $V S$ vážený skór z environmentálního výpočtu. Výsledek je násoben 10^{-9} , resp. 10^{-10} pro výsledky v přijatelnějších hodnotách.

5. Případová studie

Výsledky teoretických výpočtů této práce jsou aplikovány na konkrétní realizaci rodinného domu.

5.1. Popis objektu

Objekt, na jehož návrhu jsem se podílel, se nachází v obci Buková Lhota nedaleko Statutárního města Benešov. Jedná se o částečně zastavěné území, u kterého se předpokládá další stavební rozvoj v podobě rodinných domů.

5.1.1. Umístění a tvar

Záměrem investora (stavebníka) byla výstavba rodinného domu o velikosti dispozice 5+kk typu bungalov, zastřešeného sedlovou střechou. Návrh zapadá do současného charakteru místní zástavby. Objekt s půdorysnými rozměry 16×12,85 m je zastřešen střechou se sklonem 23° s přesahy krovu po stranách 0,5 m a 0,75 m ve štítech. Výška hřebene střechy je 6,065 m a úroveň podlahy je 0,2 m nad úroveň upraveného terénu.

Zastavěná plocha:	206,24 m ²
Obestavěný prostor:	1022,983 m ³ (ve smyslu vyhlášky č. 3/2008 Sb.)
Energeticky vztažená plocha:	195,9 m ²
Počet bytů (velikost):	1 (5+kk)
Počet uživatelů:	4
Sklon střechy:	23°
Výška hřebene od UT:	6,065 m

Objekt je umístěn v jižní části pozemku. Přístup na pozemek je zajištěn na jižní straně z komunikace propojující centrum obce s komunikací mezi Benešovem a Týncem nad Sázavou. Dle požadavku investora není objekt navržen v souladu s vyhláškou číslo 398/2009 Sb., o obecných technických požadavcích zabezpečujících bezbariérové užívání staveb.

5.1.2. Dispoziční a provozní řešení

Objekt RD (Obr. 6) je navržen jako jednopodlažní s přístupem z jižní strany a pobytovým prostorem na severní straně pozemku. Toto základní rozvržení je vynuceno S-J orientací pozemku s přístupem z jihu a věcným břemenem umístění a provozování elektrorozvodného zařízení v severní části pozemku. Tyto faktory neumožňují lepší umístění objektu na parcele.

(6) Obr: 1NP, případová studie, 1:100



Objekt je navržen podle dominantní S-J osy od vstupu (1.01) po venkovní pobytový prostor. Tuto osu protíná krátká příčná osa chodby (1.05), která slouží především pro vstup do dvou dětských pokojů umístěných na jižní, respektive jihovýchodní straně domu (1.03, 1.04). Na jihozápadní straně nalezneme také pracovnu. (1.02)

Obývací pokoj společný s jídelnou a kuchyní s linkou ve tvaru U (1.11) je situován v severozápadní části objektu a má vzdálenou vazbu na ložnici rodičů (1.12) a technickou místnost. (1.10).

Objekt je vybaven dvěma koupelnami – jednou přístupnou z chodby u pokojů dětí (1.07) a druhou s přímou vazbou na ložnici rodičů. Tato koupelna slouží zároveň jako

toaleta (1.14). Dům je také vybaven samostatnou toaletou (1.08), sezónní šatnou (1.06), spíží (1.09) a průchozí šatnou u ložnice rodičů (1.13).

Venkovní pobytový prostor má přímou vazbu na obývací pokoj a ložnici rodičů. Venkovní přístup je zajištěn také z technické místnosti.

5.1.3. Konstrukční a materiálové řešení

Rodinný dům je řešen jako zděný objekt ze zdiva YTONG. Jako obvodové nosné zdivo budou použity tvárnice YTONG Universal P3-450 v tl. 300 mm na cementovou maltu. První řada tvárnic bude vyzděna z YTONG Start P4-550 v tl. 300 mm. Vnitřní nosné zdivo je tvořeno z tvárnic YTONG Statik v tl. 250 mm na cementovou maltu.

Celý objekt bude zateplen kontaktním zateplovacím systémem. Na fasádách bude použita minerální tepelná izolace tl. 200 mm ROCKWOOL Frontrock Max E. Zateplení konstrukce stropu bude provedeno z tepelné izolace EPS 70F. Do výšky soklu bude použit nenásákový zateplovací systém XPS tl. 200 mm.

Konstrukce krovu je navržena jako dřevěná kroevní soustava, tvořená třemi plnými vazbami, štítovými stěnami a čtyřmi prázdnými vazbami. Střešní krytina je navržena z betonových tašek systému BRAMAC, konkrétně taška BRAMAC MAX. Odvětrání střechy a prostupy střechou budou provedeny dle technologických doporučení firmy BRAMAC.

V objektu jsou navrženy podhledy – a to kvůli estetickému zakrytí stropní konstrukce a možnosti uložení tepelné stropní izolace. Podhledy jsou rovné. V hygienických místnostech bude zavěšen SDK podhled proti vlhkosti. Podhledy budou umístěny ve výšce 2,600 mm.

Stavba je založena na základových pasech. Na betonových pasech a ztuhnutém zemním podsypu bude uložen podkladní beton C16/20 v tloušťce 0,1 m vyztužený ocelovou KARI sítí a s parozábranou pod spodní hranou desky.

5.1.4. Technická a technologická zařízení

Kanalizace je navržena jako oddílná. V oblasti navrhovaného rodinného domu není veřejná kanalizační síť. Odvod splaškové kanalizace bude zajištěn do stávající jímky o objemu 8 m³ na dané parcele. Dešťová voda bude odváděna z objektu do zadržovací retenční nádrže a dále vsakována či zpětně využívána pro závlahu na pozemku.

Potrubí studené vody je vedeno vodovodní přípojkou od stávající vrtané studně do objektu, kde je v technické místnosti umístěna vodoměrná soustava a hlavní uzávěr vody. Dále potrubí pokračuje do elektrického akumulčního zásobníku umístěného v technické místnosti. Potrubí teplé vody vede od elektrického ohřevu vody souběžně s vedením potrubí pro studenou vodu a cirkulaci k jednotlivým zařizovacím předmětům. Cirkulační potrubí slouží k oběhu teplé vody rovnoměrně do všech místností.

Veškerá vnitřní elektroinstalace rodinného domu bude napojena z rozvaděče, který bude umístěn u hlavního vstupu do objektu.

V objektu je navrženo převážně teplovodní podlahové vytápění v kombinaci s otopnými tělesy v koupelnách. Zdrojem tepla je tepelné čerpadlo vzduch-voda umístěné na východní straně objektu v sestavě s akumulčním zásobníkem TUV umístěným v technické místnosti.

Bivalentním zdrojem pro otopnou soustavu je elektrokotel. Plynový kotel na zemní plyn slouží jako pomocný dohřev zásobníku TUV.

Dům je také vybaven fotovoltaickým systémem o celkové ploše 24 m² s ročním výrobním potenciálem 2,3 MWh.

5.2. Výkresová dokumentace

Součástí práce je také výkresová dokumentace objektu nezbytná pro teoretickou část práce. Dokumentace je zpracována do úrovně stavebního povolení a je vedena jako příloha práce.

Obsah přiložené projektové dokumentace (viz přílohy)

- Situace
- Výkres základů
- Půdorys 1NP
- Řez A-A'
- Řez B-B'
- Pohledy

5.3. Environmentální posouzení objektu

Pro všechny varianty svislých obvodových konstrukcí byl na základě EPD výrobců zpracován tzv. environmentální profil konstrukcí. Environmentální profil konstrukcí představuje součet ekologické zátěže všech vrstev konstrukce v běžném metru čtverečním konstrukce.

5.4. Energetické posouzení objektu

Energetické posouzení objektu je součástí průkazu energetické náročnosti budovy (PENB), který je zpracován pro všechny níže uvedené varianty konstrukcí v programu Energie 2020.

Objekt byl do programu Energie 2020 vložen jako dvouzónový: vytápěná zóna (označená jako *RD*), s návrhovou vnitřní teplotou pro vytápění 20°C a energeticky vztažnou plochou 195,9 m², a nevytápěná zóna (označená jako *Podkroví*).

Energonositely jsou energie okolního prostředí jímaná s použitím tepelného čerpadla vzduch-voda, elektřina dodávaná ze sítě a zemní plyn sloužící pro dohřev TUV. Energie z fotovoltaického systému je přednostně použita na svícení, následně vytápění.

5.5. Rozpočet

Pro všechny varianty svislých obvodových konstrukcí byl na základě jejich skladby a přiložené výkresové dokumentace vypracován výkaz výměr, který slouží jako podklad pro položkový rozpočet v programu KROS 4, vyhotovený pro každou skladbu samostatně.

5.6. Výkaz výměr

Pokladem pro výkaz výměr je projektová dokumentace stavebního objektu. Přesnost výkazu se tedy odvíjí od detailu zpracování dokumentace. Níže uvedený výkaz výměr zahrnuje pouze informace k svislým konstrukcím rodinného domu.¹ VV ostatních variant konstrukcí jsou uvedeny v přílohách této práce (15.5. Výkazy výměr)

A. Stěny vnější	délka [m]	výška [m]	základní šířka [m]	otvory [m ²]	m ²	m ³
Severní stěna 1	7,200	2,985	0,300	4,300	17,192	5,158
Severní stěna 2	5,450	2,985	0,300	8,400	7,868	2,360
Východní stěna	15,350	2,985	0,300	4,900	40,920	12,276
Západní stěna 1	1,750	2,985	0,300	2,300	2,924	0,877
Jižní stěna	12,160	2,985	0,300	12,450	23,848	7,154
Západní stěna 2	13,050	2,985	0,300	8,620	30,334	9,100
Štítů	24,9	2,970	0,200	0,000	73,953	7,395 ¹
Σ	54,960			40,970	123,086	36,926 ²
					238,009 ³	

¹ Plocha štítů = délka × výška / 2

² Uvedeno bez štítů

³ Celková vnější plocha budovy [m²]

B. Stěny vnitřní	délka [m]	výška [m]	základní šířka [m]	otvory [m ²]	m ²	m ³
1. svislá	2,225	2,655	0,125	1,576	5,907	0,541
2. svislá	10,775	2,655	0,125	0,000	28,608	3,576
3. svislá	5,100	2,655	0,125	0,000	13,541	1,693
4. svislá (250!)	7,225	2,655	0,250	0,000	19,182	4,796
5. svislá	5,350	2,655	0,125	3,152	14,204	1,382
1. vodorovná	6,575	2,655	0,125	2,955	17,457	1,813
2. vodorovná	4,090	2,655	0,125	1,576	10,859	1,160
3. vodorovná	6,575	2,655	0,125	0,000	17,457	2,182
4. vodorovná	9,575	2,655	0,125	2,955	25,422	2,808
5. vodorovná	10,155	2,655	0,125	3,152	26,962	2,976
6. vodorovná	1,9	2,655	0,125	1,576	5,045	0,434
Σ	62,320			16,942	165,460	18,565 ¹

¹ Do součtů není započítána 4. svislá z jiného zdva

C. Startovací tvár.	délka [m]	výška [m]	základní šířka [m]	m ²	m ³
Severní stěna 1	7,200	0,125	0,300	0,900	0,270
Severní stěna 2	5,450	0,125	0,300	0,681	0,204
Východní stěna	15,350	0,125	0,300	1,919	0,576
Západní stěna 1	1,750	0,125	0,300	0,219	0,066
Jižní stěna	12,160	0,125	0,300	1,520	0,456
Západní stěna 2	13,050	0,125	0,300	1,631	0,489
Σ	54,960			6,870	2,061

D. Ztužující věnce	délka [m]	výška [m]	základní šířka [m]	m ³
Σ	54,960	0,200	0,200	2,198

E. Bednění věnců	délka [m]	výška [m]	počet stran	m ²
Σ	53,160	0,200	2,000	21,264 ¹

¹ Délka vnějších věnců mínus 6 × 0,3

F. Zakl. lišty ETICS	obvod [m]	otvory [m]	m
Σ	82,600	10,000	72,600

¹ Tabulky výkazu výměr jsou samostatně číslované označením A-L. Rozpočet vypracovaný ve stavebním softwaru KROS 4 odkazuje na příslušné tabulky v poznámce položky.

G. Tab. míst	místnost	pl. [m ²]	obv. míst. [m]	pl. stěn [m ²]	otvory [m ²]	pl. omítek [m ²]	¹
1.01	Zádveří	4,570	8,700	22,620	4,656	17,964	
1.02	Pracovna	11,850	14,650	38,090	5,496	32,594	
1.03	Pokoj 1	13,250	14,630	38,038	4,236	33,802	
1.04	Pokoj 2	13,250	14,630	38,038	4,236	33,802	
1.05	Chodba	8,940	17,220	44,772	12,411	32,361	
1.06	Šatna	5,270	10,100	26,260	1,576	24,684	
1.07	Koupelna	8,780	12,750	33,150	2,656	30,494	7,544 ¹
1.08	WC	2,300	6,310	16,406	1,379	15,027	3,669 ¹
1.09	Spíž	3,040	7,200	18,720	1,379	17,341	
1.10	Tech. m.	9,950	14,100	36,660	1,576	35,084	
1.11	OP + KK	50,040	32,450	84,370	18,657	65,713	
1.12	Ložnice	12,000	13,700	35,620	5,266	30,354	
1.13	Šatna	8,300	11,550	30,030	3,359	26,671	
1.14	Koupelna	7,110	12,260	31,876	2,459	29,417	7,349 ¹
Σ		158,650		494,650	69,342	425,3	368,9

¹ Do rozpočtu jsou počítány pouze vnější stěny

² Omítka od 1800 mm

H. Výkaz oken	O1	O2	O3	O4	O5	O6	OF1	OF2		
šířka [mm]	1900	900	1900	1700	900	3400	900	900		
výška [mm]	1400	1400	900	1300	1200	2300	2200	2200		
šířka otvoru [mm]	2000	1000	2000	1800	1000	3500	1000	1000	pl. [m ²]	pl. ot. [m ²]
výška otvoru [mm]	1500	1500	1000	1400	1300	2400	2300	2300		
plocha	2,660	1,260	1,710	2,210	1,080	7,820	1,980	1,980		
plocha otvoru	3,000	1,500	2,000	2,520	1,300	8,400	2,300	2,300		
Severní stěna 1			1				1		3,690	4,300
Severní stěna 2						1			7,820	8,400
Východní stěna					2		1		4,140	4,900
Západní stěna 1							1		1,980	2,300
Jižní stěna	3								7,980	9,000
Západní stěna 2		1		1				2	7,430	8,620
Štít									0,000	0,000
Σ ks	3	1	1	1	2	1	3	2	14	
Σ pl. [m²]	7,98	1,26	1,71	2,21	2,16	7,82	5,94	3,96	33,040	
Σ pl. ot. [m²]	9	1,5	2	2,52	2,6	8,4	6,9	4,6		37,520
Σ obvod [m]	21	5	6	6,4	9,2	8,3	16,8	11,2	83,900	¹

¹ Obvod špalety = 2× ostění + 1× nadpraží + 1× parapet, vyjma O6, OF1, OF2

I. Tepelná izolace	délka [m]	otvory [m ²]	výška T.I. [m]	výška xps [m]
Severní stěna 1	7,700	4,300		
Severní stěna 2	5,150	8,400		
Východní stěna	15,350	4,900		
Západní stěna 1	2,000	2,300	2,900	1,510
Jižní stěna	12,850	12,450		
Západní stěna 2	13,850	8,620		
Štíty	25,7	0,000	2,970	0,000 ¹
Plocha [m²]	82,600	40,970	203,175	85,919
Plocha - ot. [m²]			162,205	81,269 ^{2,3}

