

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Michal Hvězda

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hvězda** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **494107**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Management a ekonomika ve stavebnictví**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vyhodnocení variant svislých nosných konstrukcí a dopadů plynoucích z jejich přizpůsobení současným standardům

Název bakalářské práce anglicky:

Evaluation of different variations of vertical load-bearing structures and impacts resulting from their adaptation to the current standards

Pokyny pro vypracování:

Svislé nosné konstrukce, volba materiálu, vlastnosti
Požadavky nových standardů
Obytná a zastavěná plocha
Ekonomické vyhodnocení

Seznam doporučené literatury:

SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta, Stanislav VITÁSEK, Lucie BROŽOVÁ a Iveta STŘELCOVÁ. Oceňování staveb. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2020. ISBN 978-80-01-06748-2.
REMESŠ, Josef. Stavební příručka: to nejdůležitější z norem, vyhlášek a zákonů. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada, 2014. Stavitel. ISBN 978-80-247-5142-9.
KOČÍ, Vladimír. LCA a EPD stavebních výrobků: posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví. Praha: Česká rada pro šetrné budovy, 2012. ISBN 978-80-260-3504-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Lucie Brožová, Ph.D. katedra ekonomiky a řízení ve stavebnictví FSv

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

Datum zadání bakalářské práce: **28.02.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Lucie Brožová, 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

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení vedoucí bakalářské práce Ing. Lucie Brožové, Ph.D.

Dále prohlašuji, že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Praze dne

Michal Hvězda

Poděkování

Rád bych poděkoval paní Ing. Lucii Brožové, Ph.D. za odborné vedení této práce, cenné rady a ochotu v průběhu zpracovávání této bakalářské práce.

Vyhodnocení variant svislých nosných konstrukcí a dopadů
plynoucích z jejich přizpůsobení současným standardům

Evaluation of different variations of vertical load-bearing
structures and impacts resulting from their adaptation to the
current standards

Anotace

Bakalářská práce se zaměřuje na problematiku svislých nosných konstrukcí a hledá optimální variantu vyhovující jak z hlediska ekonomického, tak environmentálního. V průběhu této práce budou analyzovány různé varianty konstrukcí ve dvou standardech a vybráno optimální řešení v souladu s těmito kritérii pro zvolenou stavbu. Finální vyhodnocení bude zahrnovat i posouzení investice do vyššího standardu z hlediska výnosnosti a snížené uhlíkové stopy za dobu využívání. Cílem této práce je nalézt řešení, které splní všechny ekonomické a technické požadavky v kombinaci s co nejnižším dopadem na životní prostředí.

Annotation

The bachelor thesis focuses on the issue of vertical load-bearing structures and searches for an optimal solution that satisfies both economic and environmental criteria. During this work, various structure variants will be analyzed in two standards and the optimal solution will be selected according to these criteria for the selected building. The final evaluation will also include an assessment of the investment in a higher standard in terms of profitability and reduced carbon footprint during the period of use. The aim of this thesis is to find a solution that meets all economic and technical requirements in combination with the lowest possible impact on the environment.

Klíčová slova

Svislé nosné konstrukce, náklady, podlahová plocha, uhlíková stopa, varianta, standard, bytový dům

Key Words

Vertical load-bearing structures, costs, floor area, carbon footprint, variation, standard, apartment building

Obsah

Úvod	8
Cíl práce	9
Metodika práce	10
1. Teoretická část	11
1.1 Svislé konstrukce	11
1.2 Stavební rozpočet	19
1.3 Uhlíková stopa	21
1.4 Podlahová plocha	28
1.5 Zastavěná plocha	29
2. Praktická část	29
2.1 Bytový dům B3	29
2.2 Postup vypracování	30
2.3 Varianta 1 – Původní varianta – Systém Porotherm s využitím samostatné izolace	33
2.4 Varianta 2 – Systém Porotherm – Využití tepelněizolačních tvárníc	45
2.5 Varianta 3 – Systém Ytong	52
2.6 Varianta 4 – Monolitická konstrukce ze železobetonu	62
2.7 Varianta 5 – Využití tvárníc Liapor (keramzitbeton)	71
2.8 Vyhodnocení variant podle jednotlivých kritérií	81
2.9 Finální vyhodnocení a výběr optimální varianty	86
2.10 Vyhodnocení návratnosti investice do zvýšení standardu	87
3. Závěr	94
Bibliografie	95
Seznam obrázků	100
Seznam tabulek	103
Seznam Příloh	105

Úvod

V posledních letech se stupňuje tlak na snižování dopadů na životní prostředí a tento tlak se nevyhýbá ani stavebnictví. Snižování environmentálních dopadů stavebnictví je dlouhodobým cílem, ale je třeba zachovat i ekonomickou rentabilitu. Tato bakalářská práce je zaměřena na nalezení varianty svislé nosné konstrukce, která by našla co nejvyšší rovnováhu mezi těmito požadavky a následně vyhodnotila, jestli se vyplatí investice do vyššího standardu obvodových konstrukcí.

Teoretická část této práce slouží k představení problematiky svislých nosných konstrukcí, představeny budou pojmy jako koeficient prostupu tepla, podlahová a zastavěná plocha, či uhlíková stopa.

Praktická část této práce je zaměřena na aplikování těchto poznatků na dříve navržený stavební objekt. Pro tento objekt bude zhotoveno několik variant materiálového řešení svislých nosných konstrukcí doplněných o systém zateplení, které budou zhotoveny ve dvou specifikacích pro původně navržený standard a standard splňující přísnější podmínky prostupu tepla, dále budou určeny náklady, dopady volby, na podlahovou plochu budovy při zachování stejné zastavěné plochy a uhlíková stopa jednotlivých variant v obou specifikacích. U výsledné optimální varianty bude posouzena potenciální návratnost při investici do vyššího standardu, a to jak z hlediska nákladů, tak z hlediska uhlíkové stopy.

Cíl práce

Cílem této práce je na vybraném objektu určit takovou variantu svislé nosné konstrukce, která nejlépe kombinuje kritéria celkových nákladů, uhlíkové stopy a celkové podlahové plochy. Druhým cílem práce je zjistit, zda se vyplatí investice do vyššího standardu těchto konstrukcí, a to jak z hlediska finančního, tak enviromentálního a určit tak, jestli se vyplatí v projektech podobných parametrů celkový standard svislých nosných konstrukcí zvyšovat.

Metodika práce

Pro dosažení cíle této práce byl zvolen následující postup:

Nejprve bude proveden popis stávajícího návrhu stavby, po kterém dojde k návržení vhodných variant pro nahrazení stávajícího řešení. Poté se provede porovnání původního řešení s navrženými variantami ve dvou standardech.

Pro každou alternativu a oba její standardy budou stanoveny celkové náklady, celková uhlíková stopa a celková podlahová plocha. Všechny varianty a standardy budou vyhodnoceny na základě těchto kritérií a bude vybrána optimální varianta.

Pro stanovení váhy jednotlivých kritérií bude použita metoda pořadí. Pro každou variantu bude určeno pořadí na základě výsledků hodnot, kterých varianta nabývá v daném kritériu. Následně budou variantám přiřazeny body podle jejich pořadí. Po pronásobení bodů s váhami kritérií bude jako optimální varianta zvolena ta, která dosáhne nejvyšší hodnoty.

Následně dojde u vítězné alternativy a v obou jejích standardech k posouzení v aplikaci Energie 2020, aby byla určena ekonomická a environmentální návratnost investice do vyššího standardu.

Výsledná varianta se tak stane optimální volbou pro vybranou stavbu z hlediska nákladů i environmentálního dopadu.

1. Teoretická část

1.1 Svislé konstrukce

Svislé konstrukce jsou stavební prvky, které je možné dělit na nosné a nenosné. Prvotní funkce těchto konstrukcí je nosná a ztužující. Dále mohou tyto konstrukce plnit funkci dělicí, tepelně izolační, akustickou, nebo protipožární.

Mezi svislé konstrukce jsou řazeny:

- nosné stěny – plní nosnou a ztužující funkci konstrukce,
- sloupy – volně stojící nosné prvky přenášející zatížení,
- pilíře – sloupy o větších rozměrech,
- stěnový pilíř – stěna s výrazně vyšší tloušťkou oproti běžné stěně,
- příčky – nenosné stěny s primární dělicí funkcí,
- komíny – konstrukce sloužící k odvodu spalin z budovy,
- překlady – nosné překlady slouží k přenesení zatížení nad otvory, nenosné tvoří vrchní část otvorů. (Hájek, 2005)

1.1.1 Svislé nosné konstrukce

Svislé nosné konstrukce jsou důležitým prvkem, neboť podepírají konstrukce stropní a dohromady tak tvoří nosný systém budovy. Tyto konstrukce musí vyhovovat požadavkům statickým, protipožárním, akustickým a tepelněizolačním.

Svislé nosné konstrukce můžeme následně dělit podle:

- konstrukčního hlediska,
- technologického hlediska,
- materiálového hlediska. (Hájek, 2005)

1.1.1.1 Konstrukční dělení svislých nosných konstrukcí

Svislé nosné konstrukce lze z hlediska konstrukčního dělit na:

- nosné stěny – plošný prvek, u kterého převažuje výška a délka nad tloušťkou,
- sloupy – prvek, kde převažuje výška nad půdorysnými rozměry,
- pilíř – prvek je sloupkem s většími půdorysnými rozměry,
- stěnový pilíř – nosná stěna, u které je převaha výšky a délky nad tloušťkou významně nižší nežli u běžné nosné stěny. (Hájek, 2005)

1.1.1.2 Technologické dělení svislých nosných konstrukcí

Svislé nosné konstrukce jsou z hlediska technologického děleny na:

Zděné konstrukce

Tyto konstrukce jsou charakteristické používáním relativně malých kusových stavebních dílců, které jsou zpravidla spojovány maltou. Hmotnost využívaných prvků by měla být taková, aby se daly snadno osazovat ručně. Únosnost zdiva závisí na pevnosti zdících prvků a na druhu použité malty.

Monolitické konstrukce

U monolitických konstrukcí je primárním materiálem beton a případně je doplněn ocelovou výztuží. Nevýhodou těchto konstrukcí je vysoká pracnost na staveništi, kdy je vyžadováno nejdříve připravit bednění a delší doba výstavby z důvodu čekání na zatuhnutí směsi. Nejmenší doporučená tloušťka těchto konstrukcí je technologických důvodů stanovena 150 mm.

Prefabrikované konstrukce

Tyto konstrukce jsou výsledkem snahy o snížení pracnosti na staveništi v případě využití monolitické konstrukce, kdy jsou předem vytvořené dílce z betonu, či železobetonu dopravovány na stavbu, kde jsou následně poskládány do konečné stavby. Nevýhodou může být nižší kvalita výsledných prvků, doprava těchto prvků na stavbu, či nutnost řešení styků jednotlivých dílců.

Prefa-monolitické konstrukce

Tento typ konstrukcí využívá prefabrikovaných dílců betonu jako bednění pro monolitickou část konstrukce. Tyto dílce zůstávají trvalou součástí konstrukce a tvoří „ztracené“ bednění. Výhodou této technologie je kombinace ušetřených nákladů za bednění a zároveň i odstranění nutnosti dopravy velkých prefabrikovaných dílců (Hájek, 2005)

1.1.1.3 Materiálové dělení svislých nosných konstrukcí

Svislé nosné konstrukce jsou dělitelné též podle materiálů. Pro lepší organizaci v tomto dělení jsou rozděleny do následující kategorií, které částečně využívají dříve uvedeného dělení z hlediska technologického:

Zděné konstrukce stěn a pilířů

Do této kategorie patří konstrukce z následujících materiálů

- pálené cihly plné a vylehčené,
- nepálené cihly plné a vylehčené,
- tvárnice z pórobetonu,
- lomový kámen nebo kamenné kvádry,
- vápenopískové cihly,
- betonové tvárnice s lehkým nebo hutným kamenivem.

Betonové sloupy a stěny

Dřevěné stěny a sloupy

Ocelové sloupy (Hájek, 2005)

1.1.1.4 Statické požadavky

Požadavek na statickou únosnost a ztužení je primární požadavek na svislé nosné konstrukce. Nosná funkce zajišťuje, že dojde k přenosu veškerého zatížení od vodorovných konstrukcí do konstrukcí základových. Toto zatížení je v základu svislé a může působit dostředně nebo mimostředně. (Hájek, 2005)

1.1.1.5 Akustické požadavky

Mezi požadavky, kterým musí svislé nosné konstrukce vyhovět patří požadavky akustické. Tento požadavek je obzvláště důležitý i vzhledem k dělicí funkci těchto konstrukcí, kdy musí být zajištěno, aby se zvuk nepřenášel mezi jednotlivými místnostmi. Pro určení akustických vlastností konstrukce je využívána veličina

vzduchové neprůzvučnosti R_w , která definuje odpor průniku zvuku ze vzduchu z jedné místnosti do druhé. Pro tuto veličinu platí, že dosahuje lepších hodnot se zvyšující se objemovou hmotností materiálu, a tudíž materiály s vysokou objemovou hmotností zpravidla vyhovují. Maximální povolené hodnoty této veličiny jsou určeny normou ČSN 73 0532. (ČSN 73 0532, 2020)

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)						
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci				
		Stropy		Stěny	Dveře	
		$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$ dB	$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	R_w dB	
A. Bytové domy, rodinné domy, terasové nebo řadové domy a dvojdomy – všechny obytné místnosti bytu						
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	≥ 47	≤ 58	$\geq 40^a$	$\geq 27^a$	
B. Bytové domy, rodinné domy s více než jedním bytem – obytné místnosti bytu						
2	Všechny místnosti druhých bytů včetně příslušenství	≥ 54 $\geq 52^b$	≤ 53 $\leq 58^b$	≥ 53 $\geq 52^b$	– –	
3	Terasy a lodžie druhých bytů nad obytnou místností	≥ 52	≤ 58	–	–	
4	Společné prostory domu (schodiště, chodby, terasy, kočárkárny, sušárny, sklípky apod.)	≥ 52	≤ 53	≥ 52	$\geq 32^c$ $\geq 37^d$	
5	Průjezdy, podjezdy, garáže, průchody, podchody	≥ 57	≤ 48	≥ 57	–	
6	Místnosti s technickým zařízením domu (výměňikové stanice, kotelny, strojovny výtahů, strojovny VZT, prádelny apod.) s hlukem:	$L_{A,max} \leq 80$ dB	$\geq 57^e$	$\leq 48^e$	$\geq 57^e$	–
		80 dB $< L_{A,max} \leq 85$ dB	$\geq 62^e$	$\leq 48^e$	$\geq 62^e$	–
7	Provozovny s hlukem $L_{A,max} \leq 85$ dB: s provozem nejvýše do 22:00 h s provozem i po 22:00 h	$\geq 57^e$	$\leq 50^e$	$\geq 57^e$	–	
		$\geq 62^e$	$\leq 45^e$	$\geq 62^e$	–	
8	Provozovny s hlukem 85 dB $< L_{A,max} \leq 95$ dB s provozem nejvýše do 22:00 h s provozem i po 22:00 h	$\geq 67^e$ $\geq 72^e$	$\leq 43^e$ $\leq 38^e$	$\geq 67^e$ $\geq 72^e$	–	

Obrázek 1: Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách (ČSN 73 0532, 2020)

1.1.1.6 Protipožární požadavky

Svislé nosné konstrukce jsou z hlediska požární odolnosti budovy rozhodujícím prvkem. Tyto konstrukce často plní i roli dělicích požárních konstrukcí a rozdělují budovu na požární úseky. Pro konstrukce je nutné prokázat, že vyhovují požadavku REI (t), který říká, že po dobu stanovenou jako t, nedojde ke ztrátě statických vlastností a celistvosti konstrukce. Doba t je definována pro časy 15, 30, 45, 60, 90, 120 a 180 minut. Pro kterou konstrukci platí, který parametr lze zjistit z normy ČSN 73 0802. (Hájek, 2005)

Položka	Stavební konstrukce	Stupeň požární bezpečnosti požárního úseku						
		I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
		Požární odolnost stavební konstrukce a její druh (viz 7.2.4) ³⁾						
1	Požární stěny a požární stropy, viz 8.2 a 8.3, a) v podzemních podlažích b) v nadzemních podlažích c) v posledním nadzemním podlaží d) mezi objekty	30 DP1 15* 15* 30 DP1	45 DP1 30* 15* 45 DP1	60 DP1 45* 30* 60 DP1	90 DP1 60* 30* 90 DP1	120 DP1 90* 45* 120 DP1	180 DP1 120 DP1 60 DP1 180 DP1	180 DP1 180 DP1 90 DP1 180 DP1
2	Požární uzávěry otvorů v požárních stěnách a požárních stropěch, viz 8.5.1, a) v podzemních podlažích a ve všech podlažích mezi objekty b) v nadzemních podlažích c) v posledním nadzemním podlaží	15 DP1 15 DP3 15 DP3	30 DP1 15 DP3 15 DP3	30 DP1 30 DP3 15 DP3	45 DP1 30 DP3 30 DP3	60 DP1 45 DP2 30 DP3	90 DP1 60 DP1 45 DP2	90 DP1 90 DP1 60 DP1
3	Obvodové stěny, viz 8.4.1 a 8.4.10, a) zajišťující stabilitu objektu nebo jeho části 1) v podzemních podlažích 2) v nadzemních podlažích 3) v posledním nadzemním podlaží b) nezajišťující stabilitu objektu nebo jeho části (bez ohledu na podlaží)	30 DP1 15* 15* ¹⁾ 15* ²⁾	45 DP1 30* 15* 15*	60 DP1 45* 30* 30*	90 DP1 60* 30* 30*	120 DP1 90* 45* 45*	180 DP1 120 DP1 60 DP1 60 DP1	180 DP1 180 DP1 90 DP1 90 DP1
4	Nosné konstrukce střech, viz 8.7.2	15 ¹⁾	15	30	30	45	60 DP1	90 DP1
5	Nosné konstrukce uvnitř požárního úseku, které zajišťují stabilitu objektu, viz 8.7.1 a 8.7.2, a) v podzemních podlažích b) v nadzemních podlažích c) v posledním nadzemním podlaží	30 DP1 15 15 ¹⁾	45 DP1 30 15	60 DP1 45 30	90 DP1 60 30	120 DP1 90 45	180 DP1 120 DP1 60 DP1	180 DP1 180 DP1 90 DP1
6	Nosné konstrukce vně objektu, které zajišťují stabilitu objektu (bez ohledu na podlaží), viz 8.7.3	15 ¹⁾	15	15	30	30 DP1	45 DP1	60 DP1
7	Nosné konstrukce uvnitř požárního úseku, které nezajišťují stabilitu objektu, viz 8.7.5	15 ¹⁾	15	30	30	45	45 DP1	60 DP1

Obrázek 2: Požární odolnost stavebních konstrukcí a jejich druh (ČSN 73 0802 ed. 2, 2020)

1.1.1.7 Tepelně technické požadavky

Tento požadavek je pro tuto práci nejdůležitější, neboť právě on slouží k rozlišení jednotlivých standardů, které budou v praktické části představeny. Tento požadavek je definován jako požadovaná a doporučená hodnota součinitele prostupu tepla U (W/m^2K). Součinitel prostupu tepla udává množství tepla, které projde za jednotku času skrze $1 m^2$ stavebního dílce při teplotním rozdílu mezi oběma stranami konstrukce ve výši 1 Kelvin. V dnešní době je výrazná snaha o to, aby hodnota tohoto součinitele byla co nejnižší. (U - součinitel prostupu tepla)

Hodnota součinitele U se vypočítá pomocí následujícího vztahu (1):

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad (1)$$

R_{si} = odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce

R_{se} = odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce

R = tepelný odpor konstrukce (ČSN 73 0540-4, 2005)

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/(m ² ·K)]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,30 ¹⁾	těžká: 0,25	0,18 až 0,12
		lehká: 0,20	
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině ^{4), 6)}	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,75	0,50	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině ⁶⁾	0,85	0,60	0,45 až 0,30
Stěna mezi sousedními budovami ³⁾	1,05	0,70	0,5
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,70	
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,30	0,90	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,7	1,80	
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	1,5 ²⁾	1,2	0,8 až 0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	1,4 ⁷⁾	1,1	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	1,7	1,2	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	3,5	2,3	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	3,5	2,3	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	2,6	1,7	1,4










Obrázek 3: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla (ČSN 73 0540-2, 2012)

Pro plnění tepelně technických požadavků existuje i grafické zpracování známé též jako energetický štítek obálky budovy. Tento štítek slouží jako klasifikace prostupu tepla obálkou budovy a je rozdělen do 7 tříd. (Remeš, 2014)

Tabulka 1: Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy

Energetický štítek: Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy	
Klasifikační třída	Slovní vyjádření klasifikační třídy
A	Velmi úsporná
B	Úsporná
C	Vyhovující
D	Nevyhovující
E	Nehospodárná
F	Velmi nehospodárná
G	Mimořádně nehospodárná

(Remeš, 2014)

ENERGETICKÝ ŠTÍTEK OBÁLKY BUDOVY			
Typ budovy, místní označení Adresa budovy		Hodnocení obálky budovy	
Celková podlahová plocha $A_c = \text{_____m}^2$		stávající	doporučení
CI	Velmi úsporná		
0,5			
0,75			
1,0			
1,5			
2,0			
2,5			
			
	Mimořádně nehospodárná		
KLASIFIKACE			
Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} ve $W/(m^2 \cdot K)$ $U_{em} = H_T/A$			
Požadovaná hodnota průměrného součinitele prostupu tepla obálky budovy podle ČSN 73 0540-2 $U_{em,N}$ ve $W/(m^2 \cdot K)$			

Obrázek 4: Energetický štítek obálky budovy (ČSN 73 0540-2, 2012)

1.1.1.7.1 Program Teplo 2017

V této práci je pro výpočet součinitele prostupu tepla využíván program Teplo 2017. Tento program je určen pro základní posouzení skladby stavební konstrukce. Konkrétně se zaměřuje na prostup tepla a vodní páry. Umožňuje výpočet tepelného odporu, kondenzace a roční bilance zkondenzované páry. Program své výpočty provádí v souladu s normou ČSN 730540. (Svoboda)

1.2 Stavební rozpočet

1.2.1 Stavební rozpočet

Cílem oceňování ve stavebnictví je v ideálním případě sestavit výčet všech nákladů, které vznikají v souvislosti se stavební činností a následně je sestavit do formy, která bude přehledná a srozumitelná pro všechny uživatele. Tento výčet je obecně označován jako stavební rozpočet. Mezi účastníky stavebního řízení jsou zařazováni:

- stavebník,
- zhotovitel,
- projektant,
- orgány státní správy,
- banky.

