

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

BUDOVY S TĚMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VOJTĚCH DVOŘÁK

1 – BS – 2015

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta strojní

Ústav techniky prostředí

Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno studenta(ky): **Vojtěch DVOŘÁK**

Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**

Obor: **bez oboru**

Název česky: **Budovy s téměř nulovou spotřebou energie**

Název anglicky: **Nearly Zero-Energy Buildings**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Řešte studii návrhu modelu budovy k dosažení standardů pro budovu s téměř nulovou potřebou energie. Sestavte zjednodušený model budovy, který bude pracovat se dvěma různými variantami konstrukcí – tzv. lehká a těžká konstrukce. V rámci modelu navrhnete optimální variantu zdroje tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Výpočty provádějte v souladu s legislativními požadavky na energetické hodnocení budov.

Rozsah grafických prací: Potřebná výkresová dokumentace

Rozsah průvodní zprávy: Podle potřeby k vyčerpání tématu

Seznam odborné literatury:

- 1) ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. 2011..
- 2) ČSN EN 12 831: Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu. Český normalizační institut. 2005.
- 3) ČSN EN ISO 13 790: Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. Český normalizační institut. 2009.
- 4) Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.**

Konzultant: -

Datum zadání bakalářské práce: **30.4. 2015**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19.6. 2015**

Neodevzdá-li student bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu a tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

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

Zadání bakalářské práce převzal dne:


 Doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
 Vedoucí ústavu





 student


 Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
 Děkan fakulty

V Praze dne 30.4. 2015

Bakalářská práce se zabývá návrhem budovy s téměř nulovou spotřebou energie a je řešena pro dvě varianty domu, pro dům z tvárnic a dřevostavbu, tedy pro těžkou a lehkou konstrukci. Práce obsahuje jak problematiku potřeby tepla na vytápění, tak potřebu tepla na ohřev teplé vody. Zdroje tepla jsem navrhl dva: tepelné čerpadlo typu vzduch-voda a solární kolektory, které jsou využity výhradně pro přípravu teplé vody.

The bachelor thesis is focused on the proposal of the nearly zero-energy building, where are suggested two options of construction: brick and wooden, which means heavy and light construction. The study contains both issues of the heat requirement and the demand for water heating. I've suggested two sources of heat: an air/water heat pump and solar collectors, which are used only for water heating.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Budovy s téměř nulovou spotřebou energie“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 19. 6. 2015

Vojtěch Dvořák

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při vypracování bakalářské práce.

1. ÚVOD.....	13
2. POJEM „budova s téměř nulovou spotřebou energie či budova blízká nulové“	14
2.1 Definice	14
2.2 Kritéria	14
2.3 NB a současnost	15
3. KONSTRUKCE.....	18
3.1 Obvodové zdivo	18
3.2 Podlaha.....	18
3.3 Střecha.....	19
3.4 Okna a dveře	19
4. TEPELNÉ ZTRÁTY	20
4.1 Výpočet součinitelů prostupu tepla U	20
4.1.1 neprůsvitné části	20
4.1.2 průsvitné části	24
4.1.3 Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}	25
4.2 Výpočet měrných ztrát tepla	27
4.2.1 Výpočet měrných ztrát tepla prostupem.....	27
4.2.2 Výpočet měrné tepelné ztráty větráním $H_{V,i}$	30
4.3 Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i}$	31
4.4 Návrhová tepelná ztráta větráním $\phi_{V,i}$	31
4.5 Celková tepelná ztráta objektu ϕ_i	31
4.6 Celkové množství přeneseného tepla $Q_{H,ht}$	32
5. TEPELNÉ ZISKY	34
5.1 Vnitřní tepelné zisky	34
5.2 Solární tepelné zisky Q_{sol}	35
5.2.1 Zasklenými prvky	36
5.2.2 Neprůsvitnou konstrukcí	38
5.3 Výsledné hodnoty.....	41
5.4 Dělení variant dle vnitřní tepelné kapacity	42
5.5 Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění.....	43
5.6 Měrná potřeba tepla na vytápění	45
6. POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TV	48
6.1 Potřeba tepla na přípravu teplé vody.....	48

6.2 Porovnání poměru potřeby tepla na vytápění a ohřev TV	49
7. ZDROJ TEPLA.....	50
7.1 Návrh zdroje tepla	50
7.1.1 Tepelné čerpadlo	50
7.1.2 Solární kolektory	53
7.1.3 Výsledné hodnoty energie vzniklé oběma zdroji	54
8. CENOVÉ POROVNÁNÍ.....	57
9. ZÁVĚR	62
10. LITERATURA	63
11. PŘÍLOHY	64