¹ Plocha štítu = délka × výška/2

² Plocha T.I. [m²] - plocha otvorů [m²]

³ Plocha xps [m²] - plocha otvorů, která zasahuje do XPS (Vs, O6, OF1, OF2) [m²]

J. Omítka vnější	délka [m]	otvory [m ²]	výška [m]
Severní stěna 1	7,700	3,690	
Severní stěna 2	5,150	7,820	
Východní stěna	15,350	4,140	2,935
Západní stěna 1	2,000	1,980	
Jižní stěna	12,850	11,060	
Západní stěna 2	13,850	7,430	
Štíty	25,7	0,000	2,970 ¹
Plocha [m²]	82,600	36,120	205,166
Plocha - ot. [m²]			169,046 ²

¹ Plocha štítu = délka × výška/2

² Plocha T.I. [m²] - plocha otvorů [m²]

K. Výkaz dveří	1P	1L	2P	Vs		
šířka [mm]	800	800	700	1400		
výška [mm]	1970	1970	1970	2200		
šířka otvoru [mm]	900	900	800	1500	pl. [m ²]	pl. ot. [m ²]
výška otvoru [mm]	2100	2100	2100	2300		
plocha	1,576	1,576	1,379	3,08		
plocha otvoru	1,890	1,890	1,680	3,450		
1. svislá		1			1,576	1,890 ¹
2. svislá					0,000	0,000
3. svislá					0,000	0,000
4. svislá					0,000	0,000
5. svislá		2			3,152	3,780
1. vodorovná		1	1		2,955	3,570 ²
2. vodorovná		1			1,576	1,890
3. vodorovná					0,000	0,000
4. vodorovná	1		1		2,955	3,570
5. vodorovná	1	1			3,152	3,780
6 vodorovná		1			1,576	1,890
Jižní stěna				1	3,080	3,450
Σ ks	2	7	2	1	12	
Σ pl. [m ²]	3,152	11,032	2,758	3,08	20,022	
Σ pl. otvoru [m ²]	3,78	13,23	3,36	3,45		23,820
Σ obvod [m]	9,48	33,18	9,28	5,8	57,740	³

¹ První svislá stěna na výkresu D.1.1.03 zprava

² První vodorovná stěna na výkresu D.1.1.03 zhora

³ Obvod špalety = 2× ostění + 1× nadpraží

L.a. Překlady vnitřní	délka [m]	výška [m]	šířka [m]	ks	ks ot.	m ² ot.	m ³
PŘ1	1,250	0,250	0,125	12,000	12,000	3,750	0,469
Σ				12,000			0,469

L.b. Překlady vnější	délka [m]	výška [m]	šířka [m]	ks	ks ot.	m ² ot.	m ³
PŘ2	1,500	0,250	0,150	16,000	8,000	3,000	0,900
PŘ3	2,500	0,250	0,150	10,000	5,000	3,125	0,938
PŘ4	2,000	0,250	0,150	2,000	1,000	0,500	0,150
Σ	26,500			28,000	14,000	6,625	1,988 ¹

¹ Celková délka je přepočítána dle počtu kusů otvorů, tj. 1/2 ks. (viz PD)

L.c. Překlady misc.	délka [m]	výška [m]	šířka [m]	ks	ks ot.	m ² ot.	m ³
PŘ5	4,000	0,250	0,300	1,000	1,000	1,000	0,300
PŘ6	6,000	0,250	0,300	2,000	1,000	1,500	0,900
Σ	10,000			3,000		2,500	1,200 ^{1,2}

¹ Celková délka je přepočítána dle počtu kusů otvorů, tj. 1/2 ks. (viz PD)

6. Skladby konstrukcí

Současná nabídka konstrukčních řešení pro rodinné domy pokrývá celou řadu materiálových a technických řešení, stejně jako celou řadu zateplovacích systémů.

Pro vypracování diplomové práce bylo nutné sestavit několik typických skladeb obvodových konstrukcí. Byly zvoleny skladby běžně používané, doporučené konkrétními výrobci stavebních materiálů, a to tak, aby byly splněny normové požadavky na teplotní faktor, součinitel prostupu tepla, kondenzaci vodní páry a roční odpar kondenzátu.

Při sestavování skladeb byly použity mmj. následující dokumenty.

- 1 BAUMIT, s. s. r. o., *Doporučené omítkové systémy Baumit na cihelné zdivo Porotherm*. [online] 2019. 3. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://baumit.cz/files/cz/Prospekty/Spoluprace_s_partnery/Porotherm/Baumit_IS_Wienerberger_07_2019.pdf.
- 2 HAZUCHA, J., *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: Doporučení pro návrh a stavbu*. 1. vyd. Praha: Grada. 2016. ISBN: ISBN 978-80-247-4551-0.
- 3 ROCKWOOL, a. s., *Frontrock Max E: technický list*. [online] 1. [cit. 26.10.2020] Dostupné z: <https://www.woodcote.cz/sites/default/files/2019-01/Technický%20list.pdf>.
- 4 SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Weberpas extraClean active: technický list*. [online] [cit. 26.9.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-03/weberpas_extraClean_active_TL.pdf.
- 5 SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Webertmel 700: technický list*. [online] 2. [cit. 26.10.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-03/webertmel_700_TL.pdf.
- 6 SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Fasádní zateplovací systémy: Čedičová vlna | Skelná vlna | EPS | XPS*. [online] 27. [cit. 3.9.2020] Dostupné z: https://www.isover.cz/sites/isover.cz/files/assets/documents/prospekt_fasady_7-2020_0.pdf.
- 7 SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Webertherm elastik: technický list*. [online] [cit. 26.9.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-03/webertherm_elastik_TL.pdf.
- 8 SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Webermix T: technický list*. [online] [cit. 26.9.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-04/webermix_T_TL.pdf.

- 9 WIENERBERGER, s. r. o., *Porotherm 30 Profi: technický list*. [online] 2. [cit. 20.10.2020] Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_30_Profi.pdf.
- 10 WIENERBERGER, s. r. o., *Porotherm 50 T Profi: technický list*. [online] 2. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_50_T_Profi.pdf.
- 11 XELLA CZ, s. r. o., *Doporučené omítkové systémy na zdivo Ytong*. [online] 2020. 31. [cit. 21.10.2020] Dostupné z: <https://www.ytong.cz/cs/docs/doporucene-omitkove-systemy-na-zdivo-ytong-a-silka.pdf>.

6.1. Typy obvodových konstrukcí dle tepelné setrvačnosti

Obvodové konstrukce budov dělíme z hlediska tepelné setrvačnosti na tzv. lehké a těžké konstrukce. Lehké konstrukce (tzn. s nízkou tepelnou setrvačností) jsou konstrukce s plošnou hmotností vrstev nižší než 100 kg/m². Analogicky těžké konstrukce (tzn. s vysokou tepelnou setrvačností) jsou konstrukce s plošnou hmotností vrstev větší než 100 kg/m². Současné znění normy ČSN 73 0540 – 2:2011 požaduje stejný součinitel prostupu tepla jak pro těžké, tak lehké stěny – shodně na 0,30 W/(m².K). [54]

Váha souvrství konstrukce se na nákladech investora projevuje především zvýšenou cenou za dopravu. Ta nezbytně závisí na vzdálenosti, kterou není možné pro jednotlivé vrstvy konstrukce určit. Pro potřeby této práce jsou náklady na dopravu *zanedbány*.

Přesun hmot, který také závisí na hmotnosti materiálu, je pro všechny níže uvedené varianty zahrnut v podrobném rozpočtu vyhotoveném ve stavebním softwaru KROS 4, který hmotnost materiálu zohledňuje.

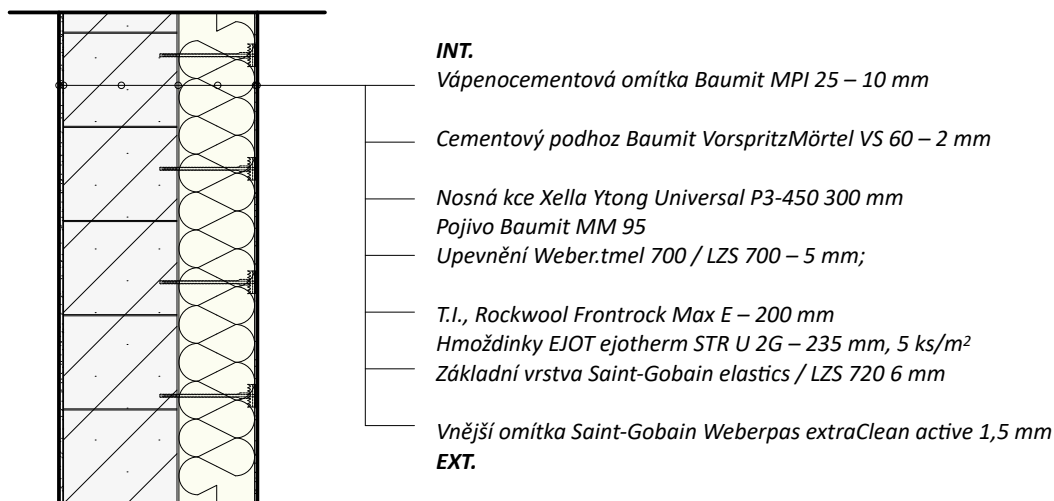
6.2. ETICS

ETICS je zkratkou pro External thermal insulation composite system, tedy tzv. vnější tepelně izolační kompozitní systém. Nosnou částí souvrství může být konstrukce zděná z cihel, tvárnic nebo bloků, monolitická z betonových dílců, kovová nebo dřevěná, která je kontaktně připojena s vrstvou tepelné izolace. Tepelná izolace v ETICS slouží následně jako nosná část pro vnější povrchové vrstvy. [55] [56]

Kontaktní zateplovací systémy jsou stále nejpoužívanějším způsobem zateplení rodinných domů, především pro jednoduchost výstavby. Výrobci tepelných izolací vydávají ke svým produktům podrobné technické listy, které umožňují instalaci zateplovacího systému i při stavbě svépomocí. Při dodržení technických postupů a s použitím návrhu, který nekomplikuje stavbu složitými detaily, je realizace bez většího rizika.

6.2.1. Varianta K1 (Původní varianta; Ytong, Rockwool)

(7) Obr: Varianta K1, 1:20



Varianta č.1 je v základních vrstvách shodná s původní variantou návrhu, jakou následně zvolil stavebník objektu. Tato varianta je tedy také považována za referenční a všechny procentuální odchylky jsou odvozovány od vlastností této konstrukce.

Vnější omítku tvoří tenkovrstvá silikon-silikátová omítka Weberpas extraClean active vyrobená společností Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., divize Weber. Omítka se nanáší na podklad nerezovým hladítkem na sílu vrstvy danou velikostí zrna.⁽¹⁾ Při 1,5 mm je spotřeba 2,5 kg/m. Měrná jednotka (MJ) environmentálních kritérií je v případě Weberpas extraClean active 1 m² při 2,5 kg/m – z tohoto údaje jsou dopočítány další hodnoty.⁽²⁾

Základní vrstvu pro omítku Weberpas extraClean active tvoří jednosložková prášková lepicí a stěrková hmota na bázi cementu Weber.therm elastik / LZS 720. Spotřeba pro základní vrstvu na deskách minerální vlny je 5 až 6 kg/m².⁽²¹⁾ MJ environmentálních kritérií je v tomto případě 1 kg suché směsi.⁽⁴⁾ Základní vrstvu je pro zvýšení přilnavosti a probarvení vhodné připravit penetračním nátěrem Weberpas podklad UNI a doplnit o armovací sklovláknitou tkaninu (není součástí výpočtu environmentálního dopadu).

Tepelnou izolaci zajišťují desky z kamenné vlny Rockwool Frontrock Max E o rozměrech 1000 × 600 mm a šířce 200 mm určené pro stavebně tepelné, protipožární a akustické izolace ve vnějších kontaktních zateplovacích systémech (ETICS), s mechanickým kotvením a doplňkovým lepením.⁽⁵⁾ MJ environmentálních kritérií je 1 m² kamenné vlny o tloušťce 39 mm a objemové hmotnosti 28 kg/m³. Hodnotu je zapotřebí vynásobit koeficientem 2,9 pro Rockwool Frontrock Max E a jednotlivá environmentální kritéria také přepočítat na 200 mm šířky. Výslednou rovnici lze zapsat takto:

$$(XVII) [MJ/mb^2] \quad Q(x) = \frac{Q_{ref} \times k}{h_{ref} \times x}$$

Kde P je požadované environmentální kritérium; P_{ref} je environmentální kritérium referenčního materiálu Rockwool; k je příslušný násobící koeficient (v případě Rockwool Frontrock Max E = 2,9); h_{ref} je šířka referenčního materiálu Rockwool [mm; 39 mm]; x je šířka požadované izolace [mm; 200 mm].⁽⁶⁾ Součinitel tepelné vodivosti $\lambda=0,036$ W/m×K⁽⁵⁾ je výpočtově redukován bodovým činitelem prostupu tepla kotvicích prvků $\chi=0,00,1$ W/K⁽²²⁾ na výslednou hodnotu $\lambda=0,038$ W/m×K.⁽¹⁴⁾

Toto mechanické kotvení tepelné izolace je zajištěno pomocí talířových hmoždinek s kovovým šroubem EJOT ejotharm STR U 2G délky 235 mm v počtu 5 ks/m², s bodovým součinitelem prostupu tepla $\chi=0,001$ W/K.^{(22), (23)} Měrná jednotka environmentálních kritérií je 1 ks průměrného kotevního systému ETICS EJOT délky 195 mm a váhy 33,5 g/ks.⁽²⁴⁾ Pro zjištění environmentálních parametrů na m² kce je zapotřebí přepočítat referenční hodnoty na použitý počet kusů a jejich váhu, resp. délku. Výslednou rovnici pro jednotlivá environmentální kritéria lze zapsat takto:

$$(XVIII) [MJ/bm^2] \quad Q(x) = \frac{m_{ref} \times 10^{-3}}{l_{ref}} \times l_x \times x \cdot \frac{10^3}{m_{ref}} \times P_{ref}$$

Po úpravě:

$$(XIV) [MJ/bm^2] \quad Q(x) = l_{ref}^{-1} \times l_x \times x \times P_{ref}$$

Kde l_{ref} je délka referenčních talířových hmoždinek [mm; 195 mm]; l_x je délka použitých talířových hmoždinek [mm; 235 mm]; x je počet hmoždinek na m² konstrukce [ks; 5 ks]; a P_{ref} je hodnota environmentálního kritéria z EPD EJOT pro 1 ks referenčních talířových hmoždinek.