Rozpočty jsou děleny do tří kategorií:

Kontrolní rozpočet

Kontrolní rozpočet slouží k přezkumu výsledného soupisu prací ve vztahu k projektové dokumentaci včetně interního ocenění pro investora. Ceny použité pro ocenění těchto rozpočtů jsou buďto směrné, tedy vycházející z cenových databází, nebo expertní. Zadavatel díky tomuto rozpočtu získá přesnější odhad celkových nákladů na stavební objekt před tím, nežli dostane vyplněné nabídkové rozpočty od dodavatelů

Nabídkový rozpočet

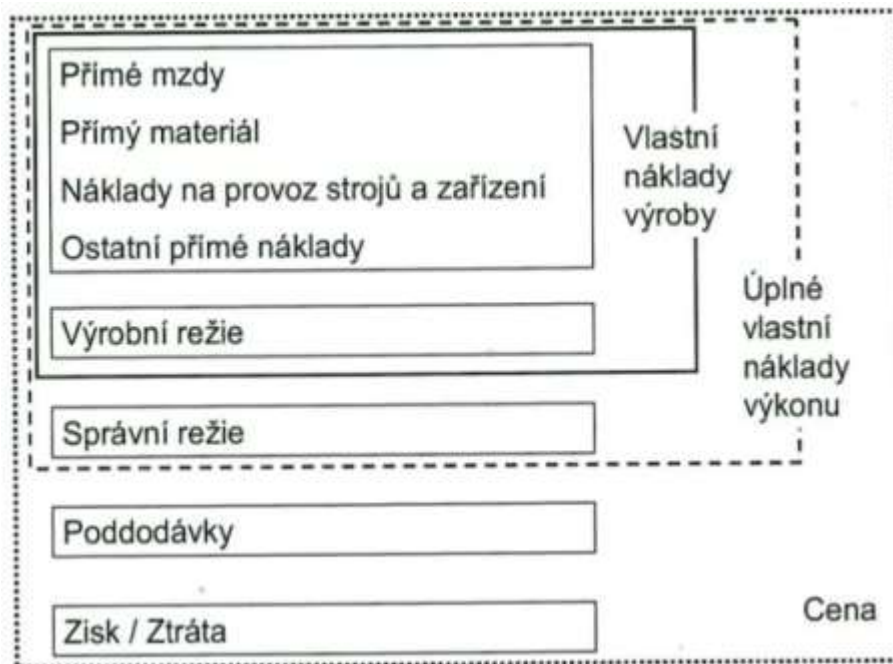
Nabídkový rozpočet je předkládán dodavatelem investorovi jako návrh ceny za stavební zakázku. Tento rozpočet je oceňován na základě interních cen jednotlivých dodavatelů a jejich subdodavatelů. Struktura těchto rozpočtů se skládá z krycího listu, rekapitulace a oceněných soupisů prací

Realizační rozpočet

Realizační rozpočet je sestavován oběma stranami výstavbového procesu po převzetí stavebního díla jako součást finálního vyhodnocení projektu. Jeho struktura není vázaná na původní strukturu. Podkladem pro tento rozpočet jsou skutečně vykázané náklady a jedná se o výslednou kalkulaci pro dodavatele (Schneiderová Heralová et al., 2020)

1.2.1.1 Druhy cen ve stavebním rozpočtu

Pro stavební rozpočet jsou rozlišovány dva základní druhy cen. Těmito cenami jsou pro kontrolní rozpočet použité směrné, či expertní ceny a pro nabídkový rozpočet využívané firemní ceny. Kalkulace cen je založena na kalkulačním vzorci. (Schneiderová Heralová et al., 2020)



Obrázek 5: Kalkulační vzorec (Schneiderová Heralová et al., 2020)

Přímé náklady jsou tvořeny náklady na materiál, mzdy, stroje, ostatní přímé náklady a pododávky. Nepřímé náklady jsou tvořeny výrobní a správní režii a rizikem. Nepřímé náklady jsou zpravidla vypočteny pomocí přírážek založených na přírážkové kalkulaci. Výše zisku je stanovena jako přírážka vycházející z požadovaného zisku.

Směrné, či expertní ceny jsou obsaženy v cenových soustavách, které slouží jako podklad pro rozpočtářské programy. Tyto soustavy jsou detailní seznamy

standardizovaných cen stavebních prací, nebo materiálů. Výstupem z těchto programů je kontrolní rozpočet. (Schneiderová Heralová et al., 2020)

1.2.2 Cenové soustavy

Cenová soustava je ucelená databáze zahrnující informace o cenách montážních a stavebních prací, produktech a materiálech. Tyto položky jsou následně zařazeny podle uceleného systému dané databáze. Jednotlivé položky obsahují základní popis, kód, měrnou jednotku a jednotkovou cenu. Tato cena je stanovena statistickými metodami z dat respondentů zasazených do struktury kalkulačního vzorce. Na českém trhu jsou dostupné tři databáze:

- CS ÚRS – ÚRS CZ a.s.
- RTS DATA – RTS a.s.
- Oborový třídník stavebních konstrukcí a prací OTSKP (Schneiderová Heralová et al., 2020)

1.2.3 Program Kros 4

V této práci je pro zpracování rozpočtů využíván program Kros 4. Tento program je vyvíjen společností ÚRS CZ a.s. a využívá tedy cenovou soustavu CS ÚRS, nabízí ovšem podporu i jiných databází cen stavebních prací.

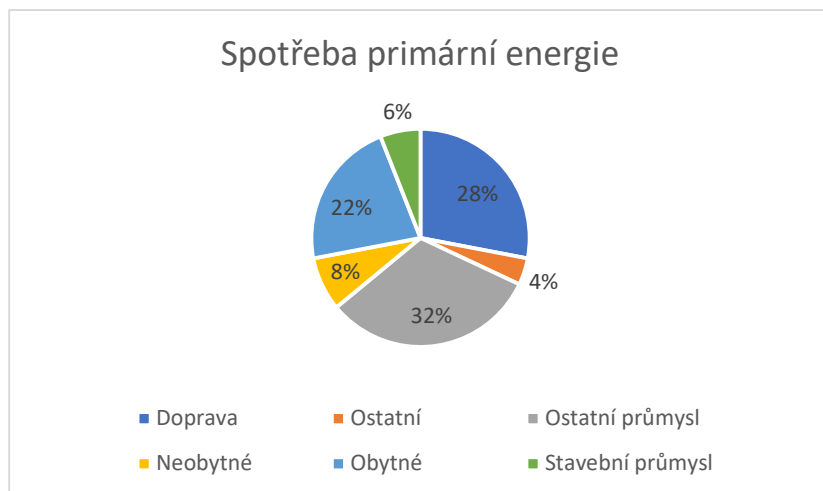
Tento program pokrývá celý proces výstavby od plánování nákladů až po realizaci, kdy kromě tvorby samotných rozpočtů nabízí i možnosti zpracování fakturací a časových plánů. (KROS 4 - profesionální rozpočtování staveb)

1.3 Uhlíková stopa

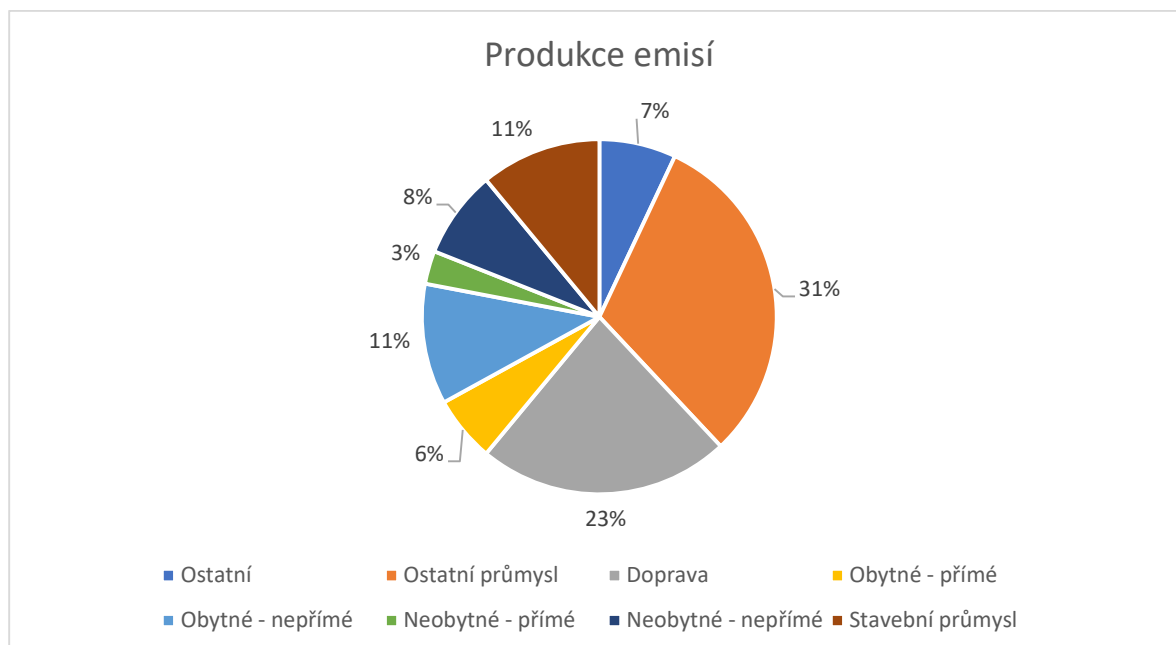
1.3.1 Úvod do problematiky uhlíkové stopy ve stavebnictví

Uhlíková stopa se využívá jako měřítko pro dopad lidské činnosti na životní prostředí. Do tohoto parametru jsou zahrnovány všechny emise skleníkových plynů vyprodukované při výrobě a přepravě produktů i emise související s výrobou elektřiny, která je potřeba pro výrobu těchto výrobků. Jednotkou, která vyjadřuje uhlíkovou stopu je potenciál globálního oteplování (GWP) vyjadřující svázané emise CO₂ ekvivalentní k emisím vyprodukovaným během životního cyklu daného výrobku nebo jeho části. Důležité je zdůraznit, že ekvivalentní znamená, že se nejedná pouze o emise CO₂, nýbrž o všechny skleníkové plyny. Předchůdcem uhlíkové stopy byla takzvaná ekologická stopa. (Selin)

Stavebnictví jako odvětví průmyslu je zodpovědné za 11 % celkové produkce uhlíkové stopy. Do této hodnoty jsou primárně zahrnuty náklady na výrobu stavebních materiálů a na jejich dopravu na staveniště, pokud jsou zahrnuty i emise vznikající v průběhu životního cyklu budovy, tento podíl naroste až na 39 %. Toto odvětví též zodpovídá za 36 % celkové spotřeby primárních energie. (2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector., 2019)



Obrázek 6: Spotřeba primární energie (2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector., 2019)



Obrázek 7: Celková produkce emisí (2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector., 2019)

Uhlíkovou stopu lze dělit následovně:

Přímá uhlíková stopa

- zanechána v rámci konkrétní aktivity,
- výroba a doprava stavebního materiálu,
- provoz stavebních strojů.

Nepřímá uhlíková stopa

- emise uvolněné v rámci životního cyklu značené LCA.

1.3.1.1 Současná situace

V poslední době se zvyšuje tlak na snižování uhlíkové stopy sektoru budov a stavebnictví, ačkoliv je možné sledovat, že jen mezi lety 2010 a 2018 došlo k nárůstu uhlíkové stopy o 7 %. Pro obrácení tohoto trendu a dosažení konečného cíle uhlíkové neutrality je dáván větší důraz na využívání obnovitelných zdrojů, využívání stavebních materiálů, jejichž uhlíková stopa je nižší, či záporná a snižování energetické náročnosti budov. (2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector., 2019)

1.3.2 LCA – Life Cycle Assessment

LCA je základní metodikou pro hodnocení environmentální kvality produktu z hlediska jeho životního cyklu. Lze jí využít na jakýkoliv produkt lidské činnosti a je tedy možné ji aplikovat i na stavební materiály. Tato metoda definuje následné fáze životního cyklu stavebního materiálu

- těžba surovin,
- výroba,
- doprava na stavbu,
- zabudování materiálu,
- údržba materiálu,
- likvidace,
- recyklace.

V případě, že jsou do hodnocení materiálu zahrnuty všechny tyto fáze až po likvidaci, jedná se o přístup „Cradle to Grave“, nebo od kolébky do hrobu, pokud je zahrnuta i recyklace jedná se o „Cradle to Cradle“, tedy od kolébky zpět do kolébky.

Pro stavební materiály se používá systémová hranice „Cradle to Gate“ nebo „Cradle to Site“. Do těchto kategorií jsou zahrnuty pouze těžba surovin a výroba materiálu, v případě „Cradle to Site“ je zahrnuta ještě fáze dopravy. (LCA)

1.3.3 GHG Protokol

GHG protokol je mezinárodním standardem, který rozděluje emise související s činnostmi podniků do tří oblastí, definovaných jako *scopes*. Podnik je povinen poskytnout údaje pro scope 1 a 2. Scope 3 není povinná.

1.3.3.1 Scope 1 – přímé emise

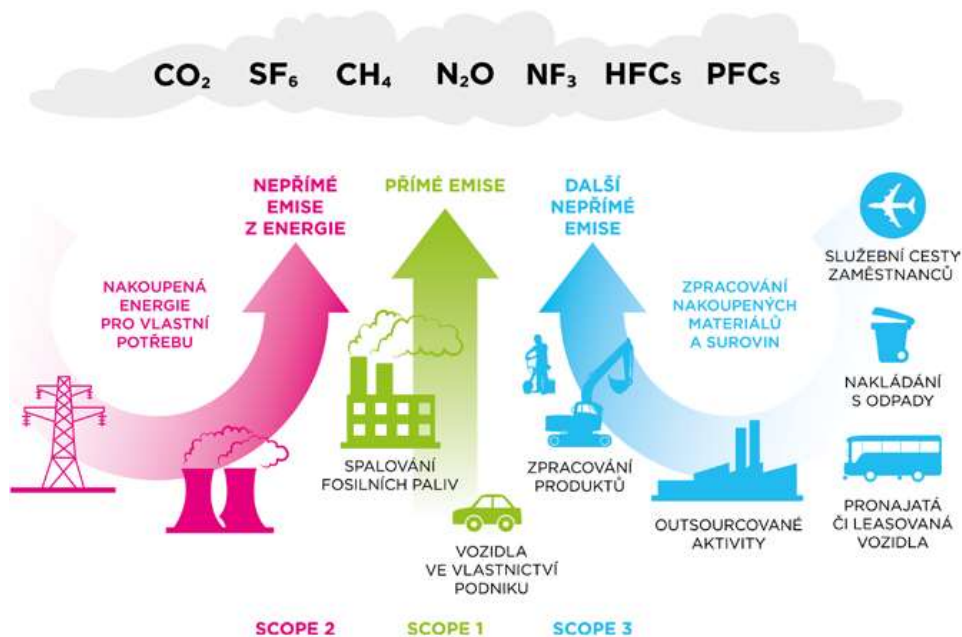
V této oblasti jsou zahrnuty aktivity, které přímo spadají pod daný podnik, má nad nimi kontrolu a jsou při nich uvolňovány emise do ovzduší. Tyto emise jsou evidovány jako emise přímé. Zahrnuty jsou emise z kotlů, generátorů přímo v podniku, mobilní zdroje ve vlastnictví podniku, či z průmyslových procesů.

1.3.3.2 Scope 2 – nepřímé emise z energie

Do této oblasti spadají emise spojené se spotřebou nakupované energie, které nevznikají přímo v podniku, ale jsou přímým důsledkem aktivit podniku.

1.3.3.3 Scope 3 – další nepřímé emise

V této oblasti se nachází emise, které jsou následkem aktivit podniku a vznikají mimo kontrolu či vlastnictví podniku, ale nespádají do oblasti Scope 2. Jedná se o nejširší a nejméně vymezenou kategorii, která se mezi podniky špatně srovnává. Není povinné tuto oblast uvádět, ale v poslední době firmy stále častěji tuto oblast vykazují s cílem prokázat inovativní management snižování emisí. (Třebický, 2016)



Obrázek 8: Grafické znázornění složení uhlíkové stopy podniku (Třebický, 2016)

1.3.4 Databáze enviromentálních dopadů

Údaje o enviromentálních dopadech jednotlivých stavebních materiálu jsou sdružovány do databází. Těmito databázemi jsou:

- EPD
- Envimat

1.3.4.1 Enviromentální prohlášení o produktu (EPD)

Enviromentální prohlášení o produktu je transparentní deklarace vlastností výrobku. Tento dokument prezentuje skutečné dopady výrobku na životní prostředí. V tomto dokumentu jsou uvedeny soubory měřitelných informací o vlivu produktu na životní prostředí v celém jeho životním cyklu.

Cílem tohoto dokumentu je poskytovat informace založené na LCA, pomoci zákazníkům se srovnáním produktů a povzbudit zlepšování enviromentálních profilů produktů. (Environmentální prohlášení o produktu)

Parametr	Jednotka	Fáze výroby	Fáze výstavby		Fáze užívání	Fáze konce životního cyklu				Potenciál opětovného využití, recyklace
		A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D
Potenciál globálního oteplování (GWP) ¹	kg CO ₂ ekv. /FU	4,4 E+00	1,7 E-01	2,8 E+00 / 2,3 E-01	MND	MND	4,5 E-02	0	0	4,3 E-01
Potenciál úbytku stratosférické ozónové vrstvy (ODP) ²	kg CFC 11 ekv. /FU	3,2 E-08	1,2 E-07	8,4 E-09 / 8,4 E-09	MND	MND	3,1 E-08	0	0	1,3 E-07
Potenciál acidifikace půdy a vody (AP) ³	kg SO ₂ ekv. /FU	5,8 E-03	1,0 E-03	6,9 E-03 / 3,5 E-04	MND	MND	2,7 E-04	0	0	4,2 E-03
Potenciál eutrofizace (EP) ⁴	kg PO ₄ ³⁻ ekv. /FU	1,0 E-03	2,5 E-04	8,8 E-04 / 6,5 E-05	MND	MND	6,6 E-05	0	3,2 E-06	8,2 E-05
Potenciál tvorby přízemního ozónu (POCP) ⁵	kg C ₂ H ₄ ekv. /FU	2,7 E-03	7,4 E-05	6,8 E-04 / 1,4 E-04	MND	MND	2,0 E-05	0	0	3,0 E-04
Potenciál úbytku surovin nefosilních zdrojů (ADP-prvky) ⁶	kg Sb ekv. /FU	1,8 E-06	4,3 E-11	1,6 E-07 / 8,8 E-08	MND	MND	1,1 E-11	0	0	3,5 E-07
Potenciál úbytku surovin fosilních zdrojů (ADP-fosilní paliva) ⁶	MJ (výhřevnost) /FU	1,3 E+02	2,1 E+00	2,0 E+01 / 6,5 E+00	MND	MND	5,6 E-01	0	0	1,7 E+01

Obrázek 9: Enviromentální dopady EPS 70 F dle EPD (Epd-eps-70f)

1.3.4.2 Envimat

Databáze Envimat je první český interaktivní katalog stavebních materiálů, který posuzuje jejich dopad na životní prostředí. Tento katalog využívá k výpočtu enviromentálních profilů materiálů mezinárodní databázi Ecoinvent. V plánu je, aby databáze později obsahovala data získaná metodikou EPD a stala se tak aktuální primárně pro český trh. Tato databáze vznikla ve spolupráci s Fakultou Stavební ČVUT v roce 2010. (Metodika envimatu)

Betony a železobetony

Název	PEI ²	GWP ²	AP ²	ρ ²	λ ²	
	MI/kg	kg CO ₂ ekv./kg	g SO ₂ ekv./kg	kg/m ³	W/mK	
ECO-120 <u>Beton chudý</u>	0,3445	0,0557	0,1100	2190	1,23	
ECO-044 <u>Beton prostý</u>	0,5745	0,1098	0,1848	2380	1,36	
ECO-042 <u>Beton vysokopevnostní</u>	0,6907	0,1331	0,2217	2440	1,4	
ECO-043 <u>Beton vysokopevnostní, přísada proti zamrznutí</u>	0,6311	0,1176	0,2018	2455	1,4	
ECO-045 <u>Beton, základové desky a pasy</u>	0,4837	0,0669	0,1385	2385	1,36	

Obrázek 10: Tabulka dopadů na životní prostředí pro betony a železobetony (Betony a železobetony)

1.3.5 Program Energie 2020

V této práci je pro vyhodnocení spotřeby primární energie a produkce uhlíkové stopy po dobu jednoho roku využíván program Energie 2020. Tento program umožňuje provádět výpočty energetické náročnosti budov. (Svoboda)

1.4 Podlahová plocha

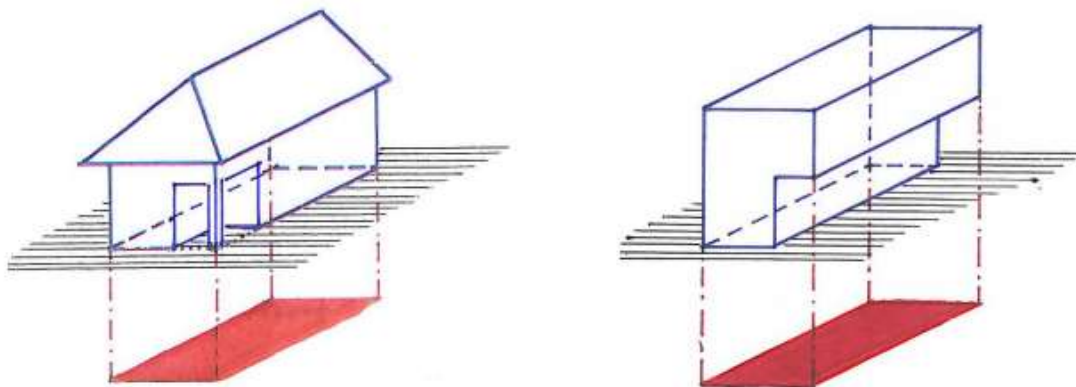
Podlahová plocha bytu v jednotce je stanovena jako plocha všech místností bytu včetně půdorysné plochy všech nosných i nenosných konstrukcí uvnitř bytu. Tyto konstrukce jsou stěny, sloupy, pilíře nebo komíny. Tato plocha je vymezena vnitřním lícem svislých konstrukcí, které tento prostor ohraničují. Tato plocha je uváděna v m². (Nařízení vlády č. 366/2013 Sb.)