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK

Značka	Veličina	Rozměr
a_H	Bezrozměrný číselný parametr	–
$a_{H,0}$	Bezrozměrný referenční číselný parametr	–
A_c	Pohledová plocha neprůhledné části	m^2
A_{sol}	Účinná solární sběrná plocha zasklených prvků	m^2
$A_{w,p}$	Celková pohledová plocha zaskleného prvku	m^2
b	Činitel teplotní redukce	–
B'	Charakteristický parametr	m
c_p	Měrná tepelná kapacita	$J/kg.K$
C_m	Vnitřní tepelná kapacita budovy	J/K
CI	Klasifikační ukazatel	–
d	Délka otopného období	dny
d_t	Celková ekvivalentní tloušťka podlahy	m
E_A	Měrná potřeba tepla na vytápění	kWh/m^2
f	Poměrné využití solárních kolektorů na ohřev TV	–
f_{g1}	Součinitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty	–
f_{g2}	Teplotní redukční součinitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou za otopné období a výpočtovou venkovní teplotou	–
f_R	Redukční činitel	–
F_F	Podíl plochy rámu	–
$F_{r,k}$	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	–

$F_{sh,gl}$	Korekční činitel stínění	–
F_w	Korekce pro nerozptyl. zasklení	–
g_{gl}	Celková propustnost průhlednými prvky	–
g_n	Celková propustnost zasklení	–
G_w	Korekční činitel zohledňující vliv spodní vody	–
$H_{t,e}$	Měrná ztráta prostupem z vyt. prostoru do venkovního prostředí	W/K
$H_{t,g}$	Měrná ztráta prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	W/K
$H_{V,i}$	Měrná tepelná ztráta větráním	W/K
$l_{s,i}$	Celkové solární záření za měsíc	kWh/m ²
l	Viditelný obvod zasklení	m
n	Počet dnů	dnů
	Intenzita výměny vzduchu	h ⁻¹
n_{hod}	Počet hodin	h
m_s	Plošná hmotnost	kg/m ²
O	Obvod	m
	Objem větraného prostoru	m ³
p	Počet osob	–
PE_A	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie	kWh/m ² .a
$q_{ss,u}$	Měrné využitelné tepelné zisky solární soustavy	kWh
$Q_{H,gn}$	Celkové tepelné zisky	kWh
$Q_{H,ht}$	Celkové množství přeneseného tepla	kWh
$Q_{H,nd}$	Potřeba tepla na vytápění budovy	kWh
$Q_{H,tr}$	Celkové množství přeneseného tepla prostupem	kWh

$Q_{H,ve}$	Celkové množství přeneseného tepla větráním	kWh
Q_{int}	Vnitřní tepelné zisky	kWh
\dot{Q}_{int}	Výkon vnitřních tepelných zisků	W
Q_{sol}	Solární tepelné zisky	kWh
$Q_{ss,u}$	Využitelné zisky solární soustavy	kWh
$Q_{TUV,d}$	Denní potřeba tepla pro ohřev TV	Wh/den
$Q_{TUV,r}$	Roční potřeba tepla pro ohřev TV	MWh/rok
R	Tepelný odpor	$m^2.K/W$
R_{se}	Vnější tepelný odpor při přestupu tepla	$m^2.K/W$
R_{si}	Vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	$m^2.K/W$
s	Tloušťka	m
S	Plocha	m^2
t_{iv}	Vnitřní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
t_{eov}	Teplota ohřátého venkovního vzduchu	$^{\circ}C$
t_{ep}	Střední teplota	$^{\circ}C$
t_{ev}	Venkovní výpočtová teplota	$^{\circ}C$
$t_{m,e}$	Průměrná roční venkovní teplota za otopné období	$^{\circ}C$
U	Součinitel prostupu tepla	$W/m^2.K$
U_{em}	Průměrný součinitel prostupu tepla	$W/m^2.K$
$U_{em,N}$	Požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla	$W/m^2.K$
U_{equiv}	Ekvivalentní součinitel prostupu tepla	$W/m^2.K$
U_N	Doporučený součinitel prostupu tepla	$W/m^2.K$
U_P	Požadovaný součinitel prostupu tepla	$W/m^2.K$

V_{2p}	Množství spotřebované vody jedním obyvatelem za den	l/den.os
\dot{V}	Objemový tok	m ³ /s
w	Celková tloušťka obvodových stěn	m
z	Koeficient energetických ztrát pro přípravu TV	–
$\alpha_{S,c}$	Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	–
γ_H	Bezrozměrný bilanční poměr pro režim vytápění	–
ΔU_{em}	Přirážka na vliv tepelných vazeb	W/m ² .K
ΔU_{tb}	Korekční činitel prostupu tepla	W/m ² .K
$\eta_{H,gn}$	Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	–
η_{ZZT}	Účinnost ZZT	–
λ	Součinitel tepelné vodivosti	W/m.K
ρ	Hustota	kg/m ³
τ	Časová konstanta budovy	h
$\tau_{H,0}$	Referenční časová konstanta	h
ϕ	Celková tepelná ztráta objektu	W
	Tepelný tok od osob a spotřebičů	W/m ²
ϕ_T	Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla	W
ϕ_V	Návrhová tepelná ztráta tepla větráním	W
ψ	Lineární činitel prostupu tepla pro různé typy zasklení	W/m.K

1. ÚVOD

Bakalářská práce zpracovává problematiku realizace nulové budovy s ohledem na úsporu a návratnost. Jedná se o dvě varianty domu (lehká konstrukce vs. těžká konstrukce). Abychom splnili kritéria pro takto zvolenou budovu, bylo nutné navrhnout poměrně přísně opatření zabývající se prostupem tepla. Bylo nutné navrhnout vhodné zateplení budovy, což navazuje na druhé kritérium pro NB, a to na měrnou potřebu tepla na vytápění (s ohledem na primární energii), která by měla dle normy být na úrovni pro pasivní budovu, jenže s ohledem na roční bilanci potřeby energie se volí ještě výrazněji nižší.