Lepení je zajištěno pomocí jednosložkové práškové lepicí a stěrkové hmoty na bázi cementu webertmel 700 / LZS 700. Spotřeba pro lepení izolačních desek z minerální vlny je 5 kg/m².⁽²⁾ Součinitel tepelné vodivosti λ je udáván 0,8 W/m×K.⁽¹⁴⁾ MJ environmentálních kritérií je v tomto případě 1 kg suché směsi.⁽⁴⁾

Nosná konstrukce je navržena z pórobetonových tvárnic Xella Ytong Universal P3-450 o průměrné objemové hmotnosti 450 kg/m³, šířky 300 mm, kladených na vápenocementovou zdící maltu.⁽¹⁰⁾ Měrná jednotka environmentálních kritérií tvárnic Ytong je vztažena na 1 m³ běžných nevyztužených pórobetonových prvků Ytong s průměrnou objemovou hmotností 423 kg/m³ vyráběných v závodech organizace Xella CZ, s.r.o, a je nutné ji tedy přepočítat na objemovou hmotnost použitých prvků.⁽¹¹⁾

Použitá vápenocementová zdící malta je Baumit MauerMörtel MM 95. Spotřeba zdící malty pro tvárnice Ytong odpovídá 12,5 kg/m³.⁽⁹⁾ Rakouská společnost Baumit nemá pro vápenocementové malty (např. MM 50 tj. ekv. MM 95) zpracovanou EPD, a je tedy nutné vycházet z německých podkladů.⁽⁷⁾ Měrná jednotka environmentálních kritérií v UMWELT-PRODUKTDEKLARATION pro Mauermörtel und Normalmauermörtel je 1 kg výrobku.⁽⁸⁾

Vnitřní vrstvu tvoří nejprve 2 mm tzv. cementového podhozu Baumit VorspritzMörtel VS 60 mm se součinitelem tepelné vodivosti λ 0,82 W/m×K a měrnou jednotkou environmentálních kritérií 1 kg výrobku.⁽³²⁾⁽³³⁾⁽³⁴⁾ Konečnou vrstvou je vápenocementová strojově zpracovatelná omítka Baumit MPI 25 tloušťky 10 mm.⁽²⁹⁾ Spotřeba odpovídá 1,41 kg/m²/mm.⁽²⁹⁾ Měrná jednotka environmentálních kritérií je 1 kg výrobku.⁽³⁰⁾

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU PODLE KRITÉRIÍ CSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: K1

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20.0 C
 Prevažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20.0 C
 Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -15.0 C
 Teplota na vnější straně T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.6 C
 Relativní vlhkost v interiéru RH_i: 50.0 % (+5.0%)

Skladba konstrukce

Císlo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Baumit MPI 25	0.010	0.820	25.0
2	Baumit přednástřík 2 mm (VorSp	0.002	0.820	22.0
3	Ytong Universal P3-450	0.300	0.116	7.0
4	weber.tmel 700 - lepicí a stěr	0.005	0.800	20.0
5	Rockwool Frontrock MAX E	0.200	0.038	2.0
6	weber.therm elastik - lepicí a	0.006	0.800	20.0
7	weber.pas extraClean samočistí	0.0015	0.800	20.0

I. Požadavek na teplotní faktor (cl. 5.1 v CSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0.747$
 Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0.969$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnost plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (cl. 5.2 v CSN 730540-2)

Požadavek: $U_N = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Vypočtená hodnota: $U = 0.124 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U_N$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (cl. 6.1 a 6.2 v CSN 730540-2)

Požadavky: 1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
 2. Rční množství kondenzátu musí být nižší než rční kapacita odparu.
 3. Rční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzací zóně cíní: 0.288 kg/m².rok (materiál: weber.therm elastik - lepicí a).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0.100 kg/m².rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Rční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0.0322 \text{ kg/m}^2\text{.rok}$

Rční množství odparitelné vodní páry $M_{ev,a} = 12.5019 \text{ kg/m}^2\text{.rok}$

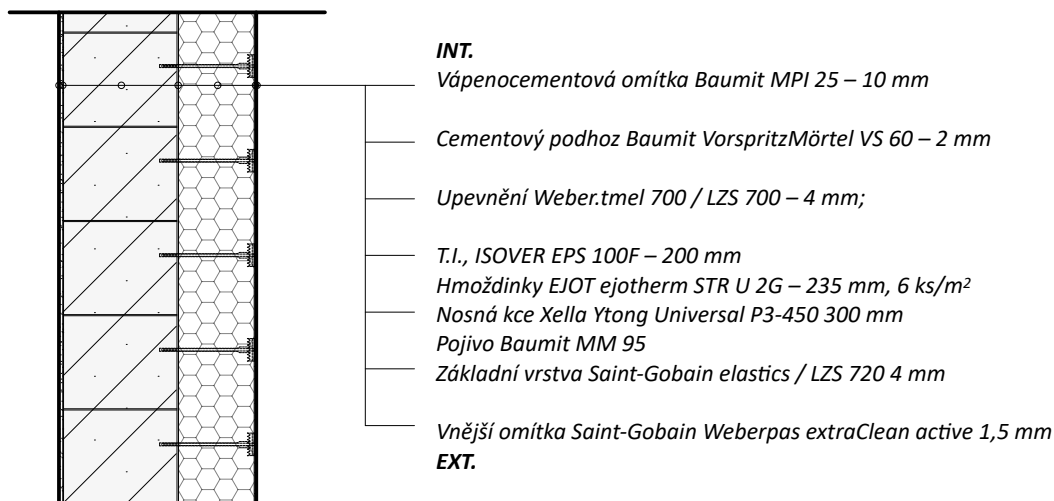
Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

6.2.2. Varianta K2 (Ytong, Isover EPS)

(8) Obr: Varianta K2, 1:20



Druhá varianta konstrukce odpovídá ve většině použitých materiálů referenční variantě K1. Vnější omítku tvoří tenkovrstvá silikon-silikátová omítka Weberpas extraClean active.

Základní vrstvu pro omítku tvoří jednosložková prášková lepicí a stěrková hmota na bázi cementu Weber.therm elastik / LZS 720. Spotřeba pro základní vrstvu na EPS je na rozdíl od MW 4 kg/m².⁽²¹⁾

Tepelnou izolaci tvoří desky z pěnového polystyrenu ISOVER EPS 100F o rozměrech 1000 × 500 mm a šířce 200 mm pro kontaktní zateplovací systémy (ETICS) se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\times\text{K}$.⁽¹⁵⁾ Po redukci bodovým činitelem prostupu tepla kotvicích prvků v počtu 6 ks/m² roste λ na 0,041 W/m×K. Měrnou jednotkou environmentálních kritérií je 1 m² expandovaného polystyrenu o tepelném odporu 2,75 m²K/W, což odpovídá 100 mm EPS 100F. Hodnoty pro variantu K2 je tedy nutné přenásobit na 200 mm šířky.⁽¹⁵⁾

Mechanické kotvení tepelné izolace je zajištěno opět pomocí talířových hmoždinek s kovovým šroubem EJOT ejothem STR U 2G délky 235 mm. Vzhledem k rozměru desek pěnového polystyrenu 1000 × 500 mm je nutné je použít v počtu 6 ks/m².⁽¹³⁾

Lepení je zajištěno pomocí jednosložkové práškové lepicí a stěrkové hmoty na bázi cementu webertmel 700 / LZS 700. Spotřeba pro lepení izolačních EPS oproti deskám z MW nebo kamenné vlny je 4 kg/m².⁽²⁾

Řešení konstrukce vč. hodnot dále odpovídá variantě K1, kde jsou použity pórobetonové tvárnice Xella Ytong Universal P3-450 šířky 300 mm, zděné na vápenocementovou zdící maltu Baumit MauerMörtel MM 95, s vnitřní vápenocementovou omítkou Baumit MPI 25 na cementovém podhozu.

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU PODLE KRITÉRIÍ CSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: K2

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20.0 C
 Prevažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20.0 C
 Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -15.0 C
 Teplota na vnější straně T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.6 C
 Relativní vlhkost v interiéru RH_i: 50.0 % (+5.0%)

Skladba konstrukce

Císlo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Baumit MPI 25	0.010	0.820	25.0
2	Baumit přednástřík 2 mm (VorSp	0.002	0.820	22.0
3	Ytong Universal P3-450	0.300	0.116	7.0
4	weber tmel 700 - lepicí a stěr	0.004	0.800	20.0
5	Isover EPS 100F	0.200	0.041	50.0
6	weber.therm elastik - lepicí a	0.004	0.800	20.0
7	weber.pas extraClean samočistí	0.0015	0.800	20.0

I. Požadavek na teplotní faktor (cl. 5.1 v CSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0.747$
 Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0.968$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnost plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (cl. 5.2 v CSN 730540-2)

Požadavek: $U_N = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Vypočtená hodnota: $U = 0.131 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U_N$... POŽADAVEK JE SPLNĚN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokvi v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (cl. 6.1 a 6.2 v CSN 730540-2)

Požadavky: 1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
 2. Rční množství kondenzátu musí být nižší než rční kapacita odparu.
 3. Rční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzací zóně cíní: 0.218 kg/m².rok (materiál: Isover EPS 100F).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0.100 kg/m².rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.
 Rční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0.0129 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$
 Rční množství odparitelné vodní páry $M_{ev,a} = 0.8082 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

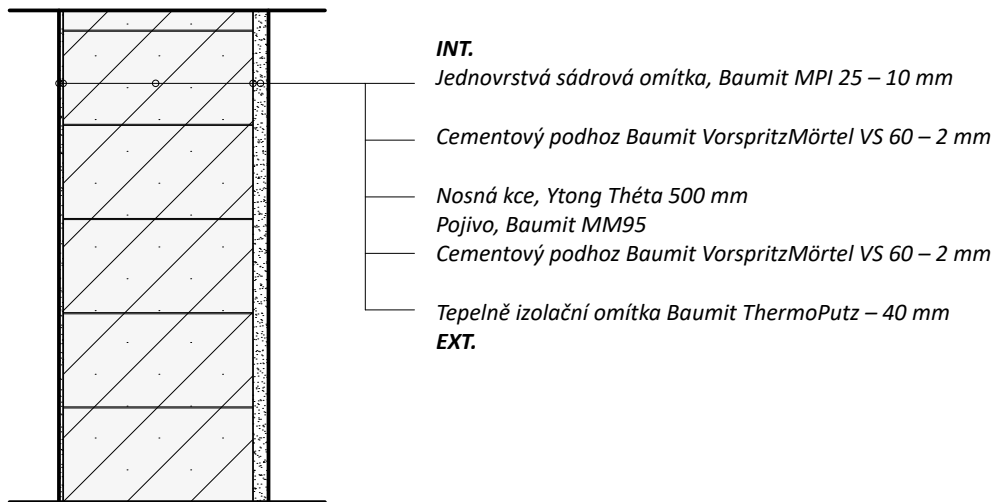
Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNĚN.

6.2.3. Varianta K3 (Ytong Théta)

(9) Obr: Varianta K3, 1:20



Třetí variantou, jejíž nosný základ tvoří pórobetonové tvárnice Ytong, je varianta bez vnějšího zateplení. Jednovrstvé řešení svislé obvodové konstrukce nevytváří podmínky pro vznik plísni mezi konstrukcí a zateplením, dosahuje nejvyšší požární bezpečnosti, odolává destrukci způsobené škůdci a je rychlé na výstavbu. Jednovrstvá konstrukce naopak představuje riziko v podobě vzniku systémových tepelných mostů, které lze použitím kontaktního zateplovacího systému snadno a efektivně eliminovat. [57]

Nosná konstrukce je navržena z přesných tvárníc Xella Ytong Théta autoklávovaného pórobetonu, o průměrné objemové hmotnosti 300 kg/m^3 , šířky 500 mm, se součinitelem prostupu tepla $U = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}^{(16)}$, kladených na tepelně izolační maltu Baumit LM21.⁽⁹⁾ Měrná jednotka environmentálních kritérií tvárníc Ytong je vztažena na 1 m^3 běžných nevyztužených pórobetonových prvků Ytong s průměrnou objemovou hmotností 423 kg/m^3 vyráběných v závodech organizace Xella CZ, s.r.o, a je nutné ji tedy přepočítat na objemovou hmotnost použitých prvků.⁽¹¹⁾ Viz výpočet pro K1.

Vnější vrstvu tvoří průmyslově vyráběná suchá tepelně izolační vápenocementová omítková směs s lehčeným plnivem Baumit ThermoPutz tloušťky 40 mm, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,11 \text{ W/m}\times\text{K}^{(26)}$ Spotřeba je $4,31 \text{ kg/m}^2/\text{cm}^{(28)}$

Podkladní vrstvu tvoří na obou stranách nosné konstrukce 2mm vrstva cementového podhozu pro ruční zpracování Baumit. ⁽³²⁾

Vnitřní vrstva je vápenocementová strojově zpracovatelná omítka pro interiéry Baumit MPI 25, v doporučené tloušťce dokončovací omítky 10 mm, se spotřebou $1,41 \text{ kg/m}^2/\text{mm}^{(29)}$ Měrná jednotka environmentálních kritérií je 1 kg výrobku. ⁽³⁰⁾

Řešení detailů pro rozpočet vychází z detailů výrobce. Jmenovitě použití základní tvárnice Ytong Start tl. 375 mm, soklové izolace XPS tl. 75 mm, věncové tvárnice YTONG výšky 200 mm, dodatečné izolace EPS 120 mm a nosných překladů NOP Ytong s dodatečnou izolací tl. 75 mm. [58]

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU PODLE KRITÉRIÍ CSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: K3

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20.0 C
 Prevažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20.0 C
 Návrhová venkovní teplota T_a : -15.0 C
 Teplota na vnější straně T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.6 C
 Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi} : 50.0 % (+5.0%)

Skladba konstrukce

Císlo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Baumit MPI 25	0.010	0.820	25.0
2	Baumit přednástřík 2 mm (VorSp)	0.002	0.820	22.0
3	Ytong Theta	0.500	0.080	7.5
4	Baumit přednástřík 2 mm (VorSp)	0.002	0.820	22.0
5	Baumit termo omítka (ThermoPut)	0.040	0.100	15.0

I. Požadavek na teplotní faktor (cl. 5.1 v CSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0.747$

Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0.964$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnost plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (cl. 5.2 v CSN 730540-2)

Požadavek: $U_{N} = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota: $U = 0.146 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U_N$... POŽADAVEK JE SPLNEN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokví v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (cl. 6.1 a 6.2 v CSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Rční množství kondenzátu musí být nižší než rční kapacita odparu.
3. Rční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzací zóně cíní: $0.102 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$
 (materiál: Baumit přednástřík 2 mm (VorSp)).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: $0.100 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Rční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0.0472 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Rční množství odparitelné vodní páry $M_{ev,a} = 3.2759 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

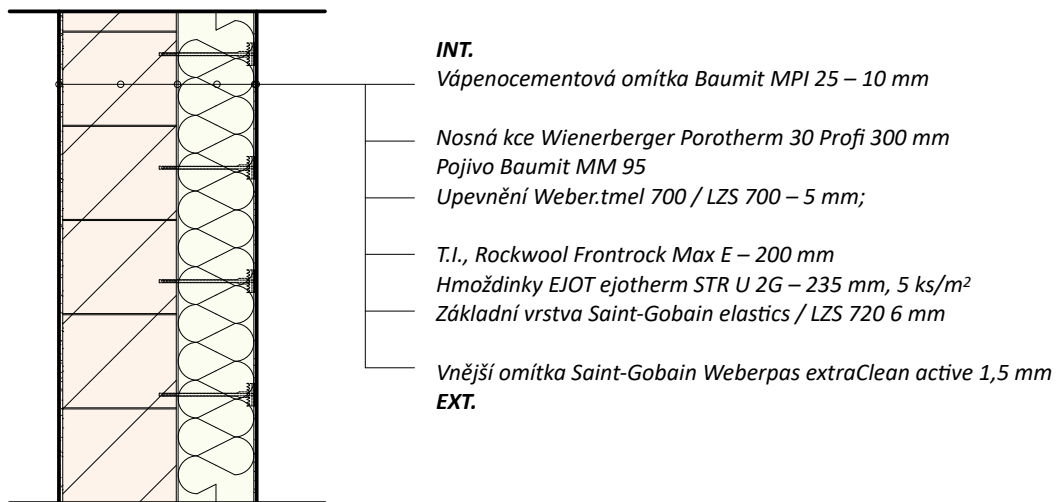
Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNEN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNEN.