Obrázek 11 Podlahová plocha (Užitná plocha bytu)

1.5 Zastavěná plocha

Jako zastavěná plocha je definována plocha, která je ohraničená vnějšími líci obvodových konstrukcí všech nadzemních a podzemních podlaží. Do této plochy se započítávají i plochy lodžii a arkýřů, naopak plochy balkonů součástí této plochy nejsou. (Zastavěná plocha stavby - jak se změří a co všechno se do ní počítá?, 2015)



Obrázek 12: Zastavěná plocha (Zastavěná plocha stavby - jak se změří a co všechno se do ní počítá?, 2015)

2. Praktická část

2.1 Bytový dům B3

Pro tuto práci byl vybrán stavební objekt bytového domu v Berouně. Jedná se o novostavbu bez podzemních podlaží a s navrženými 5 nadzemními podlažími. Půdorys objektu je ve tvaru obdélníku o rozměrech 14,6 x 20,5 m. V domě se nachází 13 bytových jednotek. Konkrétní bytový mix je následující, 4 x 2+kk, 7x 3+kk a 2x 4+kk. Doprava po budově je zajištěna jedním centrálním trojramenným schodištěm z prefabrikovaných dílců a dále pomocí osobního výtahu, okolo něhož je výše zmíněné schodiště vedeno. V prvním nadzemním podlaží se nachází technické zázemí budovy a dva byty, přičemž se jedná vždy o jednu jednotku z kategorií 2+kk a 3+kk. Druhé až čtvrté nadzemní podlaží lze označit za typové a v každém z nich se nachází mix 2 jednotek 3+kk a jedné jednotky 2+kk. V posledním pátém nadzemním podlaží jsou navrženy 2 byty s dispozicí 4+kk. Budova je navržena jako zděná, kdy jako konkrétní materiál pro vnější stěny je zvolena tvárnice Porotherm 30 P+D a pro vnitřní konstrukce jsou využity dva různé typy tvárnic od stejného výrobce, konkrétně Porotherm 30 AKU a Porotherm 24. Vodorovné konstrukce jsou navrženy ze železobetonu. (Bryan, Trembul'ak, Němec, 2017)



Obrázek 13: Pohled východní (Bryan, Trembul'ak, Čerešňák, 2017)

2.2 Postup vypracování

V této části práce bude na objektu vyhodnoceno několik různých variant řešení svislých nosných konstrukcí, kdy bude vždy použit pro vnitřní i obvodové stěny stejný výrobce. Všechny varianty musí odpovídat stanoveným podmínkám z kategorie koeficientu prostupu tepla a akustických vlastností. Za účelem vyhnutí se zpracovávání statických výpočtů pro únosnost jednotlivých variant byla minimální pevnost v tlaku nosných prvků, s tolerancí 5 %, stanovena na tu, kterou disponuje tvárnice Porotherm 30 P+D, na kterou je budova již navržena, díky čemuž je jistota, že tato hodnota vyhovuje. Tloušťka nosné části uvažovaných variant se tedy může, v důsledku rozdílných pevností materiálů, měnit. V této práci bude pro každou variantu zpracována specifikace odpovídající původnímu návrhu a následně zpracována též specifikace vyhovující přísnějšímu standardu. Uvažovanými variantami jsou:

- Varianta 1 – původně navržený keramický systém Porotherm s doplněnou vrstvou tepelné izolace,
- Varianta 2 – tepelně-izolační keramické tvárnice Porotherm,
- Varianta 3 – systém pórobetonových tvárnic Ytong,
- Varianta 4 – monolitická konstrukce,
- Varianta 5 – keramzit-betonové tvárnice Liapor.

Jednotlivé varianty budou následně porovnány podle předem stanovených kritérií, kterými jsou:

- celkové náklady,
- uhlíková stopa,
- podlahová plocha.

Po vyhodnocení těchto kritérií bude vybrána optimální varianta. Tato varianta bude poté posouzena, z hlediska návratnosti v čase, tedy jestli se případně vyplatí investice u této varianty do vyššího standardu.

2.2.1 Stanovení váhy jednotlivých kritérií

Pro stanovení váhy jednotlivých kritérií byla použita metoda pořadí. Pro tuto metodu jsou kritéria seřazena podle důležitosti. Nejméně důležité kritérium má přiřazenou hodnotu 1 a nejdůležitější hodnotu k, k je rovno celkovému počtu kritérií. Součet hodnoty daného kritéria je následně označen jako p_i . (Sixta, Žižka, 2009)

Pro určení váhy jednotlivých kritérií je využíván následující vzorec:

$$v_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^{k_i} p_i} \quad (2)$$

Váhy pro konkrétní kritéria jsou určeny v následující tabulce:

Tabulka 2: Určení váhy jednotlivých kritérií

Parametr/Kritérium	Důležitost	Váha	Váha po zaokrouhlení
Celkové náklady	3	0,5	0,5
Uhlíková stopa	2	0,333	0,3
Podlahová plocha	1	0,167	0,2
Celkem	6	1	1

(zdroj: vlastní zpracování)

Váhy pro jednotlivá kritéria jsou tedy následující

- celkové náklady - 0,5
- uhlíková stopa - 0,3
- podlahová stopa - 0,2

2.2.2 Postup vyhodnocení variant

Pro finální výběr optimální varianty bude nejdříve určeno pořadí všech variant v rámci daného kritéria, podle tohoto pořadí budou variantám přiděleny body, kdy první varianta obdrží počet bodů roven celkovému počtu variant, následná o bod méně, až poslední obdrží právě 1 bod. Tyto body budou následně vynásobeny váhami kritérií. Jako optimální varianta bude zvolena ta, která dosáhne nejvyšší hodnoty.

2.2.3 Celkové náklady

Toto kritérium vyhodnocuje celkové finanční náklady vynaložené na jednotlivé varianty a jejich specifikace. Do těchto nákladů nejsou zahrnuté následující položky:

- VRN,
- Lešení,
- Malby,
- zakrývání otvorů,
- jádro okolo výtahové šachty, které je pro všechny varianty shodně ze železobetonu.

2.2.4 Uhlíková stopa

Pro vyhodnocení tohoto kritéria jsou varianty rozděleny na dvě části, na část nosnou, která zůstává, pokud nebude řečeno jinak, stejná pro obě specifikace dané varianty a na část tepelně-izolační, která se bude měnit v důsledku změny výše standardu. V části nosné konstrukce bude přímo stanovena uhlíková stopa, pro část tepelně-izolační budou představeny různé alternativy tepelných izolantů, které budou následně vyhodnoceny podle následujících kritérií s přiřazenou váhou podle dříve zmíněné metody pořadí.

- celková cena izolantu – 0,5
- celková uhlíková stopa – 0,3
- celková tloušťka izolantu – 0,2

Výsledná uhlíková stopa nezahrnuje dopad dopravy. Princip výběru optimální izolace je stejný, jako je v případě celkových variant.

2.2.5 Podlahová plocha

Toto kritérium porovnává celkovou podlahovou plochu zvolených variant a jejich specifikací dle výše standardu. Pro účel této práce bylo stanoveno, že zastavěná

plocha domu musí vždy zůstat stejná, v důsledku této podmínky je tedy žádoucí, aby tloušťka jednotlivých skladeb byla co nejnižší, a to i včetně tepelných izolantů.

2.3 Varianta 1 – Původní varianta – Systém Porotherm s využitím samostatné izolace

V původní variantě projektu je navrženo využití systému Porotherm s přidanou vrstvou izolace.

2.3.1 Zhodnocení výrobce

Systém Porotherm je základem stavebního sortimentu firmy Wienerberger s.r.o. se sídlem v Českých Budějovicích, která má své zaměstnance v 27 zemích světa. Systém je primárně určen pro výstavbu rodinných a bytových domů. Jeho hlavní součástí jsou cihly Porotherm P+D a Porotherm Profi, dále tepelně izolační cihly řady Porotherm T Profi a akustické tvárnice Porotherm AKU Profi. Dále se sem řadí ještě vložkové stropy a překlady. Společnost dodává též střešní krytiny značky Tondach. (Wienerberger, 2023)

Výhody systému Porotherm

Systém Porotherm velice profituje ze své veřejné známosti a jednoduchého postupu výstavby. Tvárnice mají buďto velice kvalitní tepelněizolační vlastnosti v případě cihel určených pro obvodové stěny a případně akustické vlastnosti pro vnitřní nosné konstrukce. Podstatnou výhodou pro vyšší bytové domy, jakou je kupříkladu mnou zvolená stavba, je vysoká pevnost v tlaku.

Nevýhody systému Porotherm

Hlavní nevýhodou cihel Porotherm je náročnost dodatečného opracování, kdy dodatečné úpravy rozměrů na stavbě lze provádět pouze na předem vyznačených místech na tvárnici, jinak hrozí ztráta pevnosti. (Moučka)

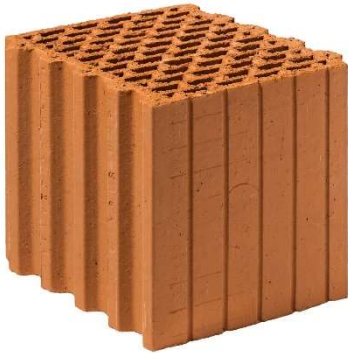
2.3.2 Obvodové stěny varianta 1 – původní standard

Obvodové stěny jsou ve zvoleném objektu navrženy z tvárnice Porotherm 30 P+D a doplněné o izolační vrstvu z desek Isover 70 F. Tato varianta tedy nevyužívá možnost doplnění tepelné izolace přímo do jednotlivých tvárnice.

Parametry této tvárnice jsou následující

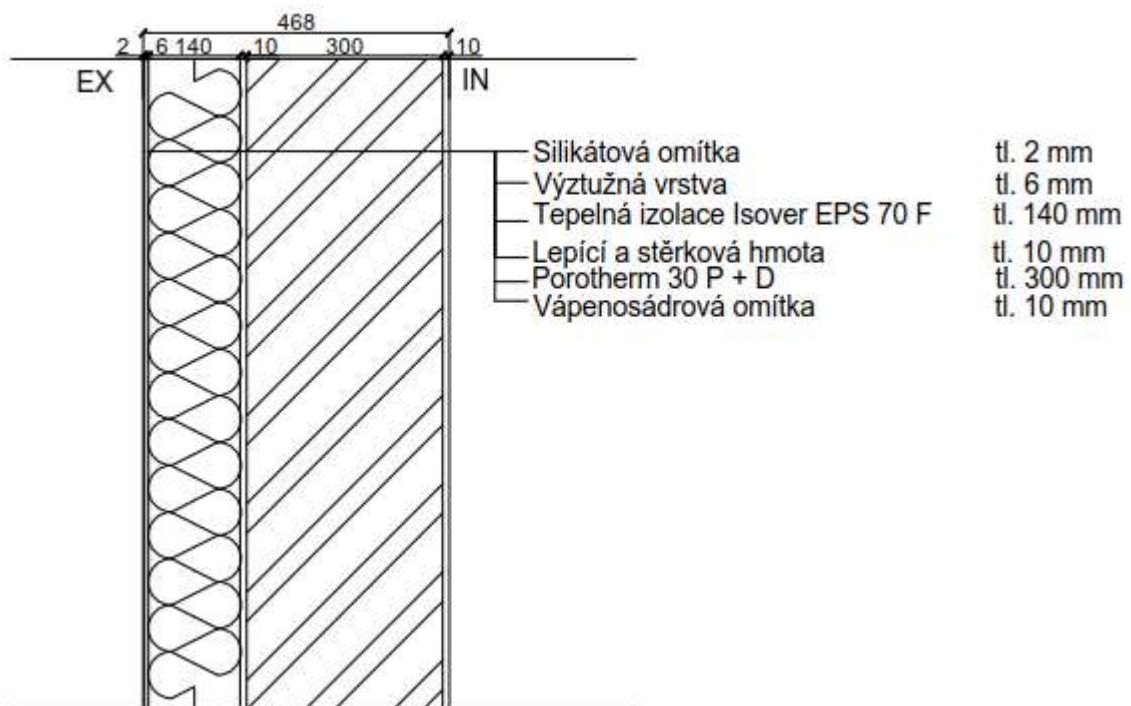
- rozměry d/š/v [mm]: 247/300/249,
- objemová hmotnost: 835 kg/m³,

- charakteristická pevnost v tlaku (f_k) = 4,01 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 52 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,170 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 0,600 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/10.



Obrázek 14: Porotherm 30 P+D (Cihla Porotherm 30 P+D - Nebroušená)

Skladba obvodové konstrukce stávající varianty



Obrázek 15: Skladba nosného obvodového zdiva původní varianty (Bryan, Trembul'ak, Hruška, 2017) (vlastní zpracování)

Tabulka 3: Prostup tepla var. Č. 1 – Porotherm + tepelná izolace – původní standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	10	0,49	10
2	Porotherm 30 P+D	300	0,17	10
3	Lepící a stěrková hmota	10	0,8	35
4	Isover EPS 70 F	140	0,039	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,0079 \text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard lehké vnější stěny a limitně splňuje standard pro pasivní dům.

2.3.2.1 Obvodové stěny varianta 1 – původní standard – uhlíková stopa

V původně navržené variantě byly zvoleny jako nosné položky tvárnice Porotherm 30 P + D pro obvodové konstrukce a pro vnitřní konstrukce tvárnice Porotherm 24 P + D a Porotherm 30 AKU SYM. Tyto tvárnice jsou definovány jako cihly pálené dutinové a celková uhlíková stopa této nosné konstrukce je popsána v následující tabulce

Tabulka 4: Uhlíková stopa nosné části Varianty 1

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv. /kg)	Počet kusů na m2 (ks/m2)	Váha jedné tvárnice (kg/ks)	Emise (kg CO2 ekv. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Porotherm 30 P+D	0,23862	16	15,4	58,796	591,036	34 750,53
Porotherm 24 P+D	0,23862	10,7	19,1	48,767	157,165	7 664,43
Porotherm 30 AKU SYM	0,23862	16	16,6	63,378	464,093	29 413,04

(Cihla pálená dutinová) (Cihla Porotherm 30 AKU SYM - Akustická) (Cihla Porotherm 24 P+D - Nebroušená) (Cihla Porotherm 30 P+D - Nebroušená)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

V této tabulce jsou rozepsané parametry pro jednotlivé tvárnice, konkrétně uhlíková stopa na 1 kg, počet kusů tvárnice na 1 m2 a váha jednotlivých kusů tvárnice. Díky těmto parametrům můžeme spočítat uhlíkovou stopu na m2. Tato hodnota bude využita

spolu s celkovým množstvím dané konstrukce k výpočtu celkové uhlíkové stopy pro jednotlivou tvárnici v rámci celého objektu.

Celková výše uhlíkové stopy pro nosné prvky ve variantě 1 je 71 828 kg CO₂

Položka tepelné izolace je v této variantě zastoupena materiálem Isover EPS 70 F. Jako případná alternativa byla zvolena izolace z konopné vlny, izolace Isover EPS Greywall Plus a izolace z korku.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla stanovenému standardu, který je pro tuto specifikaci stanoven na koeficient U v rozmezí 0,18-0,2 W/m²K

Tabulka 5: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 1 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m ² (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m ² (Kč)	Celkové množství (m ²)	Cena celkem (Kč)
Isover EPS Greywall Plus	100	100	0,031	460,1	706,968	325 275,98
Isover EPS 70 F	100	140	0,039	520,03		367 644,57
Konopná izolace	300	140	0,039	1197		846 240,70
Korek	300	120	0,035	5246		3 708 754,13

(XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Epd-eps-70f) (ISOVER EPS Greywall Plus) (Konopná izolace / tvrdá 140x625x800 mm 100 kg/m³) (Expandované izolační korkové desky XPMD)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce. Pro výrobek Isover EPS Greywall Plus nebyl v době vypracování této práce ještě zhotoven posudek EPD, byla tedy využita data z předcházející verze produktu pod názvem EPS Greywall.

Tabulka 6: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 1 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv./FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO2 ekv./m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	100	1	7,59	706,968	5 365,89
Isover EPS 70 F	7,22	140	1,4	10,108		7 146,03
Konopná izolace	-3,99	140	0,47	-1,862		- 1 316,37
Korek	-57,195	120	0,40	-22,878		- 16 174,01

(Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (Konopná izolace / tvrdá 140x625x800 mm 100 kg/m3) (Chybík, 2009) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 7: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 1 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m2 (Kč)	0,5	1	2	2	1,5	3	1	4	0,5
GWP (kg CO2 ekv./m2)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	3	0,4	3	0,4	2	0,6
Celkem		3,4		2,2		2,3		2,3	

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky vyplývá, že při zohlednění všech 3 kritérií je původně zvolený izolant Isover EPS 70 F nejhorší možností ve výběru a bude tedy nahrazen za izolant Isover EPS Greywall Plus.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 1 v původní specifikaci na 78 974,04kg CO₂.

Nově navržená skladba pro variantu 1 v původním standardu je následující



Obrázek 16 Skladba nosného obvodového zdiva původní varianty optimalizovaná pro původní standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 8: Prostup tepla var. č.1 - původní standard – optimalizován

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	10	0,49	10
2	Porotherm 30 P+D	300	0,17	10
3	Lepící a stěrková hmota	10	0,8	35
4	Isover EPS Grey Wall Plus	100	0,032	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,196 \text{ W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,0128 \text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba splňuje standard lehké vnější stěny

Z dříve uvedených tabulky vyplývá, že uhlíková stopa této optimalizované varianty je $77 \text{ 193,89 kg CO}_2$.

2.3.3 Obvodové stěny varianta 1 – vyšší standard

Pro vyšší standard byla jako limitní hodnota stanovena $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Skladba obvodové konstrukce stávající varianty upravené na vyšší standard.



Obrázek 17: Skladba nosného obvodového zdiva původní varianty přizpůsobena vyššímu standardu (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 9: Prostup tepla var. č. 1 – vyšší standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	10	0,49	10
2	Porotherm 30 P+D	300	0,17	10
3	Lepicí a stěrková hmota	10	0,8	35
4	Isover EPS Grey Wall Plus	150	0,032	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,15\text{W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,0063\text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard pro pasivní dům.

2.3.3.1 Obvodové stěny varianta 1 –vyšší standard – uhlíková stopa

Položka tepelné izolace je v této variantě zastoupena materiálem Isover EPS Greywall Plus. Jako případná alternativa byla zvolena izolace z konopné vlny, izolace Isover EPS 70 F a izolace z korku.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla stanovenému standardu.

Tabulka 10: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 1 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m ² (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m ² (Kč)	Celkové množství (m ²)	Cena celkem (Kč)
Isover EPS Greywall Plus	100	150	0,031	690,16	706,968	487 921,03
Isover EPS 70 F	100	200	0,039	742,9		525 206,53
Konopná izolace	300	200	0,039	1710		1 208 915,28
Korek	300	170	0,035	7398		5 230 149,26

(Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m³) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Epd-eps-70f) (ISOVER EPS Greywall Plus)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce.

Tabulka 11: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 1 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv. /FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO2 ekv. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	150	1,5	11,385	706,968	8 048,83
Isover EPS 70 F	7,22	200	2	14,44		10 208,62
Konopná izolace	-3,99	200	0,67	-2,66		- 1 880,53
Korek	-57,195	170	0,57	-32,4105		- 22 913,19

(Epd-eps-70f) (Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m3) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (Chybík, 2009) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 12: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 1 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m2 (Kč)	0,5	1	2	2	1,5	3	1	4	0,5
GWP (kg CO2 ekv./m2)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	3	0,4	3	0,4	2	0,6
Celkem		3,4		2,2		2,3		2,3	

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky vyplývá, že optimální je volbou Isover EPS Greywall Plus.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 1 ve vyšší specifikaci na 79 876,83 kg CO₂.

2.3.4 Vnitřní nosné stěny

Vnitřní nosné stěny jsou ve zvoleném objektu z dvou různých tvárnic, konkrétně z tvárnic Porotherm 24 P+D a Porotherm 30 AKU SYM.

Pro Porotherm 24 P+D se jedná o cihlu ze stejné řady výrobků, z které je zvoleno obvodové zdivo. Dodávána je i ve variantách dělených na třetiny k ukončení stěn.

Parametry této cihly jsou dle technického listu

- rozměry d/š/v [mm]: 372/240/238,
- objemová hmotnost: 835 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k)= 4,04 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 52 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,28 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 1,050 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/10.



Obrázek 18: Porotherm 24 P+D (Cihla Porotherm 24 P+D - Nebroušená)

Tvárnice Porotherm 30 AKU SYM, která byla navržena jako druhá, se od dříve zmíněné cihly liší významně v objemové hmotnosti a dále nabízí díky systému děrování skvělé akustické a tepelně akumuláční vlastnosti. Nespornou výhodou pro jejich využití jako mezibytových příček je, že splňují požadavky ČSN na zvukovou izolaci a tepelné vlastnosti.

Konkrétní vlastnosti této tvárnice jsou

- rozměry d/š/v [mm]: 247/300/238,
- objemová hmotnost: 980 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k)= 6,56 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 58 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,32 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 0,850 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/10.



Obrázek 19: Porotherm 30 AKU SYM (Cihla Porotherm 30 AKU SYM - Akustická)

2.3.5 Vyčíslení nákladů pro variantu tvárnic Porotherm s přidanou tepelnou izolací

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba:

Bakalářská práce

Objekt:

19999-1 - Varianta 1 - Původní standard

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	5 074 833,84
HSV - Práce a dodávky HSV	5 074 833,84
3 - Svislé a kompletní konstrukce	2 977 858,02
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	1 938 725,80
998 - Přesun hmot	158 250,02

Obrázek 20: Rozpočet pro variantu 1 v původním standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba:

Bakalářská práce

Objekt:

19999-1 - Varianta 1 - původní standard - optimalizováno

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	4 992 861,47
HSV - Práce a dodávky HSV	4 992 861,47
3 - Svislé a kompletní konstrukce	2 977 858,02
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	1 857 018,70
998 - Přesun hmot	157 984,75

Obrázek 21: Optimalizovaný rozpočet pro Variantu 1 v původním standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba:

Bakalářská práce

Objekt:

19999-1 - Varianta 1 - vyšší standard

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	5 195 003,22
HSV - Práce a dodávky HSV	5 195 003,22
3 - Svislé a kompletní konstrukce	2 977 858,02
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	2 058 928,68
998 - Přesun hmot	158 216,52

Obrázek 22: Rozpočet pro variantu 1 přizpůsobenou na vyšší standard (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

2.4 Varianta 2 – Systém Porotherm – Využití tepelněizolačních tvárnic

2.4.1 Obvodové stěny varianta 2 – původní standard

V této variantě je původní systém tvárnice Porotherm s dodatečnou tepelnou izolací nahrazen cihlami z řady Porotherm T, která spojuje vlastnosti těchto dvou vrstev do jedné, tím, že dojde k vyplnění dutin v tvárnici minerální vatou.