Pro první variantu (dále jen Var. 1) jsem volil konstrukci obvodových stěn z keramických tvárnic s polystyrenovou izolací a pro druhou variantu (dále jen Var. 2) byla zvolena obvodová stěna jako difúzně otevřená dřevostavba s minerální izolací, tedy lehká konstrukce.

Model domu byl zvolen dvoupatrový s výškou 6 m, půdorysem 8 m x 10 m, se sedmi okny a jedněmi dveřmi. Podlaha i střecha byla navržena pro obě varianty shodná. Podlaha se skládá zejména z podkladního betonu a polystyrénové izolace, střecha je vodorovná a též tepelně izolována s rozdílností v nosné vrstvě dle varianty.

Vytápění jsem zvolil podlahové, jelikož teplota vody na vstupu je nižší oproti jiným způsobům vytápění, což je pro nulové budovy výhodné, respektive pro využití nízkopotenciálního zdroje tepla. Vhodným zdrojem tepla jsem tedy zvolil tepelné čerpadlo typu vzduch-voda. Pro přípravu teplé vody vypomáhají čerpadlu solární kolektory, které byly navrženy s ohledem na teploty v nejteplejších měsících.

2. POJEM „budova s téměř nulovou spotřebou energie či budova blízká nulové“

2.1 Definice

Hodnocení vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, vyjádřené v hodnotách primární energie, která je velmi nízká. Předpokládá se, že budova je připojena na obvyklé energetické sítě. Zpravidla je výhodné, aby stavební řešení a technická zařízení budovy byla navržena tak, aby odpovídala standardu pasivní budovy ^[1] a část energetických potřeb kryla z obnovitelných zdrojů.

2.2 Kriteria

Kriteria pro nulovou, resp. budovu blízkou nulové, znázorňuje tabulka 2–1. ^[1]

Tab. 2-1 Základní požadavky na energeticky nulové budovy

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m ² .K]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/m ² .a]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A ¹⁾ [kWh/m ² .a]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	nulový	Rodinné domy ≤ 0,25 Bytové domy ≤ 0,35	Rodinné domy ≤ 20 Bytové domy ≤ 15	0	0
	Blízký nulovému			80	30
Neobytné budovy ²⁾	nulový	≤ 0,35 ¹⁾	≤ 30	0	0
	Blízký nulovému			120	0
<p>1) Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě doporučené $U_{em,rec}$ podle článku 5.3.2^[1].</p> <p>2) Neobytné budovy s převážující návrhovou vnitřní teplotou 18 °C až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.</p>					

2.3 NB a současnost

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov navrhuje zvýšení počtu budov, které nejenže splňují současné minimální požadavky na energetickou náročnost, ale jsou i energeticky účinnější, a to rozšířením budov s téměř nulovou potřebou energie.

Požaduje se, aby:

- do 31. prosince 2020 všechny nové budovy byly budovami s téměř nulovou potřebou energie a
- po dni 31. prosince 2018 nové budovy užívané a vlastněné orgány veřejné moci byly budovami s téměř nulovou potřebou energie.

Na což navazuje česká vyhláška ze dne 22. března 2013 o energetické náročnosti budov (78/2013 Sb.)^[3]

Tato vyhláška mimo jiné stanovuje metodu výpočtu energetické náročnosti budovy a vzor a obsah průkazu energetické náročnosti budovy (PENB).

Výpočet dodané energie a přehled dílčích energií, které se do bilance započítávají:

(1) Dodaná energie je součtem vypočtené spotřeby energie a pomocné energie. Výpočet celkové dodané energie a dílčích dodaných energií se provede výpočtovou metodou s intervalem výpočtu nejvýše jednoho měsíce a po jednotlivých zónách.

(2) Celková dodaná energie do budovy se stanoví součtem dílčích dodaných energií a vyjádří se také po jednotlivých energonositelích.

(3) Dílčí dodaná energie na **vytápění** se stanoví jako součet vypočtené spotřeby energie na vytápění a pomocné energie na provoz technického systému pro vytápění podle české technické normy pro výpočet potřeby energie pro vytápění a chlazení a české technické normy pro tepelné soustavy v budovách s využitím hodnot typického užívání budov.

(4) Dílčí dodaná energie na **chlazení** se stanoví jako součet vypočtené spotřeby energie na chlazení a pomocné energie na provoz technického systému pro chlazení podle české technické normy pro výpočet potřeby energie pro vytápění a chlazení s využitím hodnot typického užívání budov.

(5) Dílčí dodaná energie na **větrání** se stanoví jako součet vypočtené spotřeby energie na dopravu vzduchu potřebného pro zajištění požadované výměny vzduchu ve vnitřním