6.2.4. Varianta K4 (Porotherm, Rockwool)

(10)Obr: Varianta K4, 1:20



Ve čtvrté variantě konstrukce je namísto přesných tvárníc z autoklávovaného pórobetonu Ytong použita nosná konstrukce z broušených cihel Porotherm 30 Profi o váze 15,7 kg/ks se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,17 \text{ W/m}\times\text{K}$, spojovaných na osvědčený způsob pero a drážky a s vysokou pevností v tlaku.⁽¹⁹⁾ Ostatní vrstvy této varianty, stejně jako dalších variant skladeb z cihelných bloků Wienerberger, pak odpovídají doporučené skladbě výrobce.⁽³⁵⁾

Cihly jsou zděny na maltu pro zdění konstrukcí z broušených keramických cihel na tenkou spáru webermix T s orientační spotřebou $2 \text{ kg}/1 \text{ mm}/\text{m}^2$, za použití válce, kterým je zdící tmel automaticky nanášen pouze na povrch jednotlivých voštin.⁽³¹⁾ To zaručuje jednak minimální spotřebu vody a malty, a rovněž minimální množství vody vnášené do zdiva a tedy i rychlejší vysychání konstrukce.⁽¹⁹⁾

Vnější omítku tvoří stejně jako u referenční varianty K1 tenkovrstvá silikon-silikátová omítka Weberpas extraClean active na 6mm základové vrstvě stěrkové hmoty na bázi cementu Webertherm elastik / LZS 720.

Tepelnou izolaci zajišťují opět desky z kamenné vlny Rockwool Frontrrock Max E o rozměrech $1000 \times 600 \text{ mm}$ a šířce 200 mm, s mechanickým kotvením a doplňkovým lepením.⁽⁵⁾ Součinitele tepelné vodivosti samotných desek $\lambda = 0,036 \text{ W/m}\times\text{K}$ je opět nutné výpočtově redukovat v programu TEPLO 2017 EDU (SVOBODA SOFTWARE) bodovým činitelem prostupu tepla kotvicích prvků mechanického kotvení tepelné izolace talířových hmoždinek s kovovým šroubem EJOT ejotherm STR U 2G délky 235 mm $\chi = 0,00,1 \text{ W/K}$ ⁽²²⁾ na výslednou hodnotu součinitele tepelné vodivosti $\lambda = 0,038 \text{ W/m}\times\text{K}$.⁽¹⁴⁾

Lepení je zajištěno pomocí jednosložkové práškové lepicí a stěrkové hmoty na bázi cementu Webertmel 700 / LZS 700. Spotřeba pro MW nebo kamenné vlny je $5 \text{ kg}/\text{m}^2$.⁽²⁾

Vnitřní vrstva je tvořena dle doporučení výrobce⁽³⁵⁾ vápenocementovou strojově zpracovatelnou omítkou pro interiéry Baumit MPI 25, v doporučené tloušťce vrstvy omítky 10 mm, se spotřebou $1,41 \text{ kg}/\text{m}^2/\text{mm}$.⁽²⁹⁾

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU PODLE KRITÉRIÍ CSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: K4

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20.0 C
 Prevažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20.0 C
 Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -15.0 C
 Teplota na vnější straně T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.6 C
 Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi} : 50.0 % (+5.0%)

Skladba konstrukce

Císlo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Baumit MPI 25	0.010	0.820	25.0
2	Porothem 30 Profi	0.300	0.170	10.0
3	weber tmel 700 - lepicí a stěr	0.005	0.800	20.0
4	Rockwool Frontrock MAX E	0.200	0.038	2.0
5	weber.therm elastik - lepicí a	0.006	0.800	20.0
6	weber.pas extraClean samočistí	0.0015	0.800	20.0

I. Požadavek na teplotní faktor (cl. 5.1 v CSN 730540-2)

Požadavek: $f, R_{si}, N = f, R_{si}, cr = 0.747$
 Vypočtená průměrná hodnota: $f, R_{si}, m = 0.966$

Kritický teplotní faktor f, R_{si}, cr byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota fR_{si}, m (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (cl. 5.2 v CSN 730540-2)

Požadavek: $U, N = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Vypočtená hodnota: $U = 0.138 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U, N$... POŽADAVEK JE SPLNEN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (cl. 6.1 a 6.2 v CSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Rční množství kondenzátu musí být nižší než rční kapacita odparu.
3. Rční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzacní zóne cini: 0.288 kg/m².rok
 (materiál: weber.therm elastik - lepicí a).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0.100 kg/m².rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Rční množství z kondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0.0125 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Rční množství odparitelné vodní páry $M_{ev,a} = 12.5664 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

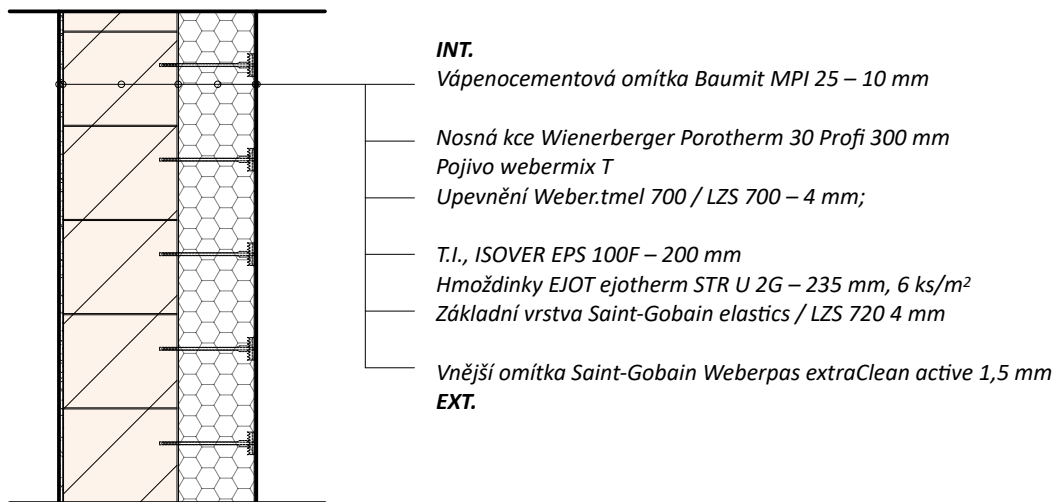
Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNEN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNEN.

6.2.5. Varianta K5 (Porotherm, Isover EPS)

(11)Obr: Varianta K5, 1:20



INT.

Vápenocementová omítka Baumit MPI 25 – 10 mm

Nosná kce Wienerberger Porotherm 30 Profi 300 mm

Pojivo webermix T

Upevnění Weber.tmel 700 / LZS 700 – 4 mm;

T.I., ISOVER EPS 100F – 200 mm

Hmoždinky EJOT ejothem STR U 2G – 235 mm, 6 ks/m²

Základní vrstva Saint-Gobain elastics / LZS 720 4 mm

Vnější omítka Saint-Gobain Weberpas extraClean active 1,5 mm

EXT.

Pátá varianta představuje kombinaci předchozích variant K2 a K4. Namísto přesných tvárnic z autoklávaného pórobetonu Ytong je opět navržena nosná konstrukce z broušených cihel Porotherm 30 Profi se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,17 \text{ W/m}\times\text{K}^{(19)}$ zděných na maltu pro zdění konstrukcí z broušených keramických cihel webermix T. Vrstva zdící malty je 1 mm.⁽³¹⁾

Vnější omítku tvoří opět tenkovrstvá silikon-silikátová omítka Weberpas extraClean active na 6mm základové vrstvě stěrkové hmoty na bázi cementu Webertherm elastik / LZS 720.

Tepelná izolace je navržena z desek z pěnového polystyrenu ISOVER EPS 100F o rozměrech 1000 × 500 mm a šířce 200 mm pro kontaktní zateplovací systémy (ETICS) a se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,037 \text{ W/m}\times\text{K}^{(15)}$ který je opět nutné výpočtově redukovat v programu TEPLO 2017 EDU (SVOBODA SOFTWARE) bodovým činitelem prostupu tepla kotvících prvků mechanického kotvení tepelné izolace, jenž je pro talířové hmoždinky s kovovým šroubem EJOT ejothem STR U 2G délky 235 mm $\chi = 0,001 \text{ W/K}^{(22)}$. Výsledná redukováná hodnota součinitele tepelné vodivosti pro tepelnou izolaci ISOVER EPS 100F s mechanickým kotvením v počtu 6 ks/m² je $\lambda = 0,038 \text{ W/m}\times\text{K}^{(14)}$

Lepení izolace ke konstrukci je zajištěno opět pomocí jednosložkové práškové lepicí a stěrkové hmoty na bázi cementu Webertmel 700 / LZS 700. Spotřeba lepicí hmoty při použití desek z pěnového polystyrenu je 4 kg/m².⁽²⁾

Vnitřní vrstva je stejně jako v předchozím případě navržena dle doporučení výrobce⁽³⁵⁾ vápenocementovou strojově zpracovatelnou omítkou pro interiéry Baumit MPI 25, v doporučené tloušťce vrstvy omítky 10 mm, se spotřebou 1,41 kg/m²/mm.⁽²⁹⁾ Měrná jednotka environmentálních kritérií je 1 kg výrobku.⁽³⁰⁾

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU PODLE KRITÉRIÍ CSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: K5

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20.0 C
 Prevažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20.0 C
 Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -15.0 C
 Teplota na vnější straně T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.6 C
 Relativní vlhkost v interiéru RH_i : 50.0 % (+5.0%)

Skladba konstrukce

Císlo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Baumit MPI 25	0.010	0.820	25.0
2	Porotherm 30 Profi	0.300	0.170	10.0
3	weber tmel 700 - lepicí a stěr	0.004	0.800	20.0
4	Isover EPS 100F	0.200	0.041	50.0
5	weber.therm elastik - lepicí a	0.004	0.800	20.0
6	weber.pas extraClean samočistí	0.0015	0.800	20.0

I. Požadavek na teplotní faktor (cl. 5.1 v CSN 730540-2)

Požadavek: $f, R_{si}, N = f, R_{si}, cr = 0.747$
 Vypočtená průměrná hodnota: $f, R_{si}, m = 0.964$

Kritický teplotní faktor f, R_{si}, cr byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota fR_{si}, m (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (cl. 5.2 v CSN 730540-2)

Požadavek: $U, N = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$
 Vypočtená hodnota: $U = 0.146 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U, N$... POŽADAVEK JE SPLNEN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. kroků v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (cl. 6.1 a 6.2 v CSN 730540-2)

Požadavky: 1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
 2. Rční množství kondenzátu musí být nižší než rční kapacita odparu.
 3. Rční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než 0,1 kg/m².rok, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzacní zóne cíní: 0.218 kg/m².rok
 (materiál: Isover EPS 100F).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: 0.100 kg/m².rok

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.
 Rční množství z kondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0.0050 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$
 Rční množství odparitelné vodní páry $M_{ev,a} = 1.0132 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

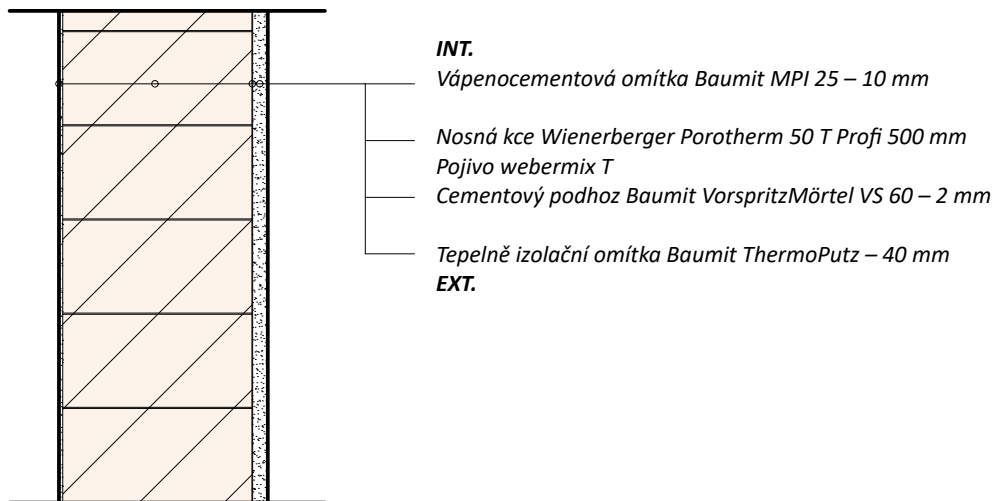
Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNEN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNEN.

6.2.6. Varianta K6 (Porotherm T Profi)

(12)Obr: Varianta K6, 1:20



Šestou variantou je opět konstrukce bez kontaktního zateplení. V tomto případě je konstrukce navržena z broušených cihel Porotherm 50 T Profi o rozměrech d/š/v 248x500x249 mm pro omítané jednovrstvé obvodové nosné konstrukce. Hmotnost jednoho kusu je cca 20,9 kg, což při spotřebě 16 ks/m² představuje 334,4 kg/m² stěny. Vnitřní prostory v cihlách jsou vyplněny minerální vlnou. Součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,066 \text{ W/m}\times\text{K}$ ⁽³⁷⁾. Cihly jsou zděné na maltu pro zdění konstrukcí z broušených keramických cihel webermix T.⁽³¹⁾

Vnější omítka se dle doporučení výrobce pro vnější omítkové systémy skládá z přípravy podkladu pomocí 2mm vrstvy cementového podhozu pro ruční zpracování Baunit VorspritzMörtel VS 60. ⁽³⁵⁾ ⁽³²⁾ A vnější vrstvu tvoří následně 40 mm průmyslově vyráběné suché tepelně izolační vápenocementové omítkové směsi s lehčeným plnivem Baunit ThermoPutz, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,11 \text{ W/m}\times\text{K}$.⁽²⁶⁾ Spotřeba je 4,31 kg/m²/cm.⁽²⁸⁾

Vnitřní vrstva je stejně jako u varianty K4 a K5 navržena dle doporučení výrobce s vápenocementovou strojově zpracovatelnou omítkou pro interiéry Baunit MPI 25, v doporučené tloušťce vrstvy omítky 10 mm, se spotřebou 1,41 kg/m²/mm.⁽²⁹⁾ Před aplikací je zapotřebí nejprve precizně očistit podklad.⁽³⁵⁾ Měrná jednotka environmentálních kritérií je pro omítku MPI 25 1 kg výrobku.⁽³⁰⁾

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKU PODLE KRITÉRIÍ CSN 730540-2 (2011)

Název konstrukce: K6

Rekapitulace vstupních dat

Návrhová vnitřní teplota T_i : 20.0 C
 Prevažující návrhová vnitřní teplota T_{iM} : 20.0 C
 Návrhová venkovní teplota T_{ae} : -15.0 C
 Teplota na vnější straně T_e : -15.0 C
 Návrhová teplota vnitřního vzduchu T_{ai} : 20.6 C
 Relativní vlhkost v interiéru R_{Hi} : 50.0 % (+5.0%)

Skladba konstrukce

Císlo	Název vrstvy	d [m]	Lambda [W/mK]	Mi [-]
1	Baumit MPI 25	0.010	0.820	25.0
2	Porotherm 50 T Profi	0.500	0.079	10.0
3	Baumit přednástřík 2 mm (VorSp	0.002	0.820	22.0
4	Baumit termo omítka (ThermoPut	0.040	0.100	15.0

I. Požadavek na teplotní faktor (cl. 5.1 v CSN 730540-2)

Požadavek: $f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} = 0.747$

Vypočtená průměrná hodnota: $f_{Rsi,m} = 0.964$

Kritický teplotní faktor $f_{Rsi,cr}$ byl stanoven pro maximální přípustnou vlhkost na vnitřním povrchu 80% (kritérium vyloučení vzniku plísní).