Pro variantu lehké vnější stěny byla zvolena tvárnice Porotherm 38 T Profi Dryfix.

Tato cihla má následující vlastnosti

- rozměry d/š/v [mm]: 248/380/249,
- objemová hmotnost: 670 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k) = 3,3 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 46 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,064 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 0,160 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/10.



Obrázek 23: Porotherm 38 T Profi Dryfix (Cihla Porotherm 38 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená)

Skladba obvodové konstrukce



Obrázek 24: Skladba nosného obvodového zdiva varianty 2 - původní standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 13: Prostup tepla var. č. 2 – Původní standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	10	0,49	10
2	Porotherm 38 T Profi Dryfix	380	0,071	10
3	Cementový postřík	3	0,962	35
4	Omítka vápenocementová	10	0,990	19
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,1235 \text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard lehké vnější stěny a limitně splňuje i standard pro pasivní dům.

2.4.1.1 Obvodové stěny varianta 2 – původní standard – uhlíková stopa

V této variantě jsou využity tepelně-izolační tvárnice Porotherm 38 T Profi Dryfix. Pro vnitřní konstrukce jsou využity stejné tvárnice, jako pro původní variantu. Tato tvárnice je též definována jako cihla pálená dutinová. Rozdíl v této variantě je, že tyto dutiny jsou vyplněny minerální vatou vyrobenou z roztavených hornin. Technický list pro tuto tvárnici bohužel neobsahuje údaj pro přesný objem obsažené minerální vaty, tudíž tato hodnota bude muset být vypočtena.

Pro tento výpočet byly využity následující hodnoty

- ρ (materiál tvárnice) = 1490 kg/m³
- ρ (minerální vlna, kamenná) = 32 kg/m³
- ρ (tvárnice Porotherm 38 T Profi Dryfix) = 670 kg/m³

$$\begin{aligned} & \rho(\text{materiál tvárnice}) * x + \rho(\text{minerální vlna, kamenná}) * y \\ & = \rho(\text{tvárnice Porotherm 38 T Profi Dryfix}) \end{aligned}$$

$$1490 * x + 32 * y = 670$$

$$1490 * x + 32 * (1 - x) = 670$$

$$1490x + 32 - 32x = 670$$

$$1458x = 638$$

$$x = \frac{638}{1458}$$

$$x = 0,43758$$

$$1 - x = y$$

$$y = 0,56242$$

Z tohoto výpočtu vyplývá, že 1 m³ tvárnice Porotherm 38 T Profi Dryfix se skládá z 56,24 % z minerální vaty a ze zbývajících 43,76 % ze samotného materiálu tvárnice. Výsledná bilance uhlíkové stopy je popsána v následující tabulce

Tabulka 14: Uhlíková stopa varianty 2 v původním standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv. /kg)	Počet kusů na m2 (ks/m2)	Váha jedné tvárnice (kg/ks)	Emise (kg CO2 ekv. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Porotherm 38 T Profi Dryfix	0,23862	16	15,28	58,33	591,036	34 476,98
Minerální vata	1,1331		0,42	7,65		
Porotherm 24 P+D	0,23862	10,7	19,10	48,77	157,165	7 664,43
Porotherm 30 AKU SYM	0,23862	16	16,60	63,38	464,093	29 413,04

(Cihla Porotherm 38 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená) (Cihla Porotherm 30 AKU SYM - Akustická) (Cihla pálená dutinová) (Minerální vlna, kamenná) (Cihla Porotherm 24 P+D - Nebroušená)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

V této tabulce jsou, stejně jako v tabulce pro variantu 1, vypsány jednotlivé vlastnosti tvárnice využitých v této variantě. Postup pro výpočet uhlíkové stopy byl stejný jako v předcházejícím případě. Složka minerální vaty byla odečtena od celkové hmotnosti obvodové tvárnice za využití dříve vypočtené hodnoty procentuálního podílu na celkovém objemu tvárnice. Celková hmotnost minerální vaty na jeden kus tvárnice byla vypočtena na 0,42 kg, neboť tato tepelně-izolační složka zastupuje pouze 2,69 % celkové hmotnosti tvárnice.

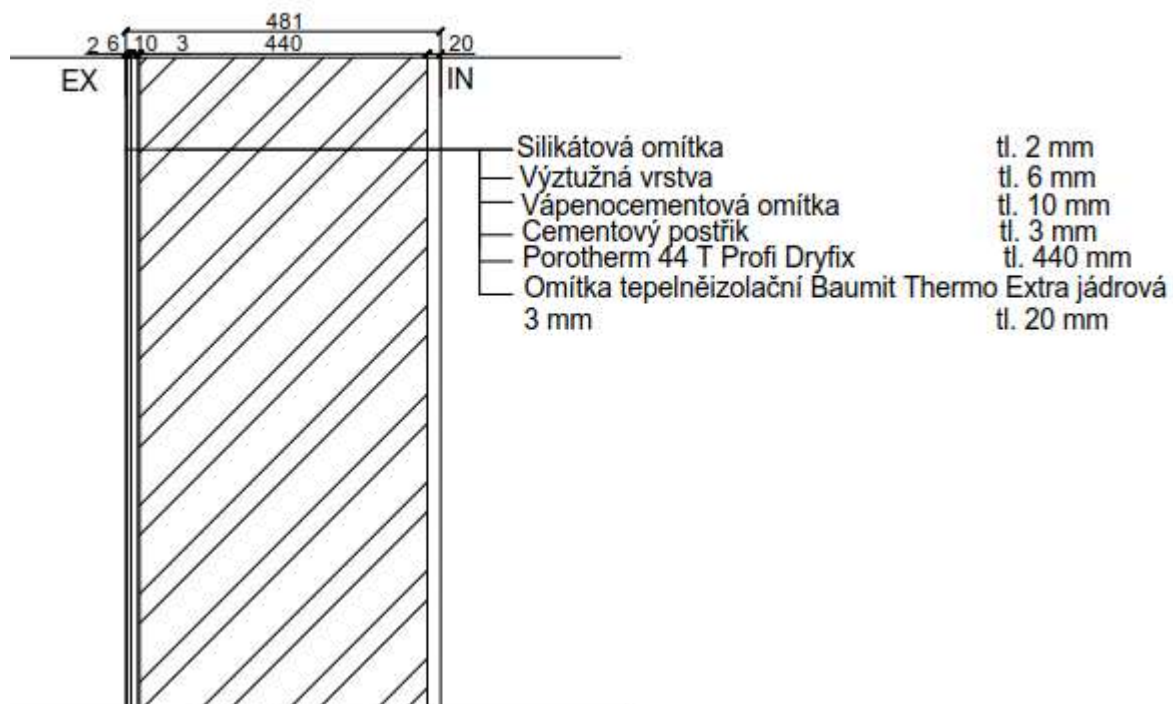
U této varianty nelze zaměňovat materiál použitý pro izolaci, jako tomu je u variant ostatních, a tudíž výsledná hodnota z této tabulky je též i výslednou hodnotou uhlíkové stopy pro celou variantu jako takovou.

Celková výše uhlíkové stopy pro variantu 2 v původním standardu je tedy 76 073,24 kg CO₂.

2.4.2 Obvodové stěny varianta 2 – vyšší standard

Pro vyšší standard byla jako limitní hodnota stanovena $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pro dosažení této hodnoty bylo třeba z podstaty tohoto systému navrhnout širší nosnou konstrukci.

Skladba obvodové konstrukce přizpůsobena na vyšší standard



Obrázek 25: Skladba nosného obvodového zdiva varianty 2 - vyšší standard

(zdroj: vlastní zpracování)

Rozdíly mezi provedením tvárnice ve variantě 38 a 44

Tabulka 15: Porovnání varianty provedení tvárnice Porotherm T Profi Dryfix

	Šířka [mm]	Součinitel prostupu tepla s omítkami (W/m ² K)	Vážená laboratorní neprůzvučnost (dB)
Porotherm 38 T Profi Dryfix	380	0,160	46
Porotherm 44 T Profi Dryfix	440	0,140	48

(Cihla Porotherm 44 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená) (Cihla Porotherm 38 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Tabulka 16: Prostup tepla var. č. 2 – vyšší standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Omítka tepelněizolační Baumit ThermoExtra jádrová 3 mm	20	0,09	15
2	Porotherm 44 T Profi Dryfix	440	0,071	10
3	Cementový postřík	3	0,962	35
4	Omítka vápenocementová	10	0,99	19
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,149 \text{ W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,0878 \text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard pro pasivní dům.

2.4.2.1 Obvodové stěny varianta 2 – vyšší standard – uhlíková stopa

Pro vyšší standard ve variantě 2 byly využity tepelně-izolační tvárnice Porotherm 44 T Profi Dryfix. Pro vnitřní konstrukce jsou využity stejné tvárnice, jako pro původní standard. Tato tvárnice je též definována jako cihla pálená dutinová. Procentuální podíl minerální vaty na celkovém objemu tvárnice byl již vypočten a není třeba tento výpočet pro tuto specifikaci opakovat.

Výsledná bilance uhlíkové stopy je popsána v následující tabulce

Tabulka 17: Uhlíková stopa varianty 2 ve vyšším standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv. /kg)	Počet kusů na m2 (ks/m2)	Váha jedné tvárnice (kg/ks)	Emise (kg CO2 ekv. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Porotherm 44 T Profi Dryfix	0,23862	16	17,91	68,36	591,036	40 406,14
Minerální vata	1,1331		0,49	8,96		
Porotherm 24 P+D	0,23862	10,7	19,10	48,77	157,165	7 664,43
Porotherm 30 AKU SYM	0,23862	16	16,60	63,38	464,093	29 413,04

(Cihla Porotherm 44 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená) (Cihla Porotherm 30 AKU SYM - Akustická) (Cihla pálená dutinová) (Minerální vlna, kamenná) (Cihla Porotherm 24 P+D - Nebroušená)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Vypočet uhlíkové stopy byl proveden stejným způsobem jako pro specifikaci v původním standardu.

Stejně jako pro specifikaci v původním standardu, platí i zde, že uhlíková stopa z této tabulky je též uhlíkovou stopou finální.

Celková výše uhlíkové stopy pro variantu 2 ve vyšším standardu je tedy 82 779,52 kg CO₂.

2.4.3 Vnitřní nosné stěny

V této variantě lze bude využito stejné řešení jako pro variantu obvodových stěn se samostatnou vrstvou teplené izolace.

2.4.4 Vyčíslení nákladů pro variantu tepelně-izolačních tvárnic

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba: Bakalářská práce

Objekt: **19999-2 - Varianta 2 - původní standard**

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	5 203 192,34
HSV - Práce a dodávky HSV	5 203 192,34
3 - Svislé a kompletní konstrukce	3 774 154,91
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	1 269 017,57
998 - Přesun hmot	160 019,86

Obrázek 26: Rozpočet pro variantu 2 v původním standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba:

Bakalářská práce

Objekt:

19999-2 - Varianta 2 - vyšší standard

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	5 650 905,67
HSV - Práce a dodávky HSV	5 650 905,67
3 - Svislé a kompletní konstrukce	4 074 933,14
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	1 403 882,53
998 - Přesun hmot	172 090,00

Obrázek 27: Rozpočet pro variantu 2 ve vyšším standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

2.5 Varianta 3 – Systém Ytong

2.5.1 Zhodnocení výrobce

Tvárnice značky Ytong jsou produktem nadnárodní společnosti Xella International, která je v České republice zastoupena firmou Xella CZ. Jedná se o jedničku na českém trhu v souvislosti s pórobetonem. Sortiment značky Ytong je též doplněn o vápenopískové tvárnice Silka a minerální desky značky Multipor. (O nás)

Výhody systému Ytong

Tvárnice značky Ytong jsou lehké, a tudíž jednoduché na manipulaci na stavbě, jako další velká výhoda je mnohem jednodušší možnost dodatečné úpravy rozměrů, kdy tyto bloky nejsou limitovány pomocí obvodového rámečků, jako tomu může být u keramických tvárnic. Výhodou je též možnost přirozené kombinace se systémem Silka. Prvky tohoto systému nabízí kvalitní tepelněizolační vlastnosti.

Nevýhody systému Ytong

Systém je primárně vhodnější pro menší stavby, neboť jeho únosnost v tlaku je v porovnání s jinými systémy nižší, proto pro případ vyšších budov je vyžadováno využití speciálních variant se zlepšenými statickými vlastnostmi. Významný problém pro tento materiál je ovšem jeho vysoká nasákavost, kdy dochází postupně ke ztrátě tepelněizolačních účinků. (STAVBA Z PÓROBETONU - VÝHODY A NEVÝHODY)

2.5.2 Obvodové stěny – varianta 3 – původní standard

Tato varianta využívá tvárnice Ytong statik 375 PD, která byla zvolena z důvodu svých statických vlastností, kdy s tolerancí do 5 % splňuje únosnost na úrovni výše zmíněné cihly Porotherm 30 P+D. Doplněna bude o izolační vrstvu z Isover EPS Grey Wall Plus.

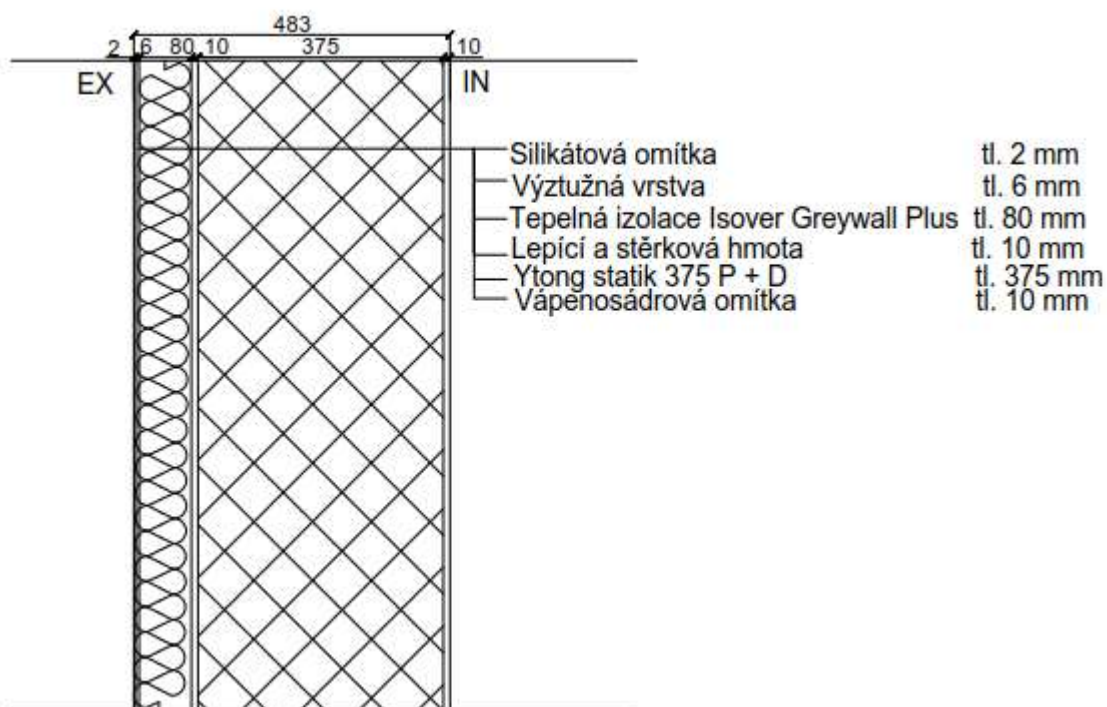
Konkrétní vlastnosti zvolené tvárnice jsou

- rozměry d/š/v [mm]: 499/375/249,
- objemová hmotnost: 550 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k)= 3,14 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 48 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,14 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 0,368 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/10.



Obrázek 28: YTONG Statik 375 P+D (YTONG Statik 375 PD)

Skladba obvodové konstrukce



Obrázek 29: Skladba obvodové stěny – varianta 3 – původní standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 18: Prostup tepla var. č. 3 – původní standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	10	0,49	10
2	Ytong statik 375 P+D	375	0,14	7
3	Lepící a stěrková hmota	10	0,8	35
4	Isover EPS Grey Wall Plus	80	0,032	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,186 \text{ W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,0176 \text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard lehké vnější stěny

2.5.2.1 Obvodové stěny varianta 3 – původní standard – uhlíková stopa

Varianta 3 se od přechozích dvou variant liší využitím tvárnic Ytong a Silka. Tvárnice systému Ytong jsou definovány jako pórobetonové tvárnice, zatímco tvárnice z řady Silka jsou definovány jako vápenopískové. Celková uhlíková stopa nosné části této varianty je popsána v následující tabulce

Tabulka 19: Uhlíková stopa nosné části varianty 3

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv. /kg)	Počet kusů na m2 (ks/m2)	Váha jedné tvárnice (kg/ks)	Emise (kg CO2 ekv. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
YTONG Statik 375 PD	0,4117	8	20,02	65,94	591,04	38 971,66
SILKA KSRP 200	0,13037	16	23,7	49,44	157,17	7 769,66
SILKA KSRP 240	0,13037	16	27,8	57,99	464,09	26 912,09

(SILKA KSRP 200 (20-2,0) (SILKA KSRP 240 (20-2,0) (YTONG Statik 375 PD) (Cihla vápenopísková) (Tvarovky plynosilikátové, autoklávované)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

V této tabulce je vypočtena celková uhlíková stopa pro nosnou část varianty 3. Postup pro výpočet byl totožný jako pro předcházející varianty. Celková výše uhlíkové stopy nosné části pro tento objekt ve variantě 3 Ytong je 73 653,41 kg CO₂

Položka tepelné izolace je v této variantě zastoupena materiálem Isover EPS Greywall Plus. Jako případná alternativa byla zvolena izolace z konopné vlny, izolace Isover EPS 70 F a izolace z korku.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla stanovenému standardu.

Tabulka 20: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 3 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m2 (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m2 (Kč)	Celkové množství (m2)	Cena celkem (Kč)
Isover EPS Greywall Plus	100	80	0,031	368,08	706,968	260 220,78
Isover EPS 70 F	100	100	0,039	371,45		262 603,26
Konopná izolace	300	100	0,039	1106		781 906,61
Korek	300	80	0,035	3528		2 494 183,10

(Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (ISOVER EPS Greywall Plus) (Konopná izolace / tvrdá 100x625x800 mm 100 kg/m3)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce.

Tabulka 21: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 3 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv. /FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO2 ekv. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	80	0,8	6,072	706,968	4 292,71
Isover EPS 70 F	7,22	100	1	7,22		5 104,31
Konopná izolace	-3,99	100	0,33	-1,33		- 940,27
Korek	-57,195	80	0,27	-15,252		-10 782,68

(Chybík, 2009) (Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017) (Konopná izolace / tvrdá 100x625x800 mm 100 kg/m3)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 22: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 3 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m2 (Kč)	0,5	1	2	2	1,5	3	1	4	0,5
GWP (kg CO2 ekv./m2)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	2	0,6	2	0,6	1	0,8
Celkem		3,4		2,4		2,5		2,5	

(zdroj: vlastní zpracování)

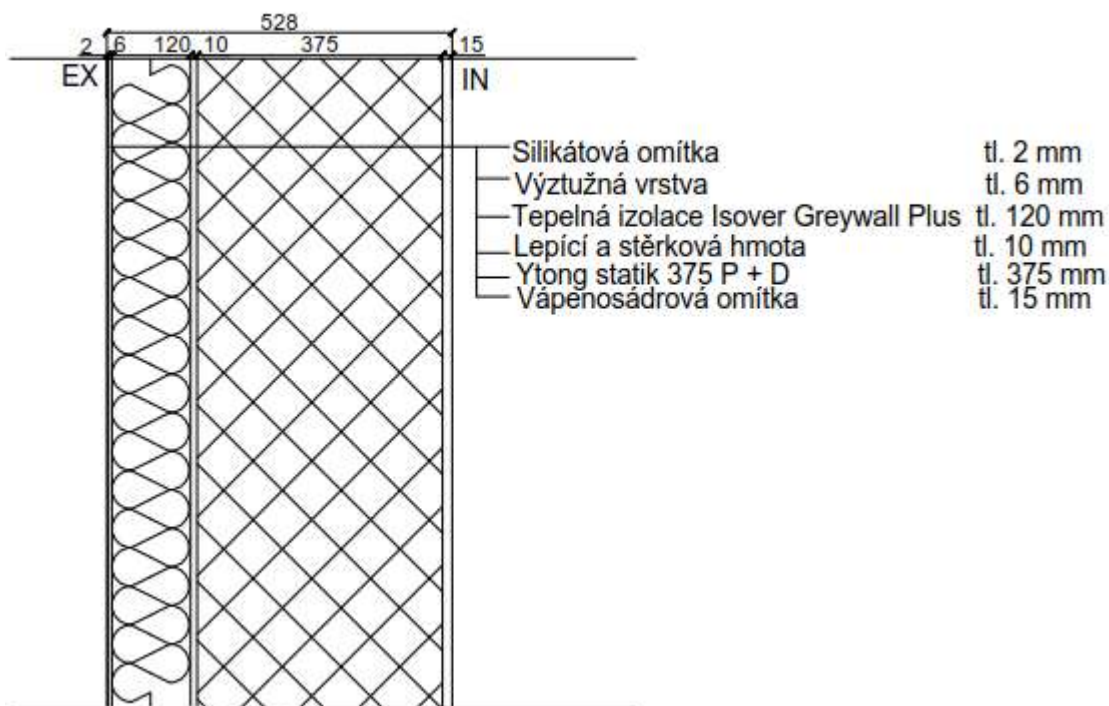
Z této tabulky vyplývá, že optimální volbou je Isover EPS Greywall Plus.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 3 v původním standardu na 77 946,11 kg CO₂.

2.5.3 Obvodové stěny varianta 3 – vyšší standard

Pro vyšší standard byla jako limitní hodnota stanovena $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Skladba obvodové konstrukce stávající varianty upravené na vyšší standard.



Obrázek 30: Skladba obvodové stěny varianty 3 – vyšší standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 23: Prostup tepla var. č. 3 – vyšší standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	15	0,47	10
2	Ytong statik 375 P+D	375	0,17	7
3	Lepící a stěrková hmota	10	0,8	35
4	Isover EPS Grey Wall Plus	120	0,32	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,0118 \text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard pro pasivní dům.

2.5.3.1 Obvodové stěny varianta 3 – vyšší standard – uhlíková stopa

Položka tepelné izolace je v této variantě zastoupena materiálem Isover EPS Greywall Plus. Jako případná alternativa byla zvolena izolace z konopné vlny, izolace Isover EPS 70 F a izolace z korku.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla stanovenému standardu.

Tabulka 24: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 3 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m ² (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m ² (Kč)	Celkové množství (m ²)	Cena celkem (Kč)
Isover EPS Greywall Plus	100	120	0,031	552,12	706,968	390 331,17
Isover EPS 70 F	100	150	0,039	555,49		392 713,65
Konopná izolace	300	160	0,039	1431		1 011 671,21
Korek	300	140	0,035	6020		4 255 947,36

(Konopná izolace / tvrdá 20x625x800 mm 100 kg/m³) (Konopná izolace / tvrdá 140x625x800 mm 100 kg/m³) (Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (ISOVER EPS Greywall Plus)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce.

Tabulka 25: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 3 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO ₂ ekv. /FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO ₂ ekv. /m ²)	Celkové množství (m ²)	Celková emise (kg CO ₂)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	120	1,2	9,108	706,968	6 439,06
Isover EPS 70 F	7,22	150	1,5	10,83		7 656,46
Konopná izolace	-3,99	160	0,53	-2,128		- 1 504,43
Korek	-57,195	140	0,47	-26,691		- 18 869,68

(Konopná izolace / tvrdá 20x625x800 mm 100 kg/m³) (Konopná izolace / tvrdá 140x625x800 mm 100 kg/m³) (Chybík, 2009) (EPD-TF PROFÍ cz 8–2020) (Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 26: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 3 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m ² (Kč)	0,5	1	2	2	1,5	3	1	4	0,5
GWP (kg CO ₂ ekv./m ²)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	3	0,4	4	0,2	2	0,6
Celkem		3,4		2,2		2,1		2,3	

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky vyplývá, že optimální volbou je Isover EPS Greywall Plus.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 3 ve vyšším standardu na 80 092,47 kg CO₂.

2.5.4 Vnitřní stěny

Pro vnitřní nosné stěny budou využity tvárnice značky Silka. Jako optimální varianta k nahrazení původně navržených cihel Porotherm 30 AKU SYM byla zvolena Silka KSRP 240 (20-2,0).

Parametry této tvárnice jsou

- rozměry d/š/v [mm]: 248/240/248,
- objemová hmotnost: 1905 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k)= 10,21 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 57 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,98 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 0,0,21 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/25.

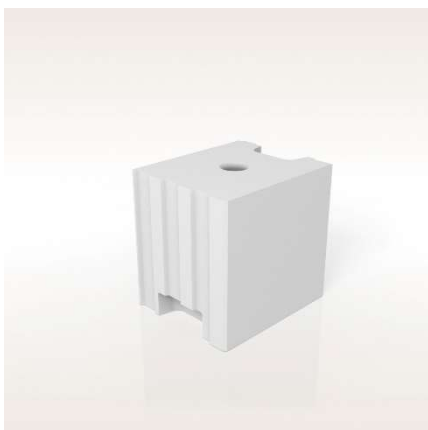


Obrázek 31 - Silka KSRP 240 (20-2,0) (SILKA KSRP 240 (20-2,0))

Pro nahrazení původní cihly Porotherm 24 P+D byla zvolena Silka KSRP 200 (20-2,0).

Tato tvárnice má následující parametry

- rozměry d/š/v [mm]: 248/200/248,
- objemová hmotnost: 1905 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k)= 10,21 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 54 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,98 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 0,21 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/25.



Obrázek 32 - Silka KSRP 200 (20-2,0) (SILKA KSRP 200 (20-2,0))

2.5.5 Vyčíslené náklady pro variantu Ytong

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba: Bakalářská práce

Objekt: **19999-3 - Varianta 3 - původní standard**

Místo: Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel: Projektant:

Zhotovitel: Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	4 655 711,92
HSV - Práce a dodávky HSV	4 655 711,92
3 - Svislé a kompletní konstrukce	2 510 504,41
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	1 958 793,97
998 - Přesun hmot	186 413,54

Obrázek 33: Rozpočet nákladů pro variantu 3 v původním standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba: Bakalářská práce

Objekt: **19999-3 - Varianta 3 - vyšší standard**

Místo: Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel: Projektant:

Zhotovitel: Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	4 826 857,82
HSV - Práce a dodávky HSV	4 826 857,82
3 - Svislé a kompletní konstrukce	2 510 504,41
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	2 129 703,48
998 - Přesun hmot	186 649,93

Obrázek 34: Rozpočet nákladů pro variantu 3 ve vyšším standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

2.6 Varianta 4 – Monolitická konstrukce ze železobetonu

2.6.1 O variantě

Monolitické konstrukce jsou jedním z nejhojněji využívaných stavebních systémů. Od většiny ostatních variant se liší způsobem provádění a z toho vyplývajících parametrů, které je třeba zohlednit. Konstrukce v tomto systému vzniká pomocí vylití betonové směsi do předem připraveného bednění s výztuží. Vzhledem k tomu, že se směs přepravuje v tekutém stavu, kdy nesmí ztuhnout, je potřeba zohlednit i vzdálenost betonárky od stavby.

Výhody monolitické konstrukce

Jako hlavní výhodu je potřeba zmínit skvělé mechanické vlastnosti tohoto systému, kdy betonová část zajišťuje zdaleka nejvyšší hodnotu pevnosti v tlaku v porovnání s ostatními variantami a ocelová výztuž zde naopak vyřeší problém omezené výdrže betonu v tahu. Vzhledem k tomu, že betonová směs je tekutá a přizpůsobí se tak tvaru bednění, má projektant mnohem více možností, co se tvaru a rozměrů konstrukce týče. Další vlastnosti, kterými se tento systém může pyšnit, jsou výborná akustika a požární odolnost.

Nevýhody monolitické konstrukce

Tepelně izolační vlastnosti jsou jednou z hlavních slabin betonových konstrukcí, kdy je jisté, že vždy bude potřeba významná vrstva izolačního materiálu, aby výsledná skladba vyhověla zvolenému standardu. Další významná nevýhoda je pracnost celého procesu, kdy nejdříve je třeba připravit bednění, následně musí dojít k armování výztuže a teprve pak je možné vůbec konstrukci vytvořit, vzhledem k tomu, že betonová směs musí tuhnout a získává tedy svou pevnost postupně, doje k prodlevě ve výstavbě, nežli dosáhne konstrukce požadované limitní pevnosti, což trvá v průměru 10 dní, přičemž plné pevnosti dosáhne systém až po 28 dnech. Toto vede k významnému zvýšení doby výstavby.

Parametry betonu jsou následující

- objemová hmotnost: 2400 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k)= 30 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost pro tloušťku 200 mm (R_w) = 59 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 1,54 W/mK,

- součinitel prostupu tepla s omítkami pro tloušťku 240 mm (U) = 3,06 W/m²K (Výpočet laboratorní neprůzvučnosti jednoduchých stavebních prvků podle ČSN EN 12354-1, přílohy B).

2.6.2 Obvodové stěny varianta 4 – původní standard

Obvodové stěny jsou v tomto systému navrženy z betonu C25/30 v tloušťce 240 mm. Doplněna bude o izolační vrstvu Isover Grey Wall Plus tloušťky 150 mm.



Obrázek 35: Skladba obvodové stěny – varianta 4 - původní standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 27 - Prostup tepla var. č. 4 –původní standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	5	0,49	10
2	Železobeton	240	1,54	29
3	Lepicí a stěrková hmota	10	0,8	20
4	Isover EPS Grey Wall Plus	150	0,031	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,192\text{W/m}^2\text{K}$

V konstrukci nedochází ke kondenzaci.

Skladba plně splňuje standard pro lehké vnější stěny.

2.6.2.1 Obvodové stěny varianta 4 – původní standard – uhlíková stopa

Varianta 4 využívá monolitické konstrukce. Při výstavbě těchto konstrukcí je třeba zohlednit uhlíkové stopy pro dodaný beton i pro potřebnou výztuž.

Celkové množství dodaného betonu je 284,66 m³. Objemová hmotnost betonu je uvažována jako 2380 kg/m³. Emise vázané v betonu jsou 0,109891 kg CO₂ na 1 kg materiálu. (Beton prostý)

$$V_{\text{beton}} = 284,66 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{beton}} = 2380 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Emise}_{\text{beton}} = 0,109891 \text{ (kg CO}_2 \text{ ekv. /kg)}$$

$$\text{Emise}_{\text{beton}} = 261,54 \text{ (kg CO}_2 \text{ ekv. /m}^3\text{)}$$

$$\text{Emise celkem}_{\text{beton}} = 261,54 * 284,66 = 74\,450,14 \text{ kg CO}_2$$

Pro výpočet celkové emise nosné části této varianty je též potřeba dopočítat emise vázané v dodané betonářské výztuži. Této výztuže bylo na stavbu dodáno 34,16 tun. Emise vázané na 1 kg materiálu jsou 1,482 kg CO₂. (Ocel, výztuž do betonu)

$$\text{Emise}_{\text{ocel}} = 1,482 \text{ kg CO}_2 \text{ ekv./kg}$$

$$\text{Emise celkem}_{\text{ocel}} = 1,482 * 34160 = 50625,12 \text{ kg CO}_2.$$

Celková emise CO₂ pro nosnou část této varianty je tedy 125 075,26 kg CO₂.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla stanovenému standardu.

Tabulka 28: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 4 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m2 (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m2 (Kč)	Celkové množství (m2)	Cena celkem (Kč)
Isover EPS Greywall Plus	100	150	0,031	690,16	706,968	487 921,03
Isover EPS 70 F	100	200	0,039	742,9		525 206,53
Konopná izolace	300	200	0,039	1710		1 208 915,28
Korek	300	170	0,035	7398		5 230 149,26

(ISOVER EPS Greywall Plus) (Epd-eps-70f) (Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m³) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce.

Tabulka 29: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 4 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO ₂ ekv. /FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO ₂ ekv. /m ²)	Celkové množství (m ²)	Celková emise (kg CO ₂)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	150	1,5	11,385	706,968	8 048,83
Isover EPS 70 F	7,22	200	2	14,44		10 208,62
Konopná izolace	-3,99	200	0,67	-2,66		- 1 880,53
Korek	-57,195	170	0,57	-32,4105		- 22 913,19

(Epd-eps-70f) (Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m³) (Chybík, 2009) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 30: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 4 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m ² (Kč)	0,5	1	2	2	1,5	3	1	4	0,5
GWP (kg CO ₂ ekv./m ²)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	3	0,4	3	0,4	2	0,6
Celkem		3,4		2,2		2,3		2,3	

(zdroj: vlastní zpracování)

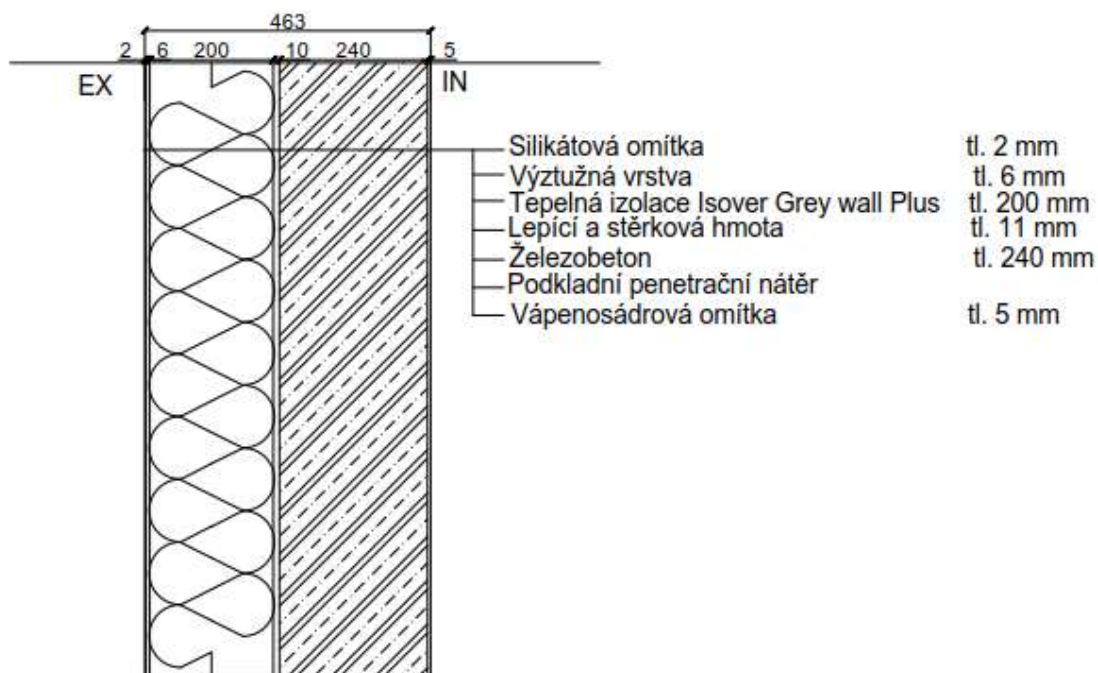
Z této tabulky vyplývá, že optimální volbou je Isover EPS Greywall Plus.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 4 v původním standardu na 133 124,09 kg CO₂.

2.6.3 Obvodové stěny varianta 4 – vyšší standard

Pro vyšší standard byla jako limitní hodnota stanovena $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Skladba obvodové konstrukce stávající varianty upravené na vyšší standard.



Obrázek 36: Skladba obvodové stěny – varianta 4 – vyšší standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 31: Prostup tepla var. č. 4 – vyšší standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	5	0,49	10
2	Železobeton	240	1,54	29
3	Lepící a stěrková hmota	10	0,8	20
4	Isover EPS Grey Wall Plus	200	0,031	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	25

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

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

V konstrukci nedochází ke kondenzaci

Skladba plně splňuje standard pro pasivní dům.

2.6.3.1 Obvodové stěny varianta 4 – vyšší standard – uhlíková stopa

Položka tepelné izolace je v této variantě zastoupena materiálem Isover EPS Greywall Plus. Jako případná alternativa byla zvolena izolace z konopné vlny, izolace Isover EPS 70 F a izolace z korku.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla stanovenému standardu.

Tabulka 32: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 4 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m ² (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m ² (Kč)	Celkové množství (m ²)	Celková emise (kg CO ₂)
Isover EPS Greywall Plus	100	200	0,031	920,21	706,968	650 559,02
Isover EPS 70 F	100	250	0,039	928,63		656 511,69
Konopná izolace	300	260	0,039	2320		1 640 165,76
Korek	300	220	0,035	9462		6 689 331,22

(Epd-eps-70f) (Konopná izolace / tvrdá 60x600x800 mm 100 kg/m³) (Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m³) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (ISOVER EPS Greywall Plus)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce.

Tabulka 33: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 4 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO ₂ ek v. /FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO ₂ ek v. /m ²)	Celkové množství (m ²)	Celková emise (kg CO ₂)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	200	2	15,18	706,968	10 731,77
Isover EPS 70 F	7,22	250	2,5	18,05		12 760,77
Konopná izolace	-3,99	260	0,87	-3,458		- 2 444,70
Korek	-57,195	220	0,73	-41,943		- 29 652,36

(Epd-eps-70f) (Konopná izolace / tvrdá 60x600x800 mm 100 kg/m³) (Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m³) (Chybík, 2009) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 34: Hodnoticí tabulka výběru izolantu pro variantu 4 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m ² (Kč)	0,5	1	2	2	1,5	3	1	4	0,5
GWP (kg CO ₂ ekv./m ²)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	3	0,4	4	0,2	2	0,6
Celkem		3,4		2,2		2,1		2,3	

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky vyplývá, že optimální volbou je Isover EPS Greywall Plus.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 4 ve vyšším standardu na 135 807,04 kg CO₂.

2.6.4 Vnitřní stěny

Pro vnitřní nosné konstrukce byla zvolena kombinace stěn v tloušťkách 200 mm a 240 mm z betonu C 25/30. Vážená laboratorní neprůzvučnost betonu je pro tloušťku 200 mm 59 dB a pro tloušťku 240 mm 62 dB.

2.6.5 Vyčíslené náklady pro variantu monolit

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba:

Bakalářská práce

Objekt:

19999-4 - Varianta 4 - původní standard

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	7 419 413,49
HSV - Práce a dodávky HSV	7 419 413,49
3 - Svíslé a kompletní konstrukce	5 058 485,26
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	2 055 151,60
998 - Přesun hmot	305 776,63

Obrázek 37: Rozpočet nákladů pro variantu 4 v původním standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba:

Bakalářská práce

Objekt:

19999-4 - Varianta 4 - vyšší standard

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	7 619 879,18
HSV - Práce a dodávky HSV	7 619 879,18
3 - Svislé a kompletní konstrukce	5 058 485,26
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	2 255 387,83
998 - Přesun hmot	306 006,09

Obrázek 38: Rozpočet nákladu pro variantu 4 ve vyšším standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

2.7 Varianta 5 – Využití tvárnic Liapor (keramzitbeton)

2.7.1 Zhodnocení výrobce

Keramické kamenivo Liapor je jedním z hlavních výrobků společnosti Lias Vintřřov. U těchto výrobků je běžně používané kamenivo nahrazeno lehkým keramickým kamenivem Liapor. Toto kamenivo je vyráběno výpalem a expandací třetihorních jíílů v rotačních pecích. Výsledným produktem jsou keramické perly Liapor, obecně známější jako keramzit.

Výhody systému Liapor

Liapor má nízkou objemovou hmotnost, a to i přesto, že se specifická hmotnost materiálu pohybuje okolo 2450 kg/m³, díky vysoké mezerovitosti okolo 60 %. Další parametr, ve kterém Liapor exceluje, jsou jeho tepelně-izolační vlastnosti. Výborné jsou též i akustické vlastnosti a je důležité zmínit odolnost vůči vlhkosti. Díky nízkému difúznímu odporu tak nedochází ke vzniku plísní. (Co je Liapor)

Nevýhody systému Liapor

Z důvodu náročného procesu výroby je uhlíková stopa keramzit-betonu vyšší nežli u konkurenčních materiálů.

2.7.2 Obvodové stěny – varianta 5 – původní standard

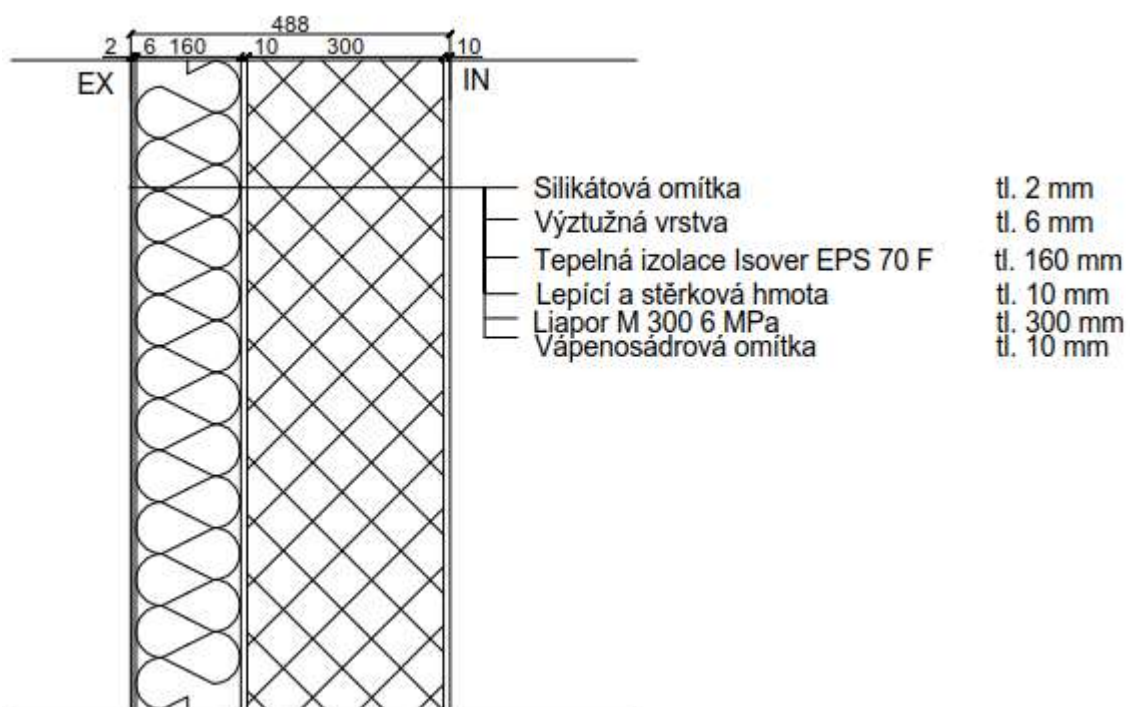
Pro obvodové stěny v této variantě byly navrženy tvárnice Liapor M 300 v třídě 6 MPa. Doplněna bude izolační vrstvou EPS Isover 70 F v tloušťce 160 mm.

Tvárnice Liapor M 300 12 MPa má následující vlastnosti:

- rozměry d/š/v [mm]: 250/300/250,
- objemová hmotnost: 1200 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k) = 6,25 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 57 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,321 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 0,88 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/15.



Obrázek 39 - Tvárnice Liapor M 300 (Tvárnice Liapor pro nosné stěny)



Obrázek 40: Skladba obvodové stěny – varianta 5 – původní standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 35 - Prostup tepla var. č. 5 – původní standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	10	0,49	10
2	Liapor M 300 12 MPa	300	0,32	9
3	Lepící a stěrková hmota	10	0,8	20
4	Isover EPS 70 F	160	0,039	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Silikátová omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

Součinitel prostupu tepla $U = 0,19\text{W/m}^2\text{K}$

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši $0,0056\text{ kg/m}^2$. Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard pro lehké vnější stěny.

2.7.2.1 Obvodové stěny varianta 5 – původní standard – uhlíková stopa

Pro variantu 5 je využito tvárnic systému Liapor. Tyto tvárnice jsou definovány jako keramzit-beton. Celková uhlíková stopa nosné části této varianty je popsána v následující tabulce.