Průměrná hodnota $f_{Rsi,m}$ (resp. maximální hodnota při hodnocení skladby mimo tepelné mosty a vazby) není nikdy minimální hodnotou ve všech místech konstrukce. Nelze s ní proto prokazovat plnění požadavku na minimální povrchové teploty zabudované konstrukce včetně tepelných mostů a vazeb. Její převýšení nad požadavkem naznačuje pouze možnosti plnění požadavku v místě tepelného mostu či tepelné vazby.

II. Požadavek na součinitel prostupu tepla (cl. 5.2 v CSN 730540-2)

Požadavek: $U_{N} = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$

Vypočtená hodnota: $U = 0.145 \text{ W/m}^2\text{K}$

$U < U_{N}$... POŽADAVEK JE SPLNEN.

Vypočtený součinitel prostupu tepla musí zahrnovat vliv systematických tepelných mostů (např. krokví v zateplené šikmé střeše).

III. Požadavky na šíření vlhkosti konstrukcí (cl. 6.1 a 6.2 v CSN 730540-2)

Požadavky:

1. Kondenzace vodní páry nesmí ohrozit funkci konstrukce.
2. Rční množství kondenzátu musí být nižší než rční kapacita odparu.
3. Rční množství kondenzátu $M_{c,a}$ musí být nižší než $0,1 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$, nebo 3-6% plošné hmotnosti materiálu (nižší z hodnot).

Limit pro max. množství kondenzátu odvozený z min. plošné hmotnosti materiálu v kondenzací zóně cíní: $0.102 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$
 (materiál: Baumit přednástřík 2 mm (VorSp).

Dále bude použit limit pro max. množství kondenzátu: $0.100 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vypočtené hodnoty: V kci dochází při venkovní návrhové teplotě ke kondenzaci.

Rční množství zkondenzované vodní páry $M_{c,a} = 0.0248 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Rční množství odparitelné vodní páry $M_{ev,a} = 2.5049 \text{ kg/m}^2\text{,rok}$

Vyhodnocení 1. požadavku musí provést projektant.

$M_{c,a} < M_{ev,a}$... 2. POŽADAVEK JE SPLNEN.

$M_{c,a} < M_{c,N}$... 3. POŽADAVEK JE SPLNEN.

7. Výsledky

Následující stránky obsahují grafický souhrn výsledků práce. Tabulky s podrobnými výsledky jsou umístěny v příslušné kapitole příloh.

Výsledky obsahují souhrn nejdůležitějších environmentálních hodnocení svislých konstrukcí, a to v okamžiku výstavby, v průběhu užívání a také za 20 let provozu stavby, s danou variantou svislé obvodové konstrukce.

7.1. Environmentální hodnocení konstrukcí

Hodnocení variant svislých obvodových konstrukcí z hlediska dopadu na životní prostředí.

7.1.1. Environmentální profily konstrukcí

(12) Tabulka: Environmentální profily konstrukcí

Materiál		Ytong Rockwool	Ytong ISOVER	Ytong Théta	Porotherm Rockwool	Porotherm Isover	Porotherm T
Označení		K1	K2	K3	K4	K5	K6
U	W/m ² K	0,124	0,131	0,146	0,138	0,146	0,145
PEIn	MJ/m ²	561,32	580,31	329,02	809,59	828,58	1 101,33
PEIr	MJ/m ²	52,70	22,64	42,79	317,70	287,65	395,49
GWP	kg CO ₂ ekv./m ²	95,39	80,40	88,54	77,91	62,92	93,25
AP	g SO ₂ ekv./m ²	286,67	175,62	169,21	253,29	142,24	159,83
POCP	g C ₂ H ₄ ekv./m ²	28,55	25,26	22,65	29,53	26,24	24,56
ODP	g R-11 ekv./m ²	7,1E-03	3,8E-03	3,7E-03	8,9E-03	5,5E-03	8,2E-03
EP	g (PO ₄) ³⁻ ekv./m ²	87,58	84,21	82,84	19,95	16,59	52,42

Výše uvedená tabulka představuje prosté environmentální profily konstrukcí, jak jsou zapsány z EPD jednotlivých výrobců materiálů použitých v souvrství. V tabulce jsou vyznačeny nejnižší a nejvyšší hodnoty pro dané environmentální kritérium.

Jednotlivé kompletní environmentální profily včetně všech vrstev jsou součástí příloh (15.1. *Environmentálního profily konstrukcí*).

7.1.2. Environmentální hodnocení výstavby (VSV)

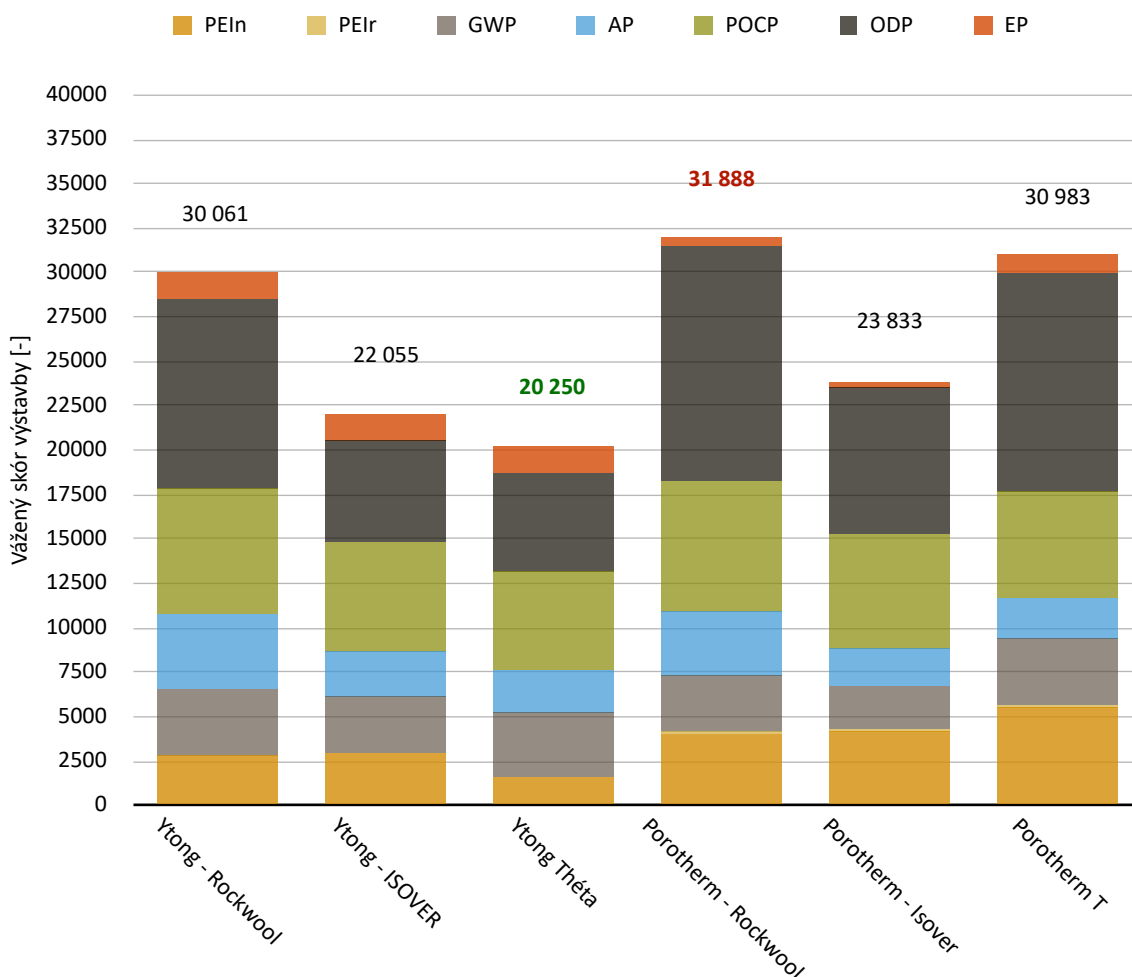
Environmentální vyhodnocení výstavby je vypočítáno na základě vzorců uvedených v kapitole metodiky environmentálního hodnocení. Výsledkem pro každý typ konstrukce je bezrozměrná veličina tzv. váženého skóru výstavby. Nižší výsledek znamená menší environmentální dopad na životní prostředí.

V případě environmentálního hodnocení výstavby dosahuje nejlepšího výsledku váženého skóru výstavby varianta Ytong Théta (K3), nejhoršího pak Porotherm – Rockwool (K4). Jednovrstvá konstrukce Ytongu Théta je o celých 36,5 % šetrnější k životnímu prostředí oproti variantě Porotherm se zateplením MW Rockwool.

Největší rozdíl mezi environmentálně nejšetrnější konstrukcí (K3) a environmentálně nejméně šetrnou konstrukcí (K4) představuje kritérium potenciálu ničení ozónové vrstvy (ODP). K3 produkuje pouhých 42,3 % emisí R-11 ekv. oproti K4.

Tabulka pro environmentální hodnocení výstavby je uvedena v kapitole příloh (15.2. *Environmentálního hodnocení výstavby*).

(6) Graf: Environmentální hodnocení výstavby



7.1.3. Environmentální hodnocení provozu (VSP)

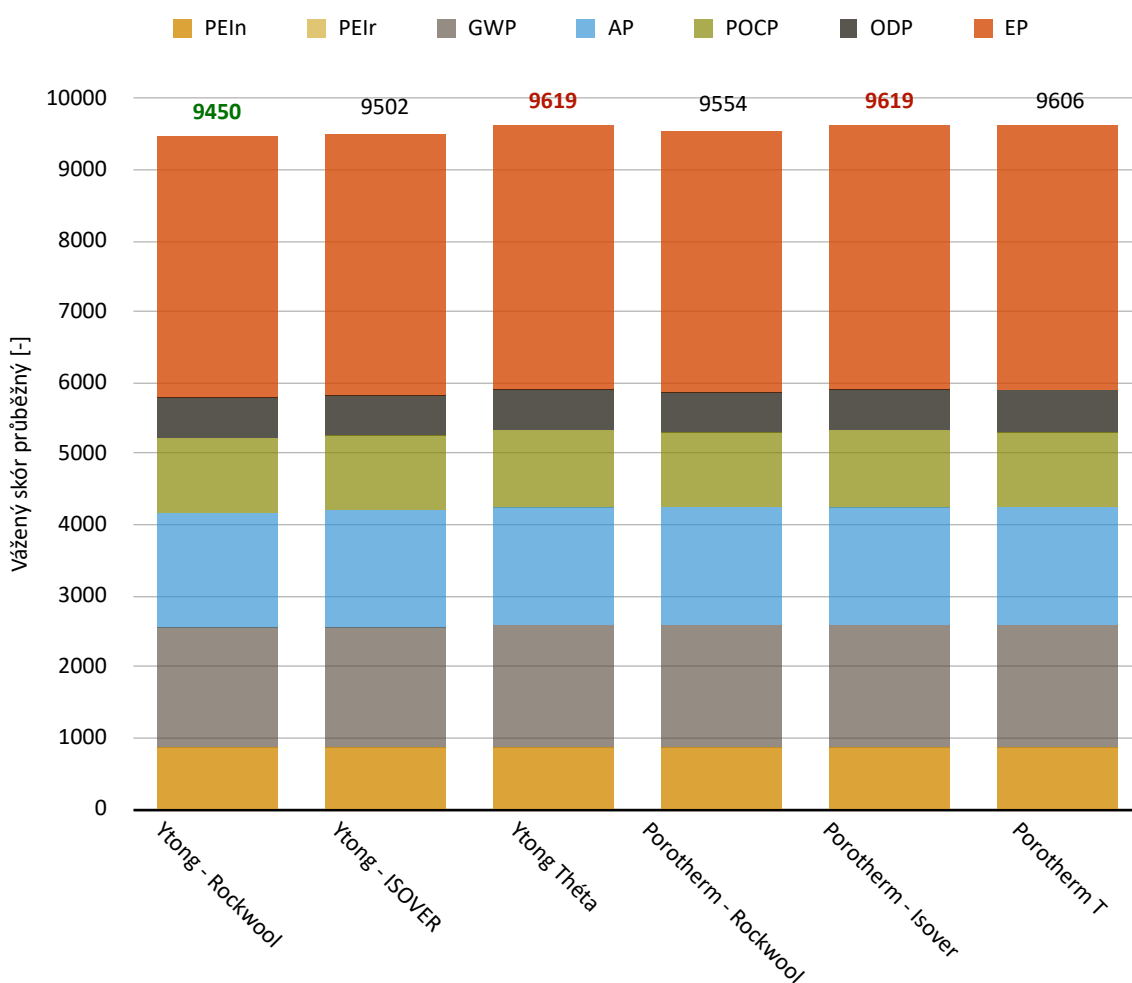
Environmentální hodnocení provozu je vypočítáno na základě energie, kterou je zapotřebí do budovy dodat pro zachování vnitřního prostředí. Následující graf je shrnutím váženého průběžného skóru. Výpočet průběžného váženého skóru jednotlivých variant je uveden v příslušné tabulce environmentálního vyhodnocení VSP v přílohách této práce.

Výsledkem pro každý typ konstrukce je opět bezrozměrná veličina. Vzhledem k nepatrným rozdílům v tepelné obálce budovy je rozdíl mezi environmentálními vlastnostmi zanedbatelný.

Nejlépe hodnocenou variantou je konstrukce na bázi Ytongu, zateplená kontaktním zateplením minerální vlnou Rockwool (K1). Oproti nejhůře hodnoceným variantám konstrukce Ytong Théta (K3) a kombinace Porotherm – Isover (K5) je nicméně rozdíl pouze 1,8 %.

Tabulka s výpočtem průběžného hodnocení provozu je uvedena v kapitole příloh (15.3.1. PSP). Tabulka váženého hodnocení provozu je uvedena v kapitole příloh (15.3.2. VSP).

(7) Graf: Environmentální hodnocení provozu



7.1.4. Kumulativní environmentální hodnocení za 20 let provozu (VS20)

Kumulativní hodnocení (VS20) je součtem environmentálního hodnocení výstavby a environmentálního hodnocení provozu stavby s danou variantou konstrukce po dobu 20 let. Výsledkem je bezrozměrný vážený skór za 20 let provozu stavby.