Tabulka 36: Uhlíková stopa nosné části varianty 5

Název/Parametr	GWP (kg CO ₂ ekv. /kg)	Počet kusů na m ³ (ks/m ³)	Váha jedné tvárnice (kg/ks)	Emise (kg CO ₂ ekv. /m ³)	Celkové množství (m ³)	Celková emise (kg CO ₂)
Liapor M 300	0,40037	53,3	22,6	482,28	316,54	152 659,70
Liapor M 240	0,40037	66,7	17,6	470,00	37,72	17 728,49

(Tvarovky lehčené, keramzitbeton) (Tvárnice Liapor pro nosné stěny)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

V této tabulce je vypočtena celková uhlíková stopa pro nosnou část varianty 5. Postup pro výpočet byl totožný jako pro předcházející varianty. Celková výše uhlíkové stopy nosné části pro tento objekt ve variantě 5 Liapor je $170\,388,19\text{ kg CO}_2$

Pro tuto variantu byly zvoleny stejné varianty izolace jako pro předcházející varianty.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla původnímu standardu.

Tabulka 37: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 5 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m2 (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m2 (Kč)	Celkové množství (m2)	Cena celkem (Kč)
Isover EPS Greywall Plus	100	140	0,031	644,15	706,968	455 393,44
Isover EPS 70 F	100	160	0,039	594,32		420 165,22
Konopná izolace	300	160	0,039	1431		1 011 671,21
Korek	300	140	0,035	6020		4 255 947,36

(Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (ISOVER EPS Greywall Plus) (Konopná izolace / tvrdá 140x625x800 mm 100 kg/m3) (Konopná izolace / tvrdá 20x625x800 mm 100 kg/m3)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce.

Tabulka 38: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 5 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ek v. /FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO2 ek v. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	140	1,4	10,626	706,968	7 512,24
Isover EPS 70 F	7,22	160	1,6	11,552		8 166,89
Konopná izolace	-3,99	160	0,53	-2,128		- 1 504,43
Korek	-57,195	140	0,47	-26,691		- 18 869,68

(Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (Konopná izolace / tvrdá 140x625x800 mm 100 kg/m3) (Konopná izolace / tvrdá 20x625x800 mm 100 kg/m3) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017) (Chybík, 2009)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 39: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 5 ve specifikaci původního standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m ² (Kč)	0,5	2	1,5	1	2	3	1	4	0,5
GWP (kg CO ₂ ekv./m ²)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	2	0,6	2	0,6	1	0,8
Celkem		2,9		2,9		2,5		2,5	

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky vyplývá, že optimální volbou je izolant Isover EPS 70 F. Tento izolant byl zvolen, i přes shodný počet bodů s izolantem Isover EPS Grey Wall Plus, z důvodu lepšího výsledku v kritériu s největší váhou, tedy v nákladech.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 5 v původním standardu na 178 555,08 kg CO₂.

2.7.3 Obvodové stěny varianta 5 – vyšší standard

Pro vyšší standard byla jako limitní hodnota stanovena $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Skladba obvodové konstrukce stávající varianty upravené na vyšší standard.



Obrázek 41: Skladba obvodové stěny – varianta 5 – vyšší standard (zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 40 - Prostup tepla var. č. 5 – původní standard

Číslo vrstvy	Název	d [mm]	λ [W/mK]	Mi
1	Vápenosádrová omítka	10	0,49	10
2	Liapor M 300 12 MPa	300	0,32	9
3	Lepicí a stěrková hmota	10	0,8	20
4	Isover EPS Grey Wall Plus	180	0,032	30
5	Výztužná vrstva	6	0,75	50
6	Tenkovrstvá vápenná omítka	2	0,8	30

(zdroj: vlastní zpracování v programu TEPLO 2017)

Posouzení skladby podle aplikace TEPLO 2017:

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

V konstrukci v průběhu roku dochází ke kondenzaci ve výši 0,0042 kg/m². Tato kondenzace se ovšem kompletně vypaří.

Skladba plně splňuje standard pro pasivní dům.

2.7.3.1 Obvodové stěny varianta 5 – vyšší standard – uhlíková stopa

Položka tepelné izolace je v této variantě zastoupena materiálem Isover EPS Greywall Plus. Jako případná alternativa byla zvolena izolace z konopné vlny, izolace Isover EPS 70 F a izolace z korku.

Parametry a dimenze jednotlivých variant jsou uvedeny v následující tabulce, tloušťka jednotlivých izolací byla stanovena tak, aby finální skladba vyhověla stanovenému standardu.

Tabulka 41: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 5 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Funkční jednotka FU na m ² (mm)	Tloušťka (mm)	Součinitel tepelné vodivosti λ	Cena za 1 m ² (Kč)	Celkové množství (m ²)	Cena celkem (Kč)
Isover EPS Greywall Plus	100	180	0,031	736,17	706,968	520 448,63
Isover EPS 70 F	100	220	0,039	817,19		577 727,18
Konopná izolace	300	220	0,039	1944		1 374 345,79
Korek	300	200	0,035	8604		6 082 752,67

(Epd-eps-70f) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m³) (Konopná izolace / tvrdá 20x625x800 mm 100 kg/m³) (ISOVER EPS Greywall Plus)(zdroj tabulky: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů, ceny pro materiály Isover doplněné s využitím programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

Celková uhlíková stopa pro jednotlivé specifikace tepelné izolace je vypočtena v následující tabulce.

Tabulka 42: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 5 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	GWP (kg CO2 ekv. /FU)	Tloušťka (mm)	Přepočítávací koeficient	GWP (kg CO2 ekv. /m2)	Celkové množství (m2)	Celková emise (kg CO2)
Isover EPS Greywall Plus	7,59	180	1,8	13,662	706,968	9 658,60
Isover EPS 70 F	7,22	220	2,2	15,884		11 229,48
Konopná izolace	-3,99	220	0,73	-2,926		- 2 068,59
Korek	-57,195	200	0,67	-38,13		- 26 956,69

(Epd-eps-70f) (Chybík, 2009) (XPMD Expandovaná izolační korková deska REV) (Expandované izolační korkové desky XPMD) (Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m3) (Konopná izolace / tvrdá 20x625x800 mm 100 kg/m3) (EPD - Isover EPS GreyWall, 2017)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

Výběr finálního izolantu byl uskutečněn na základě následující tabulky.

Tabulka 43: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 5 ve specifikaci vyššího standardu

Název/Parametr	Váha kritéria	Isover EPS Greywall Plus		Isover EPS 70 F		Konopná izolace		Korek	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Cena za 1 m2 (Kč)	0,5	1	2	2	1,5	3	1	4	0,5
GWP (kg CO2 ekv./m2)	0,3	3	0,6	4	0,3	2	0,9	1	1,2
Tloušťka izolantu (mm)	0,2	1	0,8	3	0,4	3	0,4	2	0,6
Celkem		3,4		2,2		2,3		2,3	

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky vyplývá, že optimální volbou je Isover EPS Greywall Plus.

Po sečtení uhlíkových stop tepelné izolace a nosné konstrukce je možné stanovit finální uhlíkovou stopu varianty 5 ve vyšším standardu na 180 046,78 kg CO₂.

2.7.4 Vnitřní stěny

Pro vnitřní konstrukce byly zvoleny též tvárnice Liapor M 300 v třídě 12 MPa, jako náhrada za původně navržené Porotherm 30 AKU SYM, přičemž tato keramzitová tvárnice je kategorizována jako AKU.

Původně navržená tvárnice Porotherm 24 P+D byla nahrazena tvárnicí Liapor M 240 v třídě 12 MPa

Tato tvárnice má následující vlastnosti

- rozměry d/š/v [mm]: 250/240/250,
- objemová hmotnost: 1200 kg/m³,
- charakteristická pevnost v tlaku (f_k)= 6,25 [MPa],
- vážená laboratorní neprůzvučnost (R_w) = 56 dB,
- součinitel tepelné vodivosti bez omítek (λ) = 0,333 W/mK,
- součinitel prostupu tepla s omítkami (U) = 1,09 W/m²K,
- faktor difúzního odporu (μ) nebo (M_i) = 5/15.



Obrázek 42 - Tvárnice Liapor M 240 (Tvárnice Liapor pro nosné stěny)

2.7.5 Vyčíslené náklady pro variantu Liapor

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba: Bakalářská práce

Objekt: 19999-5 - Varianta 5 - původní standard

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	5 061 904,31
HSV - Práce a dodávky HSV	5 061 904,31
3 - Svislé a kompletní konstrukce	2 886 375,00
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	1 991 687,96
998 - Přesun hmot	183 841,35

Obrázek 43: Rozpočet nákladů pro variantu 5 v původním standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

REKAPITULACE ČLENĚNÍ SOUPISU PRACÍ

Stavba:

Bakalářská práce

Objekt:

19999-5 - Varianta 5 - vyšší standard

Místo:

Datum: 17. 3. 2023

Zadavatel:

Projektant:

Zhotovitel:

Zpracovatel:

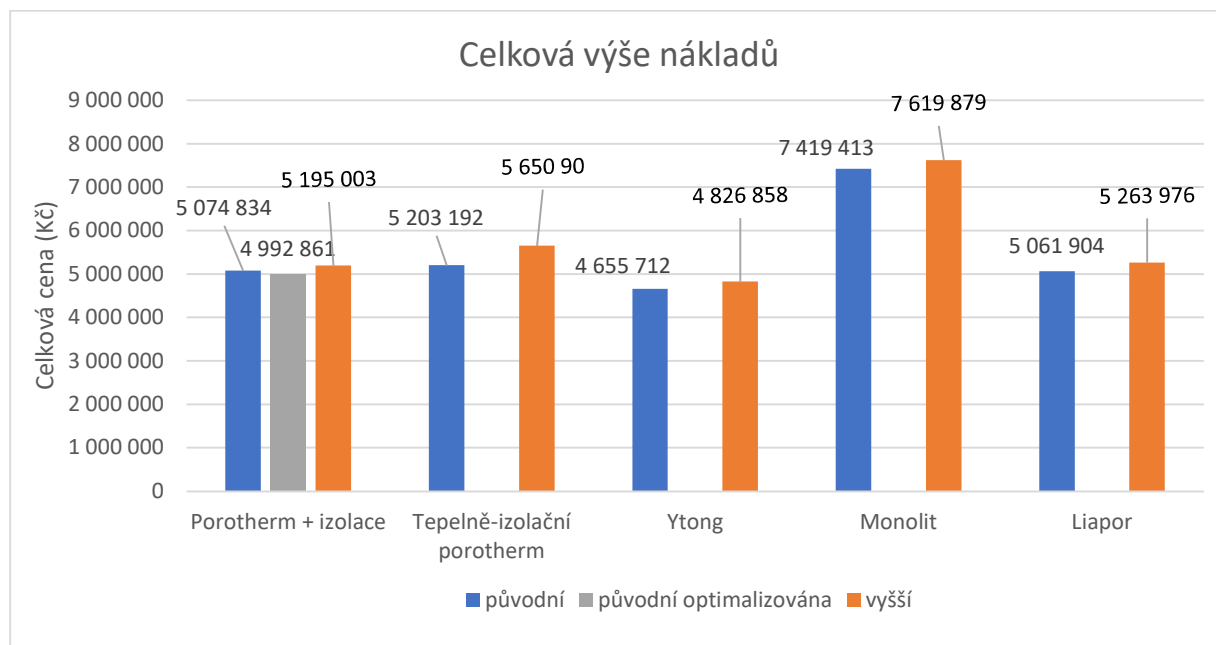
Kód dílu - Popis	Cena celkem [CZK]
Náklady ze soupisu prací	5 263 975,86
HSV - Práce a dodávky HSV	5 263 975,86
3 - Svislé a kompletní konstrukce	2 886 375,00
6 - Úpravy povrchů, podlahy a osazování výplní	2 193 741,80
998 - Přesun hmot	183 859,06

Obrázek 44: Rozpočet nákladů pro variantu 5 ve vyšším standardu (zdroj: vlastní zpracování v programu KROS 4, databáze ÚRS 2023 01)

2.8 Vyhodnocení variant podle jednotlivých kritérií

2.8.1 Vyhodnocení variant v rámci celkové výše nákladů

V následujícím grafu je vyhotoveno srovnání celkové výše nákladů pro jednotlivé varianty v obou standardech



Obrázek 45: Celková výše nákladů (zdroj: vlastní zpracování)

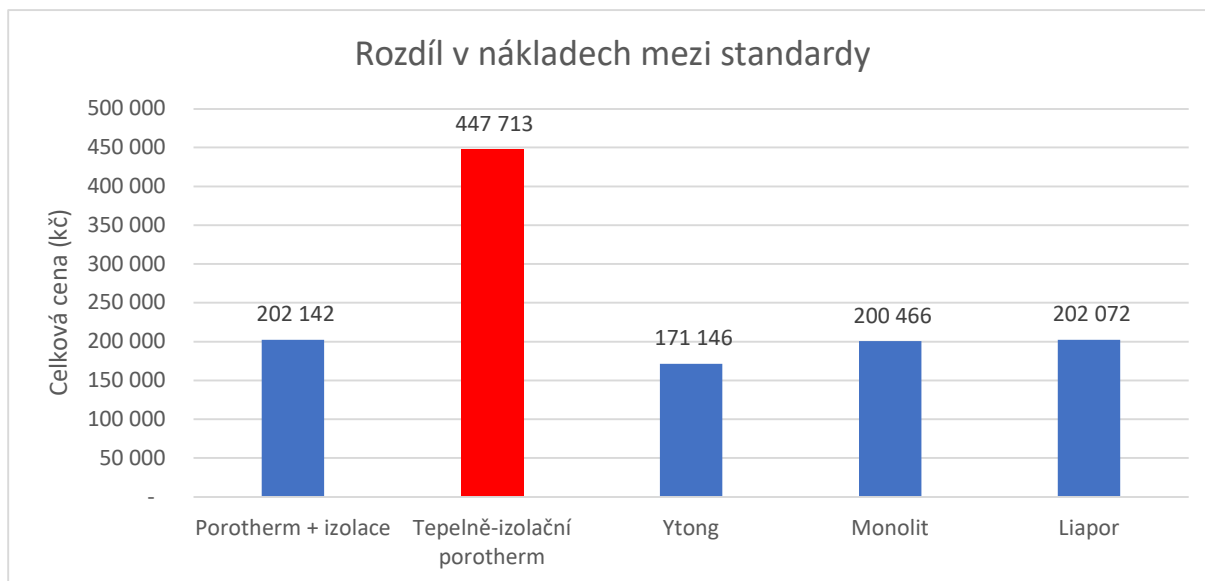
Z tohoto grafu můžeme vyvodit následující pořadí z hlediska nákladů na původní standard, pro variantu 1 je vždy využita optimalizovaná varianta

1. Varianta 3 – Ytong
2. Varianta 1 – Původně navržený Porotherm s přidanou vrstvou tepelné izolace
3. Varianta 5 – Liapor
4. Varianta 2 – Tepelně-izolační tvárnice Porotherm
5. Varianta 4 – Monolitická konstrukce

Dále je možné určit pořadí variant z hlediska nákladů na vyšší standard

1. Varianta 3 - Ytong
2. Varianta 1 – Původně navržený Porotherm s přidanou vrstvou tepelné izolace
3. Varianta 5 – Liapor
4. Varianta 2 – Tepelně-izolační tvárnice Porotherm
5. Varianta 4 – Monolitická konstrukce

V následujícím grafu je možné sledovat rozdíl mezi náklady na jednotlivé standardy, pro variantu 1 byla použita optimalizovaná skladba.

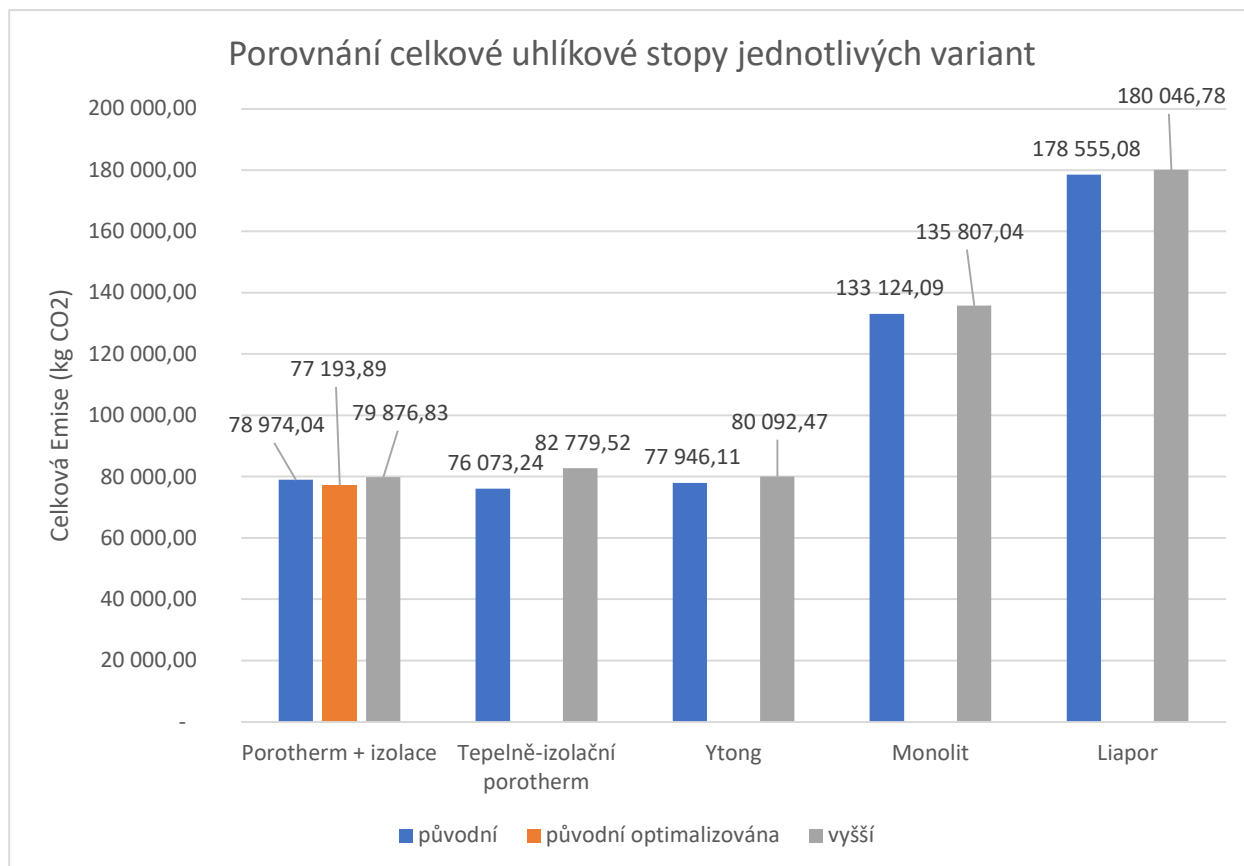


Obrázek 46 Rozdíl ve výši nákladů mezi standardy (zdroj: vlastní zpracování)

Z tohoto grafu jasně vyplývá, že náklady na změnu standardu jsou velice podobné s jedinou výjimkou, kterou představuje Varianta 2, kde nedochází k záměně izolantu, nýbrž k záměně samotných tvárnic, v důsledku toho je rozdíl vyšší a došlo tak i ke změně pořadí z hlediska nákladů pro vyšší standard.

2.8.2 Vyhodnocení variant v rámci uhlíkové stopy

V následujícím grafu je vidět konečné shrnutí uhlíkových stop jednotlivých variant



Obrázek 47: Porovnání Celkové uhlíkové stopy jednotlivých variant (zdroj: vlastní zpracování)

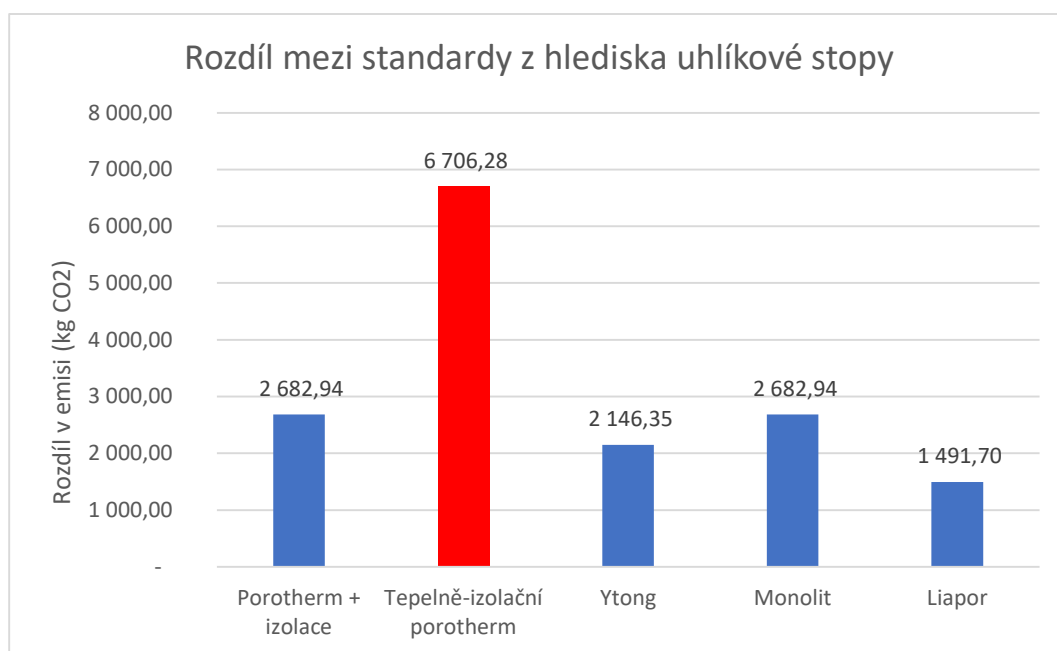
Z tohoto grafu je možné určit následující pořadí variant v kritériu uhlíkové stopy pro původní standard:

1. Varianta 2 – Tepelně-izolační tvárnice Porotherm
2. Varianta 1 – Původně navržený Porotherm s přidanou vrstvou tepelné izolace
3. Varianta 3 – Ytong
4. Varianta 4 – Monolit
5. Varianta 5 – Liapor

Dále je lze určit pořadí variant i pro vyšší standard

1. Varianta 1 – Původně navržený Porotherm s přidanou vrstvou tepelné izolace
2. Varianta 3 – Ytong
3. Varianta 2 – Tepelně-izolační tvárnice Porotherm
4. Varianta 4 – Monolit
5. Varianta 5 – Liapor

V následujícím grafu jsou znázorněny rozdíly mezi jednotlivými standardy, pro variantu 1 byla opět využita optimalizovaná skladba



Obrázek 48: Rozdíl v uhlíkové stopě mezi jednotlivými standardy (zdroj: vlastní zpracování)

V tomto grafu lze sledovat, že záměny pouze v tloušťce stejného izolantu se pohybují okolo 2500 kg CO₂, v případě varianty 5 využívající Liapor, byla změna menší v důsledku změny typu izolantu. Pro variantu 2, která využívá tepelně-izolačních tvárnic, je změna opět větší, a to z důvodu nárůstu celkového objemu keramických tvárnic.

2.8.3 Vyhodnocení variant v rámci podlahové plochy

V následující tabulce jsou uvedeny podlahové plochy pro všechny varianty v původním standardu.

Tabulka 44 : Porovnání podlahových ploch pro původní standard

Podlahová plocha (m ²)	Původní	Rozdíl oproti původní skladbě
Porotherm + izolace	1061,26	-
Porotherm + izolace – optimalizovaná	1072,51	11,25
Tepelně-izolační porotherm	1077,20	15,93
Ytong	1065,23	3,97
Monolit	1085,67	24,41
Liapor	1055,91	-5,35

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky je vidět, že v původním standardu je pořadí variant v porovnání podlahových ploch následující.

1. Varianta 4 – Monolit
2. Varianta 2 – Tepelně-izolační tvárnice Porotherm
3. Varianta 1 – Původně navržený Porotherm s přidanou vrstvou tepelné izolace – optimalizovaný
4. Varianta 3 - Ytong
5. Varianta 5 – Liapor

Pro vyšší standard jsou podlahové plochy následující

Tabulka 45: Porovnání podlahových ploch pro vyšší standard

Podlahová plocha (m ²)	Vyšší (m ²)	Rozdíl oproti původní skladbě (m ²)
Porotherm + izolace	1058,50	-2,76
Tepelně-izolační porotherm	1057,85	-3,41
Ytong	1052,64	-8,62
Monolit	1071,67	10,41
Liapor	1050,39	-10,87

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky lze určit finální pořadí variant pro vyšší standard. Toto pořadí je následující:

1. Varianta 4 – Monolit
2. Varianta 1 – Původně navržený Porotherm s přidanou vrstvou tepelné izolace
3. Varianta 2 – Tepelně-izolační tvárnice Porotherm
4. Varianta 3 - Ytong
5. Varianta 5 – Liapor

Kritérium podlahové plochy ukazuje na výhodu vysoké pevnosti v tlaku monolitických konstrukcí, díky čemuž byla varianta 4 pro toto kritérium nejvýhodnější. Varianta 5 je jedinou variantou, u které dojde ke snížení podlahové plochy pro oba standardy. Pro variantu 1 byla v tomto kritériu důležitá zvolená optimalizace, která ji posunula v původním standardu před variantu 3 Ytong. Pro variantu 2 je vidět stávající trend, kdy při přechodu na vyšší standard na ostatní varianty ztrácí.

2.9 Finální vyhodnocení a výběr optimální varianty

Pro výběr optimální varianty bude využita, jak bylo dříve zmíněno, metoda pořadí, kdy váha jednotlivých kritérií byla stanovena následovně

- celkové náklady - 0,5,
- uhlíková stopa - 0,3,
- podlahová plocha - 0,2.

Pro původní standard jsou výsledky následující.

Tabulka 46: Porovnávací tabulka variant pro původní standard

Název/Parametr	Váha kritéria	Porotherm + izolace		Tepelně-izolační porotherm		Ytong		Monolit		Liapor	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Celkové náklady	0,5	2	2	4	1	1	2,5	5	0,5	3	1,5
Uhlíková stopa	0,3	2	1,2	1	1,5	3	0,9	4	0,6	5	0,3
Podlahová plocha	0,2	3	0,6	2	0,8	4	0,4	1	1	5	0,2
Celkem		3,8		3,3		3,8		2,1		2	

(zdroj: vlastní zpracování)

Z této tabulky vyplývá, že optimální variantou pro původní standard jsou optimalizovaná varianta 1 a varianta 3.

Pro vyšší standard jsou výsledky následující.

Tabulka 47: Porovnávací tabulka variant pro vyšší standard

Název/Parametr	Váha kritéria	Porotherm + izolace		Tepelně-izolační porotherm		Ytong		Monolit		Liapor	
		Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body	Pořadí	Body
Celkové náklady	0,5	2	2	4	1	1	2,5	5	0,5	3	1,5
Uhlíková stopa	0,3	1	1,5	3	0,9	2	1,2	4	0,6	5	0,3
Podlahová plocha	0,2	2	0,8	3	0,6	4	0,4	1	1	5	0,2
Celkem		4,3		2,5		4,1		2,1		2	

(zdroj: vlastní zpracování)

Tato tabulka jasně ukazuje, že optimální volba pro vyšší standard, je optimalizovaná varianta 1.

Při zohlednění výsledků pro oba standardy byla jako optimální varianta určena varianta 1.

2.10 Vyhodnocení návratnosti investice do zvýšení standardu

V této části se práce zabývá otázkou profitability investice do zvýšení standardu a případným dopadem na uhlíkovou stopu objektu.

Tento posudek byl vypracován v programu Energie 2020, kde byla z důvodu omezení tohoto programu posouzena budova jako třípatrová a dopad zbývajících dvou pater byl přičten dodatečně. Délka sledovaného období byla stanovena na 20 let. Pro porovnání budou využity skladby vítězné varianty, v případě této práce se jedná o variantu 1 – Porotherm s přidanou vrstvou izolace.

V programu energie byly využity dvě alternativy zdroje vytápění a ohřevu teplé vody, konkrétně se jedná o plyn a elektřinu.

V následující tabulce jsou uvedeny výstupy z programu Energie 2020 pro zvolenou variantu.

Tabulka 48: Výstup z programu Energie 2020

Název/ Parametr	Měrné emise CO2 za rok (kg CO2 ekv. m2)	Měrná prim. Neergie z neobnovit. Zdrojů E, pN, A (kWh ekv. m2)	Energetická vztažná plocha budovy (m2)	Měrné emise CO2 za rok (kg CO2)	Měrná prim. Neergie z neobnovit. Zdrojů E, pN, A (kWh)
Varianta 1 - původní – plyn	18,167	82,39	1174,7	21 340,71	96 788,70
Varianta 1 - původní optimalizace – plyn	18,374	83,44	1174,7	21 584,21	98 011,44
Varianta 1 - vyšší – plyn	17,779	80,45	1174,7	20 885,31	94 501,16
Varianta 1 - původní – elektřina	77,587	199,33	1174,7	91 140,93	234 156,87
Varianta 1 - původní optimalizace – elektřina	78,641	202,04	1174,7	92 379,46	237 338,10
Varianta 1 – vyšší – elektřina	75,616	194,27	1174,7	88 825,75	228 209,00

(zdroj: vlastní zpracování v programu Energie 2020)

Z této tabulky lze vyčíst jednotlivé úspory, či ztráty, ke kterým by došlo v důsledku optimalizace původního standardu, či zvýšení standardu svislých nosných konstrukcí. Jejich konkrétní výše je uvedena v následující tabulce

Tabulka 49: Úspory v důsledku zvýšení standardu při vytápění plynem

Název/Parametr	Úspora kg Co2/ rok	Úspora kWh / rok	Úspora kg Co2/ 20 let	Úspora kWh / 20 let
Varianta 1 - původní - plyn	-	-	-	-
Varianta 1 - původní optimalizace - plyn	-243,50	-1 222,74	-4 869,90	-24 454,82
Varianta 1 - vyšší - plyn	455,40	2 287,54	9 108,04	45 750,78

(zdroj: vlastní zpracování)

Tabulka 50: Úspory v důsledku zvýšení standardu při vytápění elektrinou

Název/Parametr	Úspora kg Co2/ rok	Úspora kWh / rok	Úspora kg Co2/ 20 let	Úspora kWh / 20 let
Varianta 1 - původní - elektřina	-	-	-	-
Varianta 1 - původní optimalizace - elektřina	-1 238,54	-3 181,23	-24 770,70	-63 624,65
Varianta 1 – vyšší - elektřina	2 315,18	5 947,86	46 303,58	118 957,30

(zdroj: vlastní zpracování)

Informace z těchto tabulek ukazují, že zvýšení standardu povede k úsporám v průběhu životního cyklu stavby, kdežto optimalizace původní varianty, která byla učiněna za účelem snížení uhlíkové stopy a nákladů na původně navrženou variantu při výstavbě, vede ke ztrátám. Pomocí následujících grafů a prognózy byly tyto úspory převedeny na konkrétní finanční údaj.

Pro tento účel byla využita data o vývoji cen jednotlivých komodit v posledních letech. Tato data jsou uvedena v následující tabulce

Tabulka 51: Vývoj cen plynu a elektřiny v posledních letech

Roky	Kč/1MWh - elektřina	Kč/1MWh - plyn
2007	1529,2	210,93
2008	1732,4	458,57
2009	1261,9	270,33
2010	1207,4	285,81
2011	1326,3	242,28
2012	1205,6	188,96
2013	992,43	249,82
2014	943,69	301,18
2015	835,35	220,69
2016	723,86	213,34
2017	861,91	241
2018	1162,5	228,7
2019	1295	197,78
2020	1161,9	171,2
2021	2345	276,3
2022	7319,2	526,05
2023	3761,1	198,96

(Elektřina - historický vývoj ceny Elektřina po letech, minima, maxima, průměr. 1 MWh - měna CZK)
 (Zemní plyn - historický vývoj ceny Zemní plyn po letech, minima, maxima, průměr. 1 MWh - měna CZK)(zdroj: vlastní zpracování s využitím uvedených zdrojů)

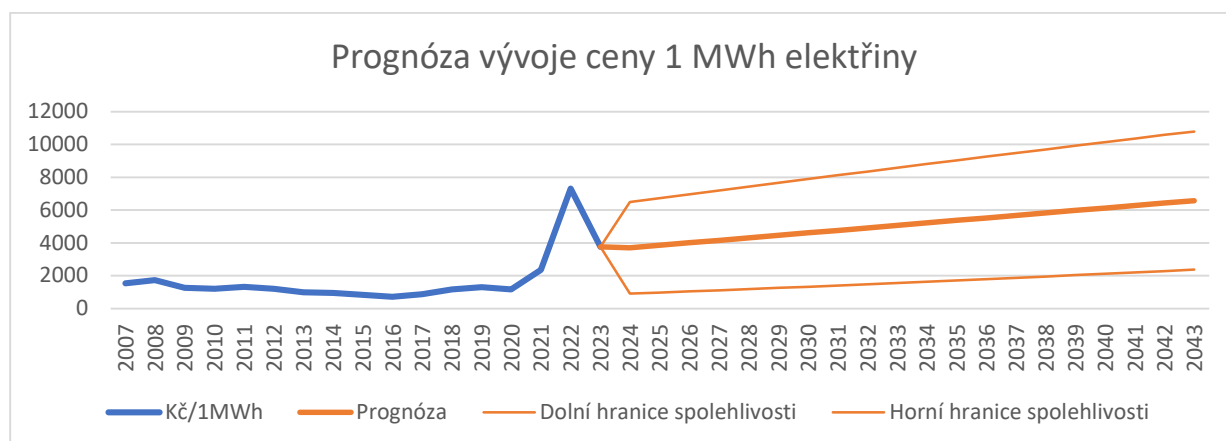
Pomocí těchto dat byla vytvořena prognóza pro jednotlivé komodity, hodnoty této prognózy jsou následující

Tabulka 52: Prognóza cen elektřiny a plynu na 20 let

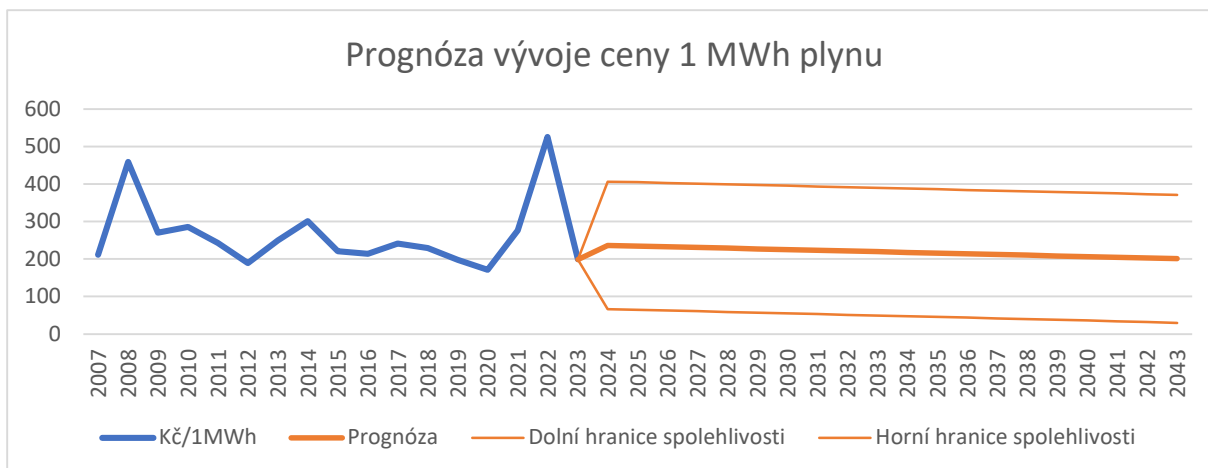
Roky	Kč/1MWh - elektřina	Kč/1MWh - plyn
2024	3 699,55	236,30
2025	3 851,25	234,42
2026	4 002,95	232,53
2027	4 154,65	230,65
2028	4 306,35	228,76
2029	4 458,04	226,87
2030	4 609,74	224,99
2031	4 761,44	223,10
2032	4 913,14	221,21
2033	5 064,84	219,33
2034	5 216,54	217,44
2035	5 368,24	215,56
2036	5 519,93	213,67
2037	5 671,63	211,78
2038	5 823,33	209,90
2039	5 975,03	208,01
2040	6 126,73	206,12
2041	6 278,43	204,24
2042	6 430,13	202,35
2043	6 581,83	200,46

(zdroj: vlastní zpracování s využitím funkce prognózy v MS excel)

V následujících dvou grafech jsou tyto prognózy vyjádřeny. V grafech jsou kromě prognózy také zahrnuty hranice spolehlivosti.



Obrázek 49: Graf prognózy cen elektřiny za 1 MWh – (zdroj: vlastní zpracování s využitím funkce prognózy v MS excel)



Obrázek 50: Prognóza vývoje ceny plynu za 1 MWh - (zdroj: vlastní zpracování s využitím funkce prognózy v MS excel)

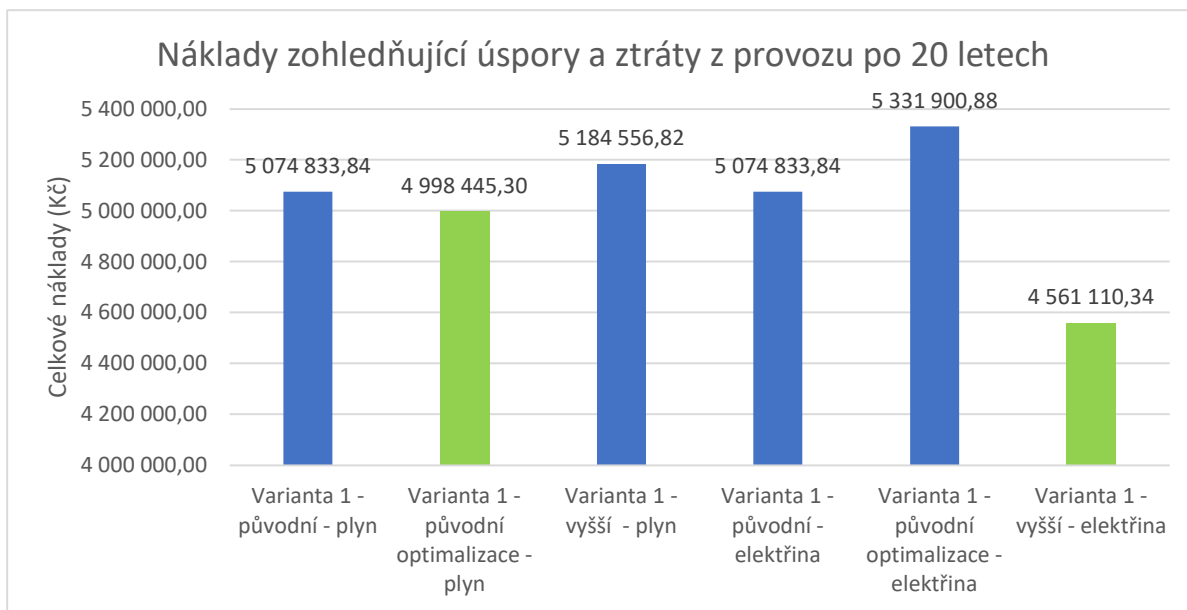
Z těchto grafů je možné sledovat, že pro cenu elektřiny je vidět trend růstu ceny, kdežto pro plyn je tento trend stagnující až klesající. V následující tabulce jsou vyčísleny úspory, či ztráty vyvolané volbou varianty a případnou investicí do vyššího standardu.

Tabulka 53: Vyjádření úspory a ztrát v Kč

Název/Parametr	Úspora/20 let (Kč)
Varianta 1 - původní - plyn	- Kč
Varianta 1 - původní optimalizace - plyn	- 5 583,83 Kč
Varianta 1 - vyšší - plyn	10 446,40 Kč
Varianta 1 - původní - elektřina	- Kč
Varianta 1 - původní optimalizace - elektřina	-339 039,41 Kč
Varianta 1 – vyšší - elektřina	633 892,88 Kč

(zdroj: vlastní zpracování)

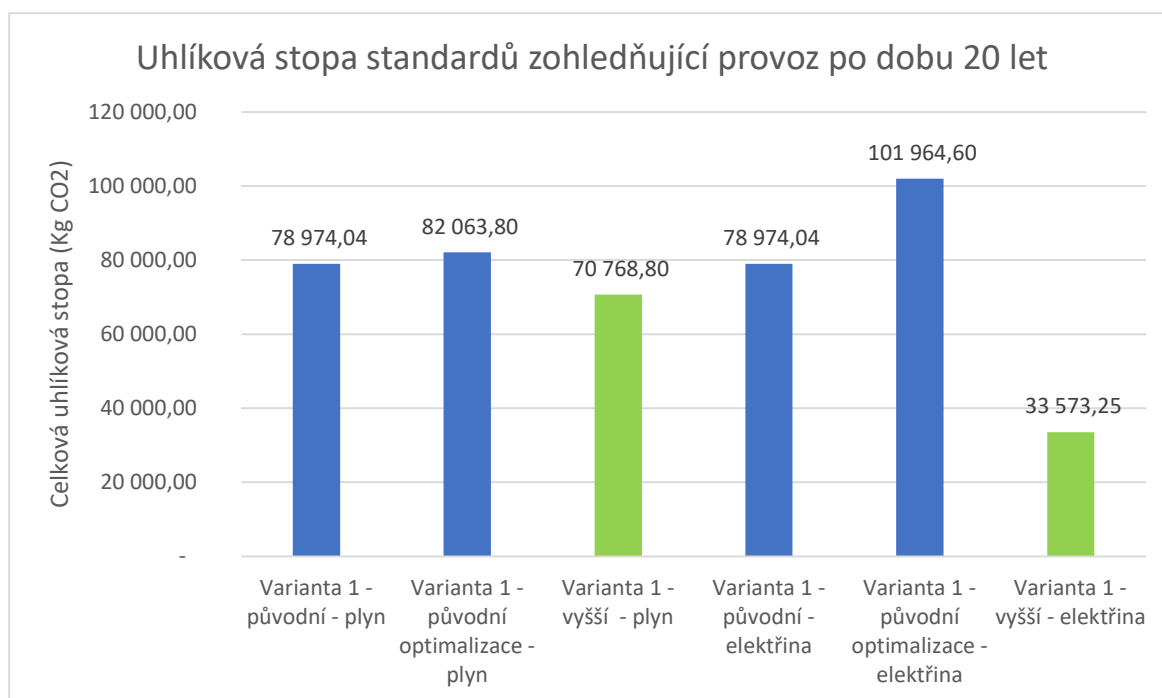
Z této tabulky je možné vyvodit, že po 20 letech je investice do vyššího standardu významně výhodná při využití elektřiny, kdežto při využití plynu se již finančně nevyplatí. Tento fakt je zohledněn v následujícím grafu:



Obrázek 51: Porovnání nákladů na jednotlivé standardy při zohlednění úspor a ztrát z provozu po 20 letech (zdroj: vlastní zpracování)

V tomto grafu je jasně vidět, že investice do vyššího standardu se po 20 letech finančně vyplatí pouze v případě, že zdrojem energie je elektřina, přičemž je možné sledovat, že při volbě tohoto zdroje optimalizace původního standardu sice v době výstavby vedla k úspoře, avšak v průběhu životního cyklu budovy je ztrátová.

V případě, že jako zdroj energie byl zvolen plyn, stává se optimalizace původního standardu optimální volbou, kdy náklady ušetřené v době výstavby převyšují hodnotu ztráty na cenách energií, ke které volbou této optimalizace, dojde v průběhu 20 let.



Obrázek 52: Porovnání uhlíkové stopy na jednotlivé standardy zohledňující provoz budovy po dobu 20 let (zdroj: vlastní zpracování)

Z tohoto grafu je možné sledovat, že v případě zvolení elektřiny jako zdroje energie, je trend z finančního vyhodnocení je stejně platný i pro celkovou uhlíkovou stopu, kdy je možné sledovat, že investice do vyššího standardu vede k významným úsporám z hlediska uhlíkové stopy po 20 letech. Dále je potvrzeno, že ačkoliv optimalizace původního standardu vedla k nárazovému snížení uhlíkové stopy, tak v průběhu životního cyklu budovy naopak vede k jejímu navýšení. V případě uhlíkové stopy je tento trend platný pro oba zdroje energie.