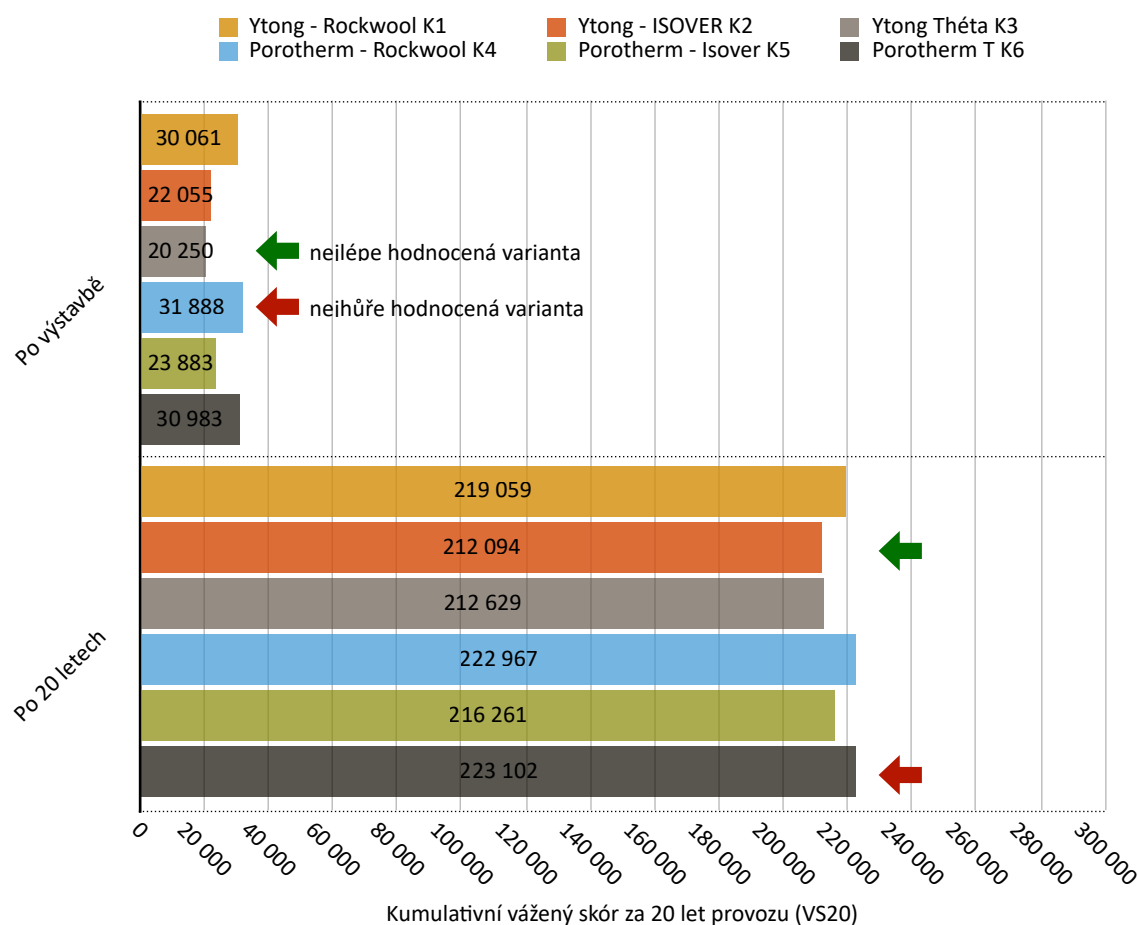
Z níže uvedeného grafu je patrné, že i přes nepatrné rozdíly v požadavcích na energie se v časovém horizontu 20 let tento rozdíl projevuje na výsledném pořadí.

Zatímco z hlediska výstavby měla nejmenší environmentální dopad varianta Ytong Théta (K3), po 20 letech získává toto prvenství kombinace přesných tvárnice Ytong se zateplením ISOVER (K2).

Nejhůře, i když také těsně, vychází v kumulativním hodnocení samostatný Porotherm T (K6).

Tabulka kumulativního environmentálního hodnocení provozu je uvedena v kapitole příloh (15.4. *Kumulativní environmentální hodnocení za 20 let provozu (VS20)*).

(8) Graf: Kumulativní environmentální hodnocení za 20 let provozu



7.2. Ekonomické hodnocení konstrukcí

Hodnocení variant svislých obvodových konstrukcí z hlediska nákladů výstavby a provozu. Hodnoceny jsou pouze náklady, které se u jednotlivých variant svislých obvodových konstrukcí liší.

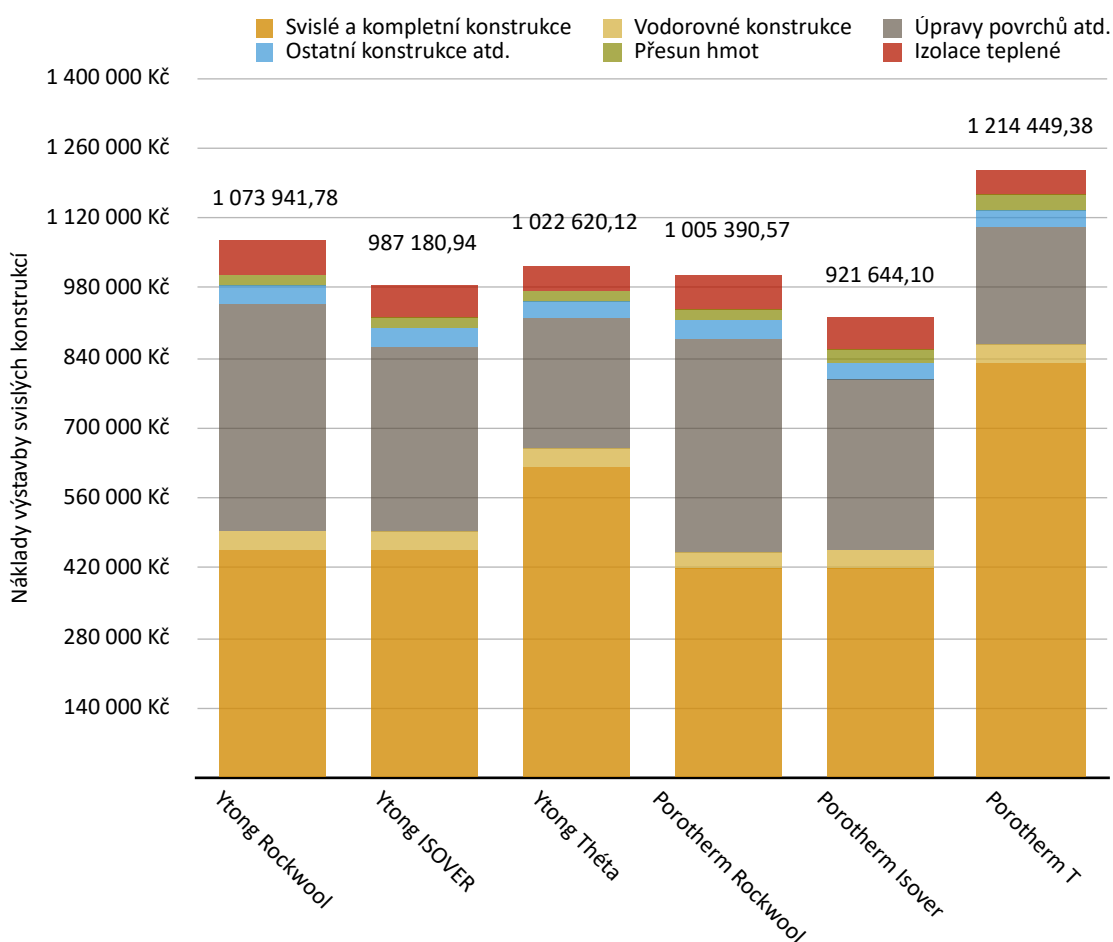
7.2.1. Hodnocení nákladů výstavby (NV)

Náklady výstavby svislých konstrukcí dle typu stavebního dílu jsou uvedeny níže (Graf 9). Podkladem je rozpočtový software KROS 4. Kompletní rozpočty pro jednotlivé varianty jsou součástí příloh této práce.

Z grafu je patrné, že rozdíly mezi náklady na výstavbu různých variant svislých konstrukcí jsou nižší než rozdíly mezi environmentálními dopady výstavby jednotlivých variant. Nejlevnější variantou je kombinace Porotherm – Isover (K5), nejnákladnější je pak konstrukční řešení Porotherm T (K6). Rozdíl je 292 805,28 Kč.

Tabulka hodnocení nákladů výstavby provozu je uvedena v kapitole příloh (15.8.1 *Hodnocení nákladů výstavby (NV)*).

(9) Graf: Náklady výstavby (NV)



7.2.2. Hodnocení kumulativních nákladů za 20 let (N20)

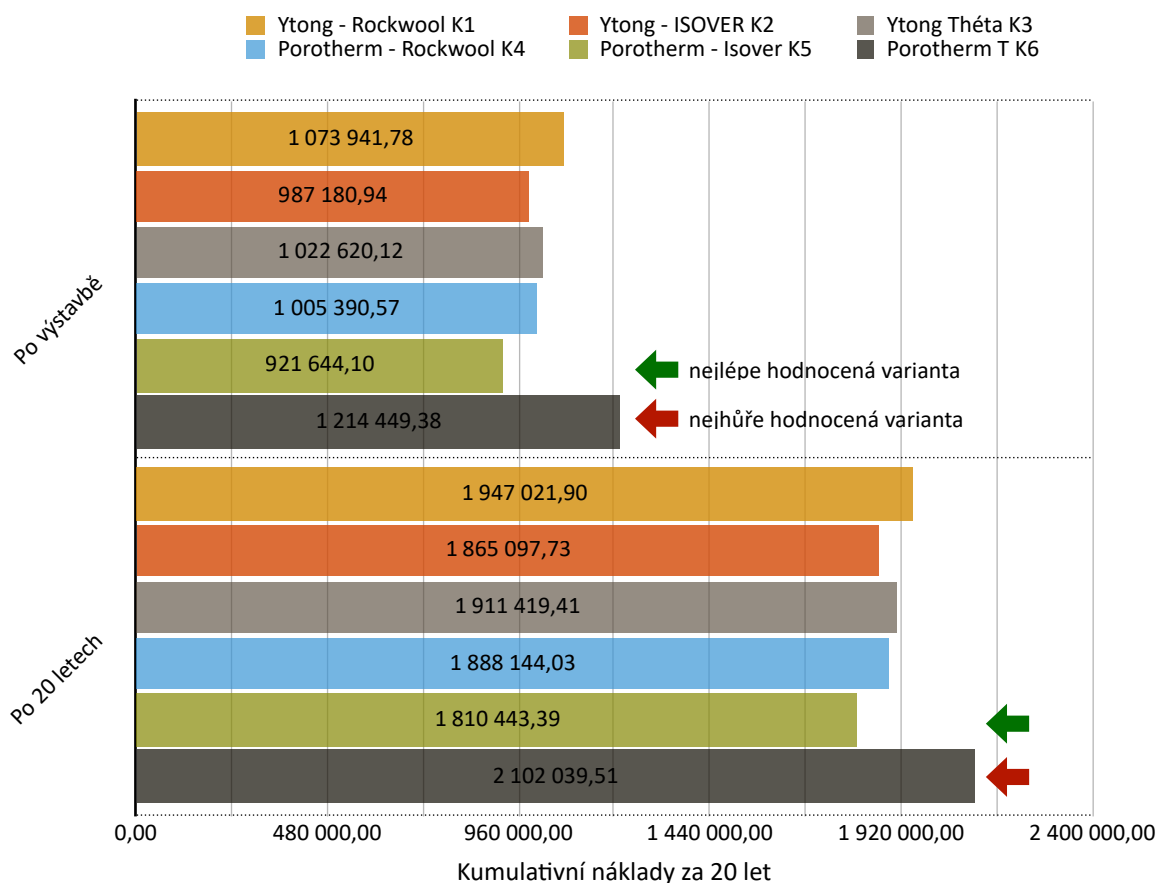
Porovnání nákladů na provoz jednotlivých variant v průběhu jednoho měsíce nebo roku nedává vzhledem k téměř shodnému průměrnému součiniteli odporu tepla konstrukce stavby příliš smysl. Absolutní rozdíly jsou patrné teprve v řádu let.

Kumulativní náklady za 20 let představují součet nákladů výstavby svislých konstrukcí a nákladů za vytápění a ohřev TUV za 20 let provozu.

V případě nákladů výstavby a následných nákladů za energie, které se pro různé varianty konstrukcí liší, vychází nejlépe varianta Porotherm Isover (K5). Nejdražší variantou se z hlediska vstupní investice i dlouhodobých nákladů ukazuje Porotherm T. Rozdíl mezi těmito dvěma variantami zůstává nezanedbatelných 291 596,12 Kč.

Tabulka hodnocení kumulativních nákladů je uvedena v kapitole příloh (15.8.2 *Hodnocení kumulativních nákladů za 20 let výstavby (N20)*).

(10)Graf: Hodnocení kumulativních nákladů za 20 let



7.3. Hodnocení poměru mezi environmentálními dopady a ekonomii výstavby (X)

Poměr mezi dopady na životní prostředí a náklady je vyjádřen hodnotou X, jejíž výpočet je uveden v kapitole výše. Čím nižší poměr, tím lepší výsledek.

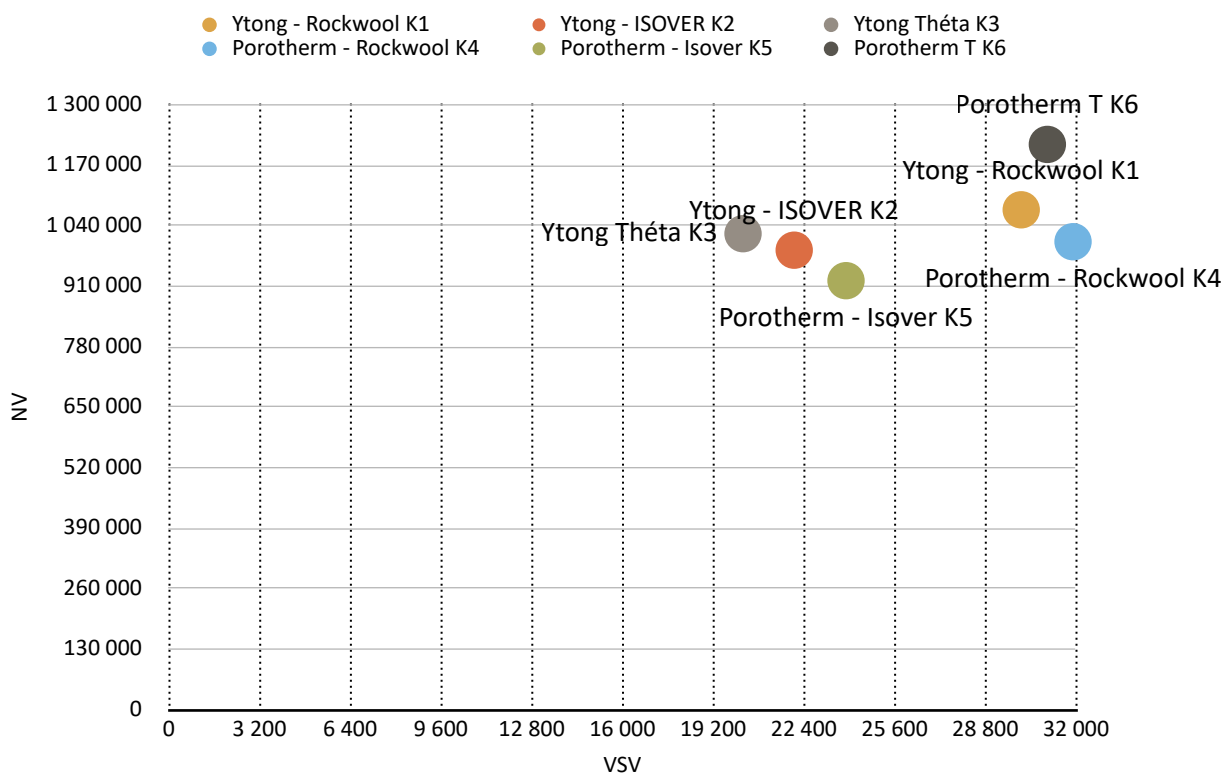
Z Tabulky 13 je patrné, že nejlepšího poměru v okamžiku výstavby dosahuje varianta Ytong Théta (K3), nejhorší je naopak jednovrstvý Porotherm T (K6). Z dlouhodobé hlediska dosahuje nejlepší výsledků kombinace zdiva Porotherm a kontaktního zateplení Isover (K5), i když rozdíly jsou v tomto případě velmi malé, a varianty Ytong – Isover (K2) a Ytong Théta (K3) jsou velmi podobné. Pro variantu Porotherm Isover (K5) hovoří především nízká cena.