3. Závěr

Cílem této práce bylo nalézt optimální variantu svislé nosné konstrukce pro vybraný objekt, z hlediska ekonomického i environmentálního. K tomuto účelu bylo pro vybraný objekt zpracováno 5 variant ve dvou standardech. Původní varianta 1 v původním standardu byla optimalizována za účelem snížení celkových nákladů a uhlíkové stopy. Všechny varianty byly v obou standardech vyhodnoceny podle kritérií celkových nákladů, uhlíkové stopy a podlahové plochy a byla zvolena optimální varianta. Zvolené podmínky nejlépe splnila varianta 1 – Porotherm + tepelná izolace. Tato varianta byla následně posouzena v programu Energie 2020 z hlediska spotřeby energie a uhlíkové stopy, která vznikla v důsledku produkce této energie. Vzhledem k tomu, že pro variantu 1 v původním standardu byly navrženy dvě skladby, naskytla se skvělá možnost zjistit, zdali se vyplatí optimalizovat celkové náklady a uhlíkovou stopu skladby i za cenu drobného zhoršení fyzikálních vlastností. Všechny tři skladby konstrukce byly posouzeny po dobu 20 let. Výsledkem této analýzy bylo zjištění, že kromě fyzikálních vlastností záleží též i na volbě zdroje energie. V případě využití plynu jako zdroje energie se finančně vyplatí optimalizace nákladů v době výstavby, ovšem z hlediska environmentálního se vyplatí investice do vyššího standardu a je tedy na investorovi, jestli preferuje finanční nebo environmentální dopad. Při využití elektřiny jako zdroje energie se investice do vyššího standardu vyplatí jak z hlediska environmentálního, tak z hlediska finančního a tato volba je tak jednoduchá. Je třeba zdůraznit, že optimální volba řešení svislých nosných konstrukcí má významný vliv na celkovou ekonomickou výnosnost a environmentální udržitelnost staveb. Při výběru řešení těchto konstrukcí bylo též dokázáno, že volba rychlé úspory ve fázi výstavby může mít negativní na náklady a vznik uhlíkové stopy v průběhu životního cyklu stavby, je vždy třeba zvážit jak krátkodobé náklady, tak i dlouhodobé výnosy a environmentální dopady zvoleného řešení.

Bibliografie

2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector. [online]. 2019. 1. International Energy Agency and the United Nations Environment Programme. [cit. 2023-05-08]. ISBN 978-92-807-3768-4. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>

Beton prostý. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/betony-a-zelezobetony/prosty/beton-prosty.html>

Betony a železobetony. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/betony-a-zelezobetony/>

BRYAN, Dipl.; TREMBUL'AK, Ing.; ČEREŠŇÁK, Ing. 2017. *BYTOVÝ DŮM B3 POHLED - VÝCHODNÍ*.

BRYAN, Dipl.; TREMBUL'AK, Ing.; HRUŠKA, D. 2017. *BYTOVÝ DŮM B3 TABULKA SKLADEB A POVRCHŮ*.

BRYAN, Dipl.; TREMBUL'AK, Ing.; NĚMEC, Ing. 2017. *Technická zpráva*.

Cena plynu 2023 - srovnání innogy, E.ON, Pražská plynárenská. 2023. In: *Tzbinfo* [online]. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/13-prehled-cen-zemniho-plynu>

Ceníky Elektřiny pro domácnosti. 2023. In: *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektrina-2023/moo/moo_ee_na_3_roky_abc_01.04.2023_cez.pdf

Cihla pálená dutinová. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/zdici-prvky/keramicke/palene/cihla-palena-dutinova-685.html>

Cihla Porotherm 24 P+D - Nebroušená. In: *Wienerberger* [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/zdivo-porotherm/produkty/cihly/porotherm-24.html>

Cihla Porotherm 30 AKU SYM - Akustická. In: *Wienerberger* [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/zdivo-porotherm/produkty/cihly/porotherm-30-aku-sym.html>

Cihla Porotherm 30 P+D - Nebroušená. In: *Wienerberger* [online]. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/zdivo-porotherm/produkty/cihly/porotherm-30.html>

Cihla Porotherm 38 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená. In: *Wienerberger* [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/zdivo-porotherm/produkty/cihly/porotherm-38-t-profi-dryfix.html>

Cihla Porotherm 44 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená. In: *Wienerberger* [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/zdivo-porotherm/produkty/cihly/porotherm-44-t-profi-dryfix.html>

Cihla vápenopísková. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-04-10]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/zdici-prvky/vapenopiskove/cihla-vapenopiskova.html>

Co je Liapor. In: *Liapor* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/co-je-liapor>

ČSN 73 0532: *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků - Požadavky*. 2020. 1. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 40 s.

ČSN 73 0540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 2012. 2. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 56 s.

ČSN 73 0540-4: *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. 2005. 1. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 60 s.

ČSN 73 0802 ed. 2: *Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty*. 2020. 2. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 128 s.

Elektřina - historický vývoj ceny Elektřina po letech, minima, maxima, průměr. 1 MWh - měna CZK. In: *Kurzycz* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektriny-graf-vyvoje-ceny/historie-czk-1MWh>

Environmentální prohlášení o produktu. In: *Česká informační agentura životního prostředí* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.cenia.cz/spolecenska-odpovednost/epd/>

EPD - Isover EPS GreyWall. 2017.

Epd-eps-70f: Environmentální prohlášení o produktu, v souladu s ČSN EN 15804+A1, ČSN ISO 14025, LEEDv4, BREEAM 2016. In: *Isover - Saint Gobain* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/environmentalni-prohlaseni/epd-eps-70f.pdf>

EPD-TF PROFI cz 8–2020: Environmentální prohlášení o produktu, v souladu s ČSN EN 15804+A1 a ČSN ISO 14025. In: *Isover - Saint Gobain* [online]. [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/environmentalni-prohlaseni/epd-isover-tf-profi-cz.pdf>

Expandované izolační korkové desky XPMD. In: *Podlahy Děčín* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: https://podlahydecin.cz/e-shop/708_expandovane-izolacni-korkove-desky-xpmd

HÁJEK, Petr. 2005. *Pozemní stavitelství pro 1. ročník SPŠ stavebních*. Vyd. 6., přeprac. Praha: Sobotáles. ISBN 80-868-1712-1.

CHYBÍK, Josef. 2009. *Přírodní stavební materiály* [online]. 1. elektronické vydání. Praha: Grada. [cit. 2023-04-21]. Stavitel. ISBN 978-80-247-2532-1. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/kniha/prirodni-stavebni-materialy-247/>

ISOVER EPS Greywall Plus. In: *Isover - Saint Gobain* [online]. [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-greywall-plus#descriptions>

Konopná izolace / tvrdá 100x625x800 mm 100 kg/m³. In: *Přírodní stavba* [online]. [cit. 2023-05-01]. Dostupné z: <https://www.prirodnistavba.cz/konopna-izolace-tvrda-100x625x800-mm-100-kg-m3-4462.html>

Konopná izolace / tvrdá 140x625x800 mm 100 kg/m³. In: *Přírodní stavba* [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.prirodnistavba.cz/konopna-izolace-tvrda-140x625x800-mm-100-kg-m3-13708.html>

Konopná izolace / tvrdá 200x625x800 mm 100 kg/m³. In: *Přírodní stavba* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.prirodnistavba.cz/konopna-izolace-tvrda-200x625x800-mm-100-kg-m3-13704.html>

Konopná izolace / tvrdá 20x625x800 mm 100 kg/m³. In: *Přírodní stavba* [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.prirodnistavba.cz/konopna-izolace-tvrda-20x625x800-mm-100-kg-m3-13712.html>

Konopná izolace / tvrdá 60x600x800 mm 100 kg/m³. In: *Přírodní stavba* [online]. [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.prirodnistavba.cz/konopna-izolace-tvrda-60x600x800-mm-100-kg-m3-13706.html>

KROS 4 - profesionální rozpočtování staveb. In: *ÚRS* [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.urs.cz/software-a-data/kros-4-ocenovani-a-rizeni-stavebni-vyroby>

LCA. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/lca/>

Metodika envimatu. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/metodika/>

Minerální vlna, kamenná. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/tepelne-izolace/mineralni-vlakna/mineralni-vlna-kamenna.html>

MOUČKA, Radek. Ytong vs Porotherm. In: *Dům pro Radost* [online]. [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.dumproradost.cz/2015/ytong-vs-porotherm/>

Nařízení vlády č. 366/2013 Sb.: Nařízení vlády o úpravě některých záležitostí souvisejících s bytovým spoluvlastnictvím. In: *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-366#p5>

O nás. In: *Xella* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/o-nas

Ocel, výztuž do betonu. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/kovy/ocel-vyztuz-do-betonu.html>

REMEŠ, Josef. 2014. *Stavební příručka: to nejdůležitější z norem, vyhlášek a zákonů*. 2., aktualiz. vyd. Praha: Grada. Stavitel. ISBN ISBN978-80-247-5142-9.

SELIN, Noelle Eckley. Carbon footprint: ecology and conservation. In: *Britannica* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/carbon-footprint>

SCHNEIDEROVÁ HERALOVÁ, Renáta et al. 2020. *Oceňování staveb*. Praha: České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-06748-2.

SILKA KSRP 200 (20-2,0). In: *Xella* [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/product/silka-ksrp-200-%2820-2,0%29/20002011

SILKA KSRP 240 (20-2,0). In: *Xella* [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/product/silka-ksrp-240-%2820-2,0%29/20002012

SIXTA, Josef; ŽIŽKA, Miroslav. 2009. *Logistika: metody používané pro řešení logistických projektů*. Brno: Computer Press. Praxe manažera (Computer Press). ISBN 978-80-251-2563-2.

STAVBA Z PÓROBETONU - VÝHODY A NEVÝHODY. In: *Stavebniny DSK* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.dskstavebniny.cz/termalica-clanky/stavba-z-porobetonu-vyhody-a-nevyhody/>

SVOBODA, doc. Dr. Ing. Zbyněk. Volně šířitelný program Teplo 2017 EDU. In: *Katedra konstrukcí pozemních staveb Fakulta stavební, ČVUT v Praze* [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=369>

SVOBODA, doc. Dr. Ing. Zbyněk. Volně šířitelný program Energie 2020 EDU. In: *Katedra konstrukcí pozemních staveb Fakulta stavební, ČVUT v Praze* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=331>

TŘEBICKÝ, Viktor. 2016. *Metodika stanovení uhlíkové stopy podniku* [online]. 1. Rudná: CI2. [cit. 2023-05-08]. ISBN 978-80-906341-3-8. Dostupné z: https://ci2.co.cz/sites/default/files/souboryredakce/metodika_final_vystup.pdf

Tvárnice Liapor pro nosné stěny. In: *Liapor* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://www.liapor.cz/produkty/zdivo/nosne-steny/>

Tvarovky lehčené, keramzitbeton. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-04-13]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/zdici-prvky/betonove/tvarovky-lehcene-keramzitbeton.html>

Tvarovky plynosilikátové, autoklávované. In: *Envimat* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <http://www.envimat.cz/materialy/zdici-prvky/betonove/tvarovky-plynosilikatove-autoklavovane.html>

U - součinitel prostupu tepla. In: *Slavona* [online]. [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.slavona.cz/slovník-pojmu/u-soucinitel-prostupu-tepla.html>

Užitná plocha bytu. In: *Hyponamíru* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.hyponamiru.cz/slovník-pojmu/uzitna-plocha-bytu/>

Výpočet laboratorní neprůzvučnosti jednoduchých stavebních prvků podle ČSN EN 12354-1, přílohy B. In: *Tzb-info* [online]. [cit. 2023-03-29]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/135-vypocet-laboratorni-nepruzvucnosti-jednoduchych-stavebnich-prvku-podle-csn-en-12354-1-prilohy-b>

Wienerberger: O společnosti Wienerberger [online]. 2023. [cit. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/>

XPMD Expandovaná izolační korková deska REV. In: *Korek Jelínek* [online]. [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://korek-jelinek.cz/produkt/xpmd-expandovana-izolacni-korkova-deska/>

YTONG Statik 375 PD. In: *Xella* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/product/ytong-statik-375-pd/20001228

Zastavěná plocha stavby - jak se změří a co všechno se do ní počítá?. 2015. In: *ESTAV* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/1964.zastavena-plocha-stavby-jak-se-zmeri-a-co-vsechno-se-do-ni-pocita>

Zemní plyn - historický vývoj ceny Zemní plyn po letech, minima, maxima, průměr. 1 MWh - měna CZK. In: *Kurzy.cz* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/zemni-plyn-graf-vyvoje-ceny/historie-czk-1MWh>

Seznam obrázků

Obrázek 1: Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách (ČSN 73 0532, 2020)	14
Obrázek 2: Požární odolnost stavebních konstrukcí a jejich druh (ČSN 73 0802 ed. 2, 2020)	15
Obrázek 3: Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla (ČSN 73 0540-2, 2012)	17
Obrázek 4: Energetický štítek obálky budovy (ČSN 73 0540-2, 2012)	18

Obrázek 5: Kalkulační vzorec (Schneiderová Heralová et al., 2020).....	20
Obrázek 6: Spotřeba primární energie (2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector., 2019)	22
Obrázek 7: Celková produkce emisí (2019 global status report for buildings and construction: Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector., 2019)	22
Obrázek 8: Grafické znázornění složení uhlíkové stopy podniku (Třebický, 2016)...	25
Obrázek 9: Enviromentální dopady EPS 70 F dle EPD (Epd-eps-70f)	26
Obrázek 10: Tabulka dopadů na životní prostředí pro betony a železobetony (Betony a železobetony)	27
Obrázek 11 Podlahová plocha (Užitná plocha bytu).....	28
Obrázek 12: Zastavěná plocha (Zastavěná plocha stavby - jak se změří a co všechno se do ní počítá?, 2015).....	29
Obrázek 13: Pohled východní (Bryan, Trembul'ak, Čerešňák, 2017)	30
Obrázek 14: Porotherm 30 P+D (Cihla Porotherm 30 P+D - Nebroušená).....	34
Obrázek 15: Skladba nosného obvodového zdiva původní varianty (Bryan, Trembul'ak, Hruška, 2017) (vlastní zpracování).....	34
Obrázek 16 Skladba nosného obvodového zdiva původní varianty optimalizovaná pro původní standard.....	38
Obrázek 17: Skladba nosného obvodového zdiva původní varianty přizpůsobena vyššímu standardu	39
Obrázek 18: Porotherm 24 P+D (Cihla Porotherm 24 P+D - Nebroušená).....	42
Obrázek 19: Porotherm 30 AKU SYM (Cihla Porotherm 30 AKU SYM - Akustická). 43	
Obrázek 20: Rozpočet pro variantu 1 v původním standardu.....	43
Obrázek 21: Optimalizovaný rozpočet pro Variantu 1 v původním standardu	44
Obrázek 22: Rozpočet pro variantu 1 přizpůsobenou na vyšší standard.....	44
Obrázek 23: Porotherm 38 T Profi Dryfix (Cihla Porotherm 38 T Profi Dryfix - Tepelněizolační broušená)	45
Obrázek 24: Skladba nosného obvodového zdiva varianty 2 - původní standard	46
Obrázek 25: Skladba nosného obvodového zdiva varianty 2 - vyšší standard.....	49
Obrázek 26: Rozpočet pro variantu 2 v původním standardu.....	51
Obrázek 27: Rozpočet pro variantu 2 ve vyšším standardu	52
Obrázek 28: YTONG Statik 375 P+D (YTONG Statik 375 PD)	53

Obrázek 29: Skladba obvodové stěny – varianta 3 – původní standard	54
Obrázek 30: Skladba obvodové stěny varianty 3 – vyšší standard.....	57
Obrázek 31 - Silka KSRP 240 (20-2,0).....	60
Obrázek 32 - Silka KSRP 200 (20-2,0).....	60
Obrázek 33: Rozpočet nákladů pro variantu 3 v původním standardu	61
Obrázek 34: Rozpočet nákladů pro variantu 3 ve vyšším standardu	61
Obrázek 35: Skladba obvodové stěny – varianta 4 - původní standard.....	63
Obrázek 36: Skladba obvodové stěny – varianta 4 – vyšší standard	67
Obrázek 37: Rozpočet nákladů pro variantu 4 v původním standardu	69
Obrázek 38: Rozpočet nákladu pro variantu 4 ve vyšším standardu.....	70
Obrázek 39 - Tvárnice Liapor M 300 (Tvárnice Liapor pro nosné stěny).....	72
Obrázek 40: Skladba obvodové stěny – varianta 5 – původní standard.....	72
Obrázek 41: Skladba obvodové stěny – varianta 5 – vyšší standard	76
Obrázek 42 - Tvárnice Liapor M 240 (Tvárnice Liapor pro nosné stěny).....	79
Obrázek 43: Rozpočet nákladů pro variantu 5 v původním standardu	79
Obrázek 44: Rozpočet nákladů pro variantu 5 ve vyšším standardu.....	80
Obrázek 45: Celková výše nákladů	81
Obrázek 46 Rozdíl ve výši nákladů mezi standardy	82
Obrázek 47: Porovnání Celkové uhlíkové stopy jednotlivých variant.....	83
Obrázek 48: Rozdíl v uhlíkové stopě mezi jednotlivými standardy	84
Obrázek 49: Graf prognózy cen elektřiny za 1 MWh – (zdroj: vlastní zpracování s využitím funkce prognózy v MS excel).....	90
Obrázek 50: Prognóza vývoje ceny plnu za 1 MWh - (zdroj: vlastní zpracování s využitím funkce prognózy v MS excel).....	91
Obrázek 51: Porovnání nákladů na jednotlivé standardy při zohlednění úspor a ztrát z provozu po 20 letech	92
Obrázek 52: Porovnání uhlíkové stopy na jednotlivé standardy zohledňující provoz budovy po dobu 20 let	93

Seznam tabulek

Tabulka 1: Klasifikace prostupu tepla obálkou budovy	18
Tabulka 2: Určení váhy jednotlivých kritérií	31
Tabulka 3: Prostup tepla var. Č. 1 – Porotherm + tepelná izolace – původní standard	35
Tabulka 4: Uhlíková stopa nosné části Varianty 1	35
Tabulka 5: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 1 ve specifikaci původního standardu	36
Tabulka 6: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 1 ve specifikaci původního standardu	37
Tabulka 7: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 1 ve specifikaci původního standardu	37
Tabulka 8: Prostup tepla var. č.1 - původní standard – optimalizován	38
Tabulka 9: Prostup tepla var. č. 1 – vyšší standard	39
Tabulka 10: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 1 ve specifikaci vyššího standardu	40
Tabulka 11: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 1 ve specifikaci vyššího standardu	41
Tabulka 12: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 1 ve specifikaci vyššího standardu	41
Tabulka 13: Prostup tepla var. č. 2 – Původní standard	46
Tabulka 14: Uhlíková stopa varianty 2 v původním standardu	48
Tabulka 15: Porovnání varianty provedení tvárnic Porotherm T Profi Dryfix	49
Tabulka 16: Prostup tepla var. č. 2 – vyšší standard	50
Tabulka 17: Uhlíková stopa varianty 2 ve vyšším standardu	50
Tabulka 18: Prostup tepla var. č. 3 – původní standard	54
Tabulka 19: Uhlíková stopa nosné části varianty 3	55
Tabulka 20: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 3 ve specifikaci původního standardu	55
Tabulka 21: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 3 ve specifikaci původního standardu	56
Tabulka 22: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 3 ve specifikaci původního standardu	56
Tabulka 23: Prostup tepla var. č. 3 – vyšší standard	57

Tabulka 24: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 3 ve specifikaci vyššího standardu	58
Tabulka 25: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 3 ve specifikaci vyššího standardu	58
Tabulka 26: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 3 ve specifikaci vyššího standardu.....	59
Tabulka 27 - Prostup tepla var. č. 4 –původní standard	63
Tabulka 28: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 4 ve specifikaci původního standardu	65
Tabulka 29: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 4 ve specifikaci původního standardu	66
Tabulka 30: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 4 ve specifikaci původního standardu.....	66
Tabulka 31: Prostup tepla var. č. 4 –vyšší standard	67
Tabulka 32: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 4 ve specifikaci vyššího standardu	68
Tabulka 33: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 4 ve specifikaci vyššího standardu	68
Tabulka 34: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 4 ve specifikaci vyššího standardu.....	69
Tabulka 35 - Prostup tepla var. č. 5 – původní standard	73
Tabulka 36: Uhlíková stopa nosné části varianty 5.....	73
Tabulka 37: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 5 ve specifikaci původního standardu	74
Tabulka 38: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 5 ve specifikaci původního standardu	74
Tabulka 39: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 5 ve specifikaci původního standardu.....	75
Tabulka 40 - Prostup tepla var. č. 5 – původní standard	76
Tabulka 41: Parametry a dimenze variant tepelných izolací pro variantu 5 ve specifikaci vyššího standardu	77
Tabulka 42: Uhlíková stopa pro jednotlivé varianty tepelné izolace pro variantu 5 ve specifikaci vyššího standardu	78

Tabulka 43: Hodnotící tabulka výběru izolantu pro variantu 5 ve specifikaci vyššího standardu.....	78
Tabulka 44 : Porovnání podlahových ploch pro původní standard	85
Tabulka 45: Porovnání podlahových ploch pro vyšší standard.....	85
Tabulka 46: Porovnávací tabulka variant pro původní standard	86
Tabulka 47: Porovnávací tabulka variant pro vyšší standard.....	87
Tabulka 48: Výstup z programu Energie 2020.....	88
Tabulka 49: Úspory v důsledku zvýšení standardu při vytápění plynem	88
Tabulka 50: Úspory v důsledku zvýšení standardu při vytápění elektřinou	89
Tabulka 51: Vývoj cen plynu a elektřiny v posledních letech.....	89
Tabulka 52: Prognóza cen elektřiny a plynu na 20 let	90
Tabulka 53: Vyjádření úspory a ztrát v Kč.....	91

Seznam Příloh

- Příloha 1 – Rozpočet pro variantu 1 – původní standard
- Příloha 2 – Rozpočet pro variantu 1 – původní standard – optimalizovaný
- Příloha 3 – Rozpočet pro variantu 1 – vyšší standard
- Příloha 4 – Rozpočet pro variantu 2 – původní standard
- Příloha 5 – Rozpočet pro variantu 2 – vyšší standard
- Příloha 6 – Rozpočet pro variantu 3 – původní standard
- Příloha 7 – Rozpočet pro variantu 3 – vyšší standard
- Příloha 8 – Rozpočet pro variantu 4 – původní standard
- Příloha 9 – Rozpočet pro variantu 4 – vyšší standard
- Příloha 10 – Rozpočet pro variantu 5 – původní standard
- Příloha 11 – Rozpočet pro variantu 5 – vyšší standard