(13) Tabulka: Hodnocení poměru mezi environmentálními dopady a ekonomii (XV) (X20)

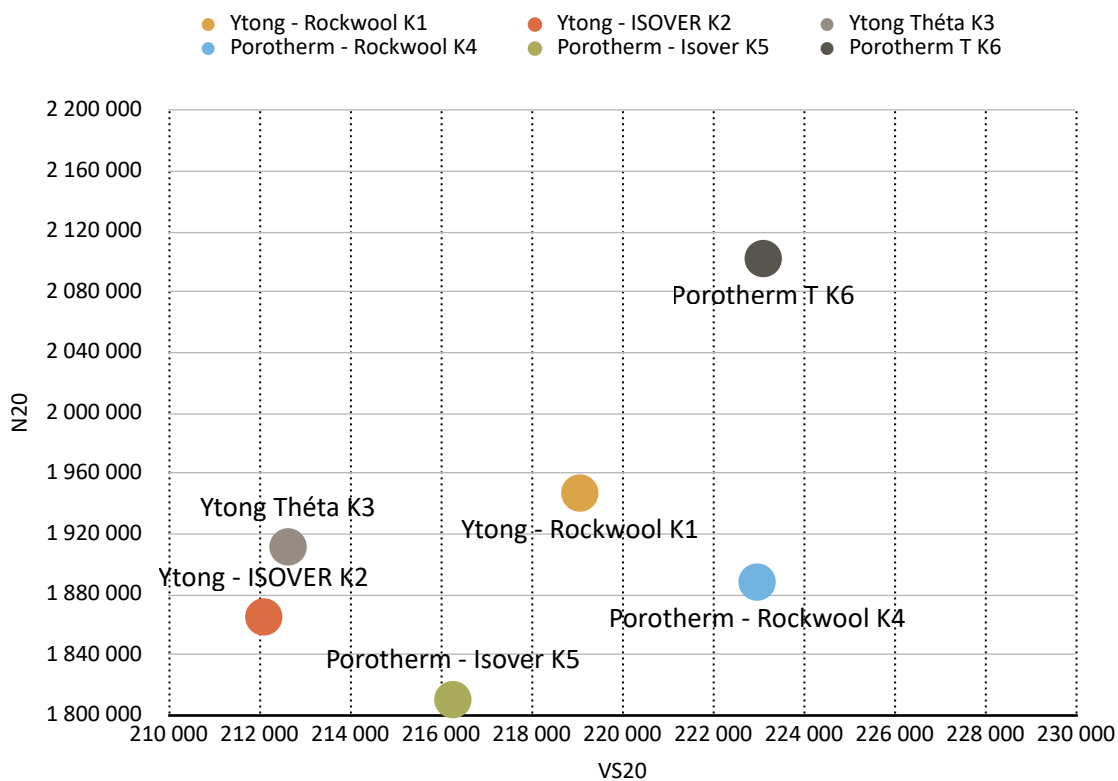
Materiál		Ytong Rockwool	Ytong ISOVER	Ytong Théta	Porotherm Rockwool	Porotherm Isover	Porotherm T
Označení		K1	K2	K3	K4	K5	K6
U	W/m2K	0,124	0,131	0,146	0,138	0,146	0,145
VSV		30061	22055	20250	31888	23883	30983
NV	Kč	1 073 941,78	987 180,94	1 022 620,12	1 005 390,57	921 644,10	1 214 449,38
XV		32,28	21,77	20,71	32,06	22,01	37,63
VSV		219059	212094	212629	222967	216261	223102
NV	Kč	1 947 021,90	1 865 097,73	1 911 419,41	1 888 144,03	1 810 443,39	2 102 039,51
XV		42,65	39,56	40,64	42,10	39,15	46,90

Porovnání environmentálních dopadů s náklady je dále podrobně zobrazeno v grafech níže. (Graf 11, Graf 12)

(11)Graf: Hodnocení poměru mezi environmentálními dopady a ekonomii výstavby (XV)



(12)Graf: Hodnocení poměru mezi kumulativními environmentálními dopady a kumulativními náklady (X20)



8. Shrnutí

Z výše uvedených grafů, stejně jako z tabulek v přílohách této práce, můžeme vyvodit několik závěrů.

1. Neexistuje korelace mezi cenou za výstavbu svislé konstrukce a environmentálními dopady. Toto hledisko je tedy zřejmě pro zákazníky zcela irelevantní, neboť neexistuje poptávka, která by tlačila cenu environmentálně lepších materiálů dolů.
2. Na environmentální dopady má podstatný vliv volba typu zateplení, v kterém minerální vlna Rockwool celkové dopady konstrukce na životní prostředí zhoršuje nejvíce.
3. Celkový environmentální rozdíl mezi jednotlivými variantami není markantní a ztrácí se zejména v průběhu let používání stavby.

9. Seznam tabulek

(1) Tabulka: Vybrané vlivy obnovitelných zdrojů na životní prostředí [8, formátováno]	13
(2) Tabulka: Energetický mix ČR [23, formátováno]	19
(3) Tabulka: Emisní a konverzní faktory SBToolCZ [37, formátováno]	23
(4) Tabulka: Kriteriaální meze pro E.01 Spotřeba primární energie [36, formátováno]	24
(5) Tabulka: Emisní a konverzní faktory SBToolCZ vztahované na MWh	25
(6) Tabulka: Normalizační koeficienty	29
(7) Tabulka: Váha environmentálních kritérií na životní prostředí	29
(8) Tabulka: Vybrané vlivy obnovitelných zdrojů na životní prostředí [38, kráceno]	31
(9) Tabulka: Všeobecné emisní faktory oxidu uhličitého [39]	32
(10) Tabulka: 803 Budovy pro bydlení [45, formátováno]	40
(11) Tabulka: Bonitovaná půdně ekologická jednotka [48, formátováno]	43
(12) Tabulka: Environmentální profily konstrukcí	70
(13) Tabulka: Hodnocení poměru mezi environmentálními dopady a ekonomikou (XV) (X20)	76

10. Seznam grafů

(1) Graf: Energetický mix ČR	19
(2) Graf: Váha environmentálních kritérií na životní prostředí	29
(3) Graf: Vybrané vlivy obnovitelných zdrojů na životní prostředí [38, kráceno]	31
(4) Graf: 803 Budovy pro bydlení [45, formátováno]	41
(5) Graf: Celková cena elektřiny a zemního plynu [51] [52]	45
(6) Graf: Environmentální hodnocení výstavby	71
(7) Graf: Environmentální hodnocení provozu	72
(8) Graf: Kumulativní environmentální hodnocení za 20 let provozu	73
(9) Graf: Náklady výstavby (NV)	74
(10) Graf: Hodnocení kumulativních nákladů za 20 let	75
(11) Graf: Hodnocení poměru mezi environmentálními dopady a ekonomii výstavby (XV)	77
(12) Graf: Hodnocení poměru mezi kumulativními environmentálními dopady a kumulativními náklady (X20)	77

11. Seznam obrázků

(1) Obr: Základní kroky v procesu hodnocení [36]	23
(2) Obr: Graf funkce benchmarku PEI, GWP, a AP v SBToolCZ	27
(3) Obr: Rozložení nákladů životního cyklu v čase [41]	37
(4) Obr: Úrovně nákladů [43] [44] [editováno]	38
(5) Obr: Náklady hodnocené v této práci	46
(6) Obr: 1NP, případová studie, 1:100	49
(7) Obr: Varianta K1, 1:20	57
(8) Obr: Varianta K2, 1:20	60
(9) Obr: Varianta K3, 1:20	62
(10) Obr: Varianta K4, 1:20	64
(11) Obr: Varianta K5, 1:20	66
(12) Obr: Varianta K6, 1:20	68

12. Seznam relevantních programů

SVOBODA SOFTWARE. TEPLO 2017 [počítačový program]. Ver. 2017.2b. Program TEPLO 2017 je určen pro základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska prostupu tepla a vodní páry, 5,4 MB. OS Windows.

SVOBODA SOFTWARE. ENERGIE 2020 [počítačový program]. Ver. 2020.7. Program ENERGIE 2020 je určen pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov. Zpracuje průkaz energetické náročnosti budov a energetický štítek obálky budovy, 87,7 MB. OS Windows.

ÚRS.cz a.s. KROS 4 [počítačový program]. Ver. 2019/II Stavební software KROS 4 je určen pro tvorbu rozpočtů, kalkulací stavebních prací a sledování stavební zakázky. OS Windows.

13. Technické listy a bibliografie k environmentálním profilům konstrukcí

- (1) SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Weberpas extraClean active: technický list*. [online] [cit. 26.9.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-03/weberpas_extraClean_active_TL.pdf.
- (2) SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Environmentální prohlášení produktu: Weberpas extraClean active*. [online] 2018. 17. [cit. 27.9.2020] Dostupné z: https://www.weber-panel.cz/developer/repository/EPD%20Weber%20OP915Z_CZ.pdf.
pozn.: platnost do 21.3.2023.
- (3) SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Webertmel 700: technický list*. [online] 2. [cit. 26.10.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-03/webertmel_700_TL.pdf.
- (4) SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Environmentální prohlášení: suché stavební směsi*. [online] 2015. 27. [cit. 26.4.2020] Dostupné z: https://new.weber-panel.cz/developer/repository/11-3_12-3_EPD_Weber_verified_2015.pdf.
pozn.: platnost do 30.9.2020.
- (5) ROCKWOOL, a.s., *Frontrock Max E: technický list*. [online] 1. [cit. 26.10.2020] Dostupné z: <https://www.woodcote.cz/sites/default/files/2019-01/Technický%20list.pdf>.
- (6) ROCKWOOL, a.s., Environmental Product Declaration: *ROCKWOOL® Stone Wool Thermal Insulation for buildings produced for Czech market*. [online] 2016. [cit. 12.8.2020] Dostupné z: <https://cdn01.rockwool.cz/siteassets/rw-cz/dokumenty/environmentalni-prohlaeni-o-produktu/epd.pdf?f=20180921041225>.
pozn.: platnost do 1.2. 2021
pozn.: přenásobeno koeficientem 2,9 pro Frontrock Max E; ref. šířka 39mm; ref. obj. hm. 28kg/m³
- (7) BAUMIT, spol. s r.o. *Baumit MM 50*. [online] [cit. 24.10.2020]. Dostupné z: <https://baumit.cz/produkty/zdici-malty/baumit-mm-50>.

- (8) INDUSTRIEVERBAND WERKMÖRTEL E.V. FÜR BAUMIT.DE, *Umwelt-Produktdeklaration, Mineralische Werkmörtel: Mauermörtel - Normalmauermörtel*. [online] 2013. 11. [cit. 20.9.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/epd_iwm-20130019-ibg1-de.pdf.
pozn.: gültig bis 12.8.2018 (platnost do).
- (9) STAVEBNINY VALA. *YTONG Zdicí malta šedá 17 kg*. [online] [cit. 18.8.2020]. Dostupné z: <https://stavebniny-levne.cz/ytong-zdici-malta-seda-17-kg.html>.
- (10) XELLA CZ, s.r.o., *Přehled materiálových vlastností produktů 2019*. [online] 2019. 23. [cit. 26.4.2020] Dostupné z: <https://www.ytong.cz/cs/docs/prehled-materialovych-vlastnosti-a-produktu-Ytong.pdf>.
- (11) XELLA CZ, s.r.o., *Environmentální prohlášení produktu: Pórobetonové tvárnice Ytong*. [online] 2019. 15. [cit. 17.5.2020] Dostupné z: https://www.ytong.cz/cs/docs/Ytong-Environmentalni_prohlaseni_o_produkту.pdf.
pozn.: platnost do 17.4.2024
pozn.: přepoččet z hodnot průměrného produktu Ytong dle koeficientu.
- (12) BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE E.V. FÜR BAUMIT.DE, *Umwelt-Produktdeklaration, Gips-Kalkputz*. [online] 2014. 8. [cit. 22.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/epd_bvg-20140074-iag1-de.pdf.
pozn.: gültig bis 12.8.2019 (platnost do).
- (13) INDUSTRIEVERBAND WERKMÖRTEL E.V., *Das Portal für Bau und Innenarchitektur, Farbe, Renovieren, Glas konstruktionen, Gebäudeautomation, Led Licht, Beschläge* [online] 2013. [cit. 10.05.2020]. Dostupné z: <http://www.alles4bau.de/firma/industrieverband-werkmortel-e-v/33670>
- (14) SVOBODA SOFTWARE, *TEPLO 2017 EDU*, [počítačový program]. Ver.: 2017.0 EDU Program TEPLO 2017 je určen pro základní tepelně technické posouzení skladby stavební konstrukce z hlediska prostupu tepla a vodní páry. OS Windows
- (15) SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Environmentální prohlášení o produktu ISOVER EPS 100F, ISOVER EPS 100*. [online] 2017. 15. [cit. 26.4.2020] Dostupné z: <https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2019/05/EPD-EPS-100F,100.pdf>.
pozn.: platnost do 1.7.2022.
- (16) XELLA CZ, s.r.o., *Ytong Théta: technický list*. [online] 3. [cit. 17.05.2020] Dostupné z: <http://marketing.fermacell.cz/www-2011/download/ytong-theta.pdf>.
- (17) BAUMIT GMBH, *Baumit 2000: Technisches Merkblatt*. [online] 2020. 3. [cit. 22.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/pdbl_baumit_2000.pdf.
- (18) XELLA CZ, s.r.o., *Doporučené omítkové systémy na zdivo Ytong*. [online] 2020. 31. [cit. 21.10.2020] Dostupné z: <https://www.ytong.cz/cs/docs/doporucene-omitkove-systemy-na-zdivo-ytong-a-silka.pdf>.
- (19) WIENERBERGER, s.r.o., *Porotherm 30 Profi: technický list*. [online] 2. [cit. 20.10.2020] Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_30_Profi.pdf.

- (20) WIENERBERGER, s.r.o., *Environmental Production Declaration, Porotherm*. [online] 2020. 15. [cit. 22.10.2020] Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/certificate/enviromental-product-declaration/CZ_POR_EPD_cihly_MIAKO.pdf.
pozn.: platnost do 03/2025
pozn.: průměrná hodnota ze závodů Wienerberger produkujících Porotherm Profi 30, tj. Jezernice, Týn nad Vltavou, Novosedly na Moravě.
- (21) SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Webertherm elastik: technický list*. [online] [cit. 26.9.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-03/webertherm_elastik_TL.pdf.
- (22) EJOT CZ, s.r.o., *ETICS – hmoždinky a příslušenství: Příručka pro specialisty na fasády*. [online] 78. [cit. 23.10.2020] Dostupné z: https://www.ejot.cz/medias/sys_master/Catalogues%20ETICS/cat-etics/h1c/hf4/9025105821726/Hmo-dinky-pro-ETICS-2015-cz.pdf.
- (23) pozn.: 5ks/m², 33,5g/ks, viz (22), (24)
- (24) EJOT BAUBEFESTIGUNGEN GMBH, *Umwelt-Produktdeklaration, Befestigungssysteme für Wärmedämm-Verbundsysteme*. [online] 2014. [cit. 23.10.2020] Dostupné z: https://www.ejot.cz/medias/sys_master/epdsilb/002/hfb/h44/9030598098974/EJOT-epd-befestigungssysteme-fuer-wdvs-DE.pdf.
pozn.: gültig bis 12.8.2018 (platnost do).
- (25) INDUSTRIEVERBAND WERKMÖRTEL E.V. FÜR BAUMIT.DE, *Umwelt-Produktdeklaration, Mineralische Werkmörtel: Mauermörtel Leichtmauermörtel*. [online] 2014. [cit. 20.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/epd_iwm-20130237-ibg1-de.pdf.
pozn.: gültig bis 12.8.2018 (platnost do).
- (26) BAUMIT, s.s.r.o., *Baumit Termo omítka / Baumit ThermoPutz: Technický list*. [online] 2019. 3. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://baumit.cz/files/cz/pdf_files/pdbl_thermoputz.pdf.
- (27) VERBAND FÜR DÄMMSYSTEME PUTZ UND MÖRTEL E.V. FÜR BAUMIT.DE, *Umwelt-Produktdeklaration, Mineralische Werkmörtel: Putzmörtel Wärmedämmputz*. [online] 2019. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/Technische_Dokumente/Umweltdeklarationen/EPD_Putzmoertel-Waermedaemmputz_29_11_2019.pdf.
pozn.: gültig bis 28.11.2024 (platnost do).
- (28) BAUMIT GMBH. *ThermoPutz*. [online] [cit. 24.10.2020]. Dostupné z: <https://baumit.de/products/maschinenputze-aussen/dammputzehaftputze/thermoputz>.
- (29) BAUMIT GMBH, *MaschinenPutz Innen MPI 25: Technisches Merkblatt*. [online] 2018. 3. [cit. 22.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/pdbl_maschinenputz_innen_mpi_25.pdf.

- (30) INDUSTRIEVERBAND WERKMÖRTEL E.V. FÜR BAUMIT.DE, *Umwelt-Produktdeklaration, Mineralische Werkmörtel: PutzmörtelNormalputz/Edelputz*. [online] 2014. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/epd_iwm-20130242-ibg1-de.pdf.
pozn.: gültig bis 6.2.2019 (platnost do).
- (31) SAINT-GOBAIN CONSTRUCTION PRODUCTS CZ A.S., *Webermix T: technický list*. [online] [cit. 26.9.2020] Dostupné z: https://www.cz.weber/files/cz/2019-04/webermix_T_TL.pdf.
- (32) BAUMIT GMBH, *VorspritzMörtel VS 60: Technisches Merkblatt*. [online] 2018. 3. [cit. 18.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/pdbl_vorspritzm_rtel_vs_60.pdf.
- (33) BAUMIT GMBH, *Normalputzmörtel GP*. [online] 2010. 1. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://baumit.de/files/de/pdf_files/ce_vorspritzm_rtel_vs_60.pdf.
- (34) VERBAND FÜR DÄMMSYSTEME PUTZ UND MÖRTEL E.V. FÜR BAUMIT.DE, *Umwelt-Produktdeklaration, Mineralische Werkmörtel: PutzmörtelNormalputz/Edelputz*. [online] 2019. 11. [cit. 19.10.2020] Dostupné z: https://ch.baumit.com/files/de/Technische_Dokumente/Umweltdeklarationen/EPD_Putzmoertel-NormalputzEdelputz_29_11_2019.pdf.
pozn.: gültig bis 28.11.2024 (platnost do).
- (35) BAUMIT, spol. s r.o., *Doporučené omítkové systémy Baumit na cihelné zdivo Porotherm*. [online] 2019. Number of 3. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://baumit.cz/files/cz/Prospekty/Spoluprace_s_partnery/Porotherm/Baumit_IS_Wienerberger_07_2019.pdf.
- (36) XELLA CZ, s.r.o., *Doporučené omítkové systémy na zdivo Ytong*. [online] 2020. 31. [cit. 21.10.2020] Dostupné z: <https://www.ytong.cz/cs/docs/doporucene-omitkove-systemy-na-zdivo-ytong-a-silka.pdf>.
- (37) WIENERBERGER, s.r.o., *Porotherm 50 T Profi: technický list*. [online] 2. [cit. 25.10.2020] Dostupné z: https://www.wienerberger.cz/content/dam/wienerberger/czech-republic/marketing/documents-magazines/technical/technical-product-info-sheet/wall/CZ_POR_TEC_Pth_50_T_Profi.pdf.

14. Bibliografie

1. EKOWATT- CENTRUM PRO OBNOVITELNÉ ZDROJE A ÚSPORY ENERGIE, *Studie možností úspory energie v Českém průmyslu*. [online] 2008. 120. Dostupné z: http://hnutiduha.cz/uploads/media/moznosti_efektivnosti_prumysl.pdf.
2. ERU, *Roční zpráva o provozu ES ČR 2018*, 2019, ERU: Praha. 48. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2018.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c.
3. CRUTZEN, P.J., et al., *N2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels* [online]. 2008. [cit. 12.8.2020] ISBN: 978-3-319-27460-7. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27460-7_12.
4. MPO, *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, 2020. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/2020/1/Vnitrostani-plan-CR-v-oblasti-energetiky-a-klimatu_final.docx.
5. EVROPSKÝ PARLAMENT a RADA EVROPSKÉ UNIE, Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/842 ze dne 30. května 2018 o závazném každoročním snižování emisí skleníkových plynů členskými státy v období 2021–2030 přispívajícím k opatřením v oblasti klimatu za účelem splnění závazků podle Pařížské dohody a o změně nařízení (EU) č. 525/2013, 2018. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018R0842&from=CS>.
6. EVROPSKÁ KOMISE, *Zelená dohoda pro Evropu*, 2019. 25. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=COM:2019:640:FIN>.
7. MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ, Zpravodaj ministerstva životního prostředí, 2009. Ročník XIX (číslo 5/2009). 32. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BD3DD082C7555274C12575BB004146EE/\\$file/OVV-Zpravodaj_05-2009.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/BD3DD082C7555274C12575BB004146EE/$file/OVV-Zpravodaj_05-2009.pdf).
8. NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM. *Rodinné domy – výstavba*. [online] [cit. 9.11.2020]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-vystavba/>.
9. NOVÁ ZELENÁ ÚSPORÁM. *Detail tiskové zprávy*. ©2020 [online] [cit. 9.11.2020]. Dostupné z: <https://www.novazelenausporam.cz/tiskove-zpravy/detail-tiskove-zpravy/?id=16>.
10. LINHART, L., *Zateplování budov*. 1. vyd. Praha: Grada. 2010. Profi & hobby ISBN: 978-80-247-3361-6.
11. VYHLÁŠKA Č. 78/2013 SB. Vyhláška o energetické náročnosti budov. Sbírka zákonů, 29.03.2013.
12. VYHLÁŠKA Č. 264/2020 SB. Vyhláška o energetické náročnosti budov. Sbírka zákonů, 05.06.2020.

13. ANTONÍN, J. a PURKRTOVÁ, M. *Budovy s téměř nulovou spotřebou energie - Definice*. ©2017 [online] [cit. 11.12.2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15180-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie-definice>.
14. MPO. *Seznam energetických specialistů*. ©2020 [online] [cit. 10.12.2020]. Dostupné z: <https://www.mpo-enex.cz/experti/>.
15. MŽP, *Metodika pro environmentálně odpovědný přístup při zadávání veřejných zakázek a nákupech státní správy a samosprávy*, 2017. 4. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/setrna_verejna_sprava/\\$FILE/OFDN-Uvod-20180314.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/setrna_verejna_sprava/$FILE/OFDN-Uvod-20180314.pdf).
16. MŽP, *Národní program environmentálního značení NPEZ*, 2017. 42. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_znaceni/\\$FILE/OFDN-NPEZ_v2017-20180410.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/environmentalni_znaceni/$FILE/OFDN-NPEZ_v2017-20180410.pdf).
17. BOWEN, F., *After Greenwashing: Symbolic Corporate Environmentalism and Society*. Cambridge: Cambridge University Press. 2014. ISBN: 9781139541213.
18. ČSN ISO 14025. *Environmentální značky a prohlášení - Environmentální prohlášení typu III - Zásady a postupy*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
19. ENVIMAT. *Metodika envimat*. [online] [cit. 18.12.2020]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/>.
20. ENVIMAT. *Co je Envimat?* [online] [cit. 18.12.2020]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz>.
21. KOČÍ, V., *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.
22. VONKA, M., *Metodika SBToolCZ: manuál hodnocení bytových staveb ve fázi návrhu*. Praha: CIDEAS Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí. 2011. ISBN: 978-80-01-04664-7.
23. OTE. *Národní energetický mix*. ©2019 [online] [cit. 18.10.2020]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>.
24. NORDIC ENERGY RESEARCH. *Norway: Energy mix*. ©2018 [online] [cit. 18.10.2020]. Dostupné z: <https://www.nordicenergy.org/figure/energy-mix-norway/>.
25. BORÝSEK, V., *Emise oxidu siřičitého*. Brno, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně: Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce: M. Baláš.
26. ČESKÝ HYDRO-METEOROLOGICKÝ ÚSTAV (ČHMÚ). *Grafická ročenka 2018*. ©2019 [online]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/18groc/gr18cz/IV.4.O3_CHMU2018.pdf.
27. ČESKÝ HYDRO-METEOROLOGICKÝ ÚSTAV (ČHMÚ). *Grafická ročenka 2017*. ©2018 [online]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/17groc/gr17cz/IV4_O3_CZ.html.
28. ČESKÝ HYDRO-METEOROLOGICKÝ ÚSTAV (ČHMÚ). *Grafická ročenka 2016*. ©2017 [online]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/16groc/gr16cz/IV4_O3_CZ.html.
29. HŮNOVÁ, I., *Přízemní ozón*. [online] 2018. Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/download/3175/3152/>.

30. SCHWARZMANN, M. *Vědci zjistili, že ozónová díra je nejmenší v historii*. ©2019 [online] [cit. 16.11.2020]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/vedci-zjistili-ze-ozonova-dira-je-nejmensi-v-historii-1363521>.
31. MATTHEY, A. a BÜNGER, B., *Methodological Convention 3.0 for the Assessment of Environmental Costs*. German Environment Agency, 2019. 45. ISSN: 2363-832X.
32. GHK, *Annex 5 Environmental Impacts Characterisation Factors Analysed: A Study to Examine the Costs and Benefits of the ELV Directive – Final Report, 2006*. 4. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/environment/waste/pdf/study/annex5.pdf>.
33. NOCKER, L.D. a DEBACKER, W., *Annex: Monetisation of the MMG method (update 2017)*. [online] 2018. 65. Dostupné z: <https://www.ovam.be/sites/default/files/atoms/files/Monetisation%20of%20the%20MMG%20method%20-%20Anex%20-%20update%202017.pdf>.
34. SUSTAINABLEMINDS. *Learn about SM Single Score results: Design greener products right, from the start*. ©2020 [online] [cit. 9.11.2020]. Dostupné z: <http://www.sustainableminds.com/showroom/shared/learn-single-score.html>.
35. HUIJBREGTS, M.A.J., et al., *ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level*. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 2016. DOI: 10.1007/s11367-016-1246-y.
36. VONKA, M., et al., *SBToolCZ pro rodinné domy* [online]. 1 vyd. Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2013. 210. [cit. 5.8.2020] ISBN: 978-80-01-05126-9. Dostupné z: https://www.sbtool.cz/upload/metodiky/SBToolCZ_RD_2013.pdf.
37. SBTOOLCZ. *Přílohy emisních a konverzních faktorů*. [online] [cit. 7.11.2020]. Dostupné z: https://www.sbtool.cz/wp-content/uploads/2020/06/P01_emisni-a-konverzni-faktory.pdf.
38. HUNG, C., *Environmental Impacts of Renewable Energy*. Trondheimu, 2010. Diplomová práce. Norwegian University of Science and Technology: Department of Energy and Process Engineering. Vedoucí práce: E. Hertwich.
39. VYHLÁŠKA Č. 480/2012 SB. *Vyhláška o energetickém auditu a energetickém posudku*. Sbírka zákonů, 31.12.2012.
40. SCHNEIDEROVÁ, R., KREMLOVÁ, L., a KADLČÁKOVÁ, A., *Kalkulace a nabídky 1*. Praha: České vysoké učení technické. 2009 dotisk. ISBN: 978-80-01-03532-0.
41. DUNSTON, P.S., *Incorporating Maintainability in Constructability Review Process*. [online] 1999. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/245298320_Incorporating_Maintainability_in_Constructability_Review_Process.
42. TOMÁNKOVÁ, J. a ČÁPOVÁ, D., *Management staveb*. 1. vyd. Praha: FinEco. 2013. ISBN: 978-80-86590-12-7.
43. SCHNEIDEROVÁ, R.H., BROŽOVÁ, L., a STŘELCOVÁ, I., *Kalkulace a nabídky 2*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické. 2008. ISBN: 978-80-01-04091-1.
44. SUŠANKOVÁ, J., *Analýza vedlejších rozpočtových nákladů zhotovitele*. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické: Katedra technologie staveb. Vedoucí práce: V.c. Pospíchal.
45. RTS, a.s. *Cenové ukazatele ve stavebnictví pro rok 2020*. ©2020 [online] [cit. 6.11.2020]. Dostupné z: http://www.cenovasoustava.cz/dok/ceny/thu_2020.html.

46. ČSÚ. *Klasifikace stavebních děl CZ-CC*. ©2019 [online] [cit. 11.12.2020]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/klasifikace_stavebnich_del_cz_cc-
47. ÚRS CZ A.S. *KROS 4 - oceňování a řízení stavební výroby*. ©2020 [online] [cit. 7.11.2020]. Dostupné z: <https://www.urs.cz/software-a-data/kros-4-ocenovani-a-rizeni-stavebni-vyroby>.
48. VÚMOP. *eKatalog BPEJ*. ©2019 [online] [cit. 19.12.2020]. Dostupné z: <https://bpej.vumop.cz>.
49. BERÁNKOVÁ, E. *Životní cyklus staveb*. ©2013 [online] [cit. 21.10.2020]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/udrzba-budov/10219-zivotni-cyklus-staveb>.
50. CHADIM, T. *Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II)*. ©2005 [online] [cit. 14.12.2020]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/2786-vypoctova-pomucka-ekonomicka-efektivnost-investic-ii>.
51. TOPINFO S.R.O. *Vývoj celkových cen elektřiny*. ©2020 [online] [cit. 29.12.2020]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-elektriny>.
52. TOPINFO S.R.O. *Vývoj celkových cen zemního plynu*. ©2020 [online] [cit. 29.12.2020]. Dostupné z: <https://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-zemniho-plynu>.
53. ZÁKON Č. 338/1992 SB. Zákon České národní rady o dani z nemovitých věcí. Sbírka zákonů, 01.07.1992.
54. ČSN 73 0540 – 2:2011. Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Praha: Český normalizační institut, 2011.
55. ČSN 73 2902. Vnější tepelněizolační kompozitní systémy (ETICS). Praha: Český normalizační institut, 2021.
56. HAZUCHA, J., *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: Doporučení pro návrh a stavbu*. 1. vyd. Praha: Grada. 2016. ISBN: ISBN 978-80-247-4551-0.
57. STAVEBNICTVI3000.CZ. *Nízkoenergetické a pasivní domy z jednovrstvé konstrukce Ytong*. ©2015 [online] [cit. 8.10.2020]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/nizkoenergeticke-a-pasivni-domy-z-jednovrstve-konstrukce-ytong>.
58. XELLA CZ, s.r.o. *Tepelněizolační tvárnice Ytong.cz*. [online] [cit. 6.12.2020]. Dostupné z: <https://www.ytong.cz/tepelneizolacni-tvarnice-lambda-yq.php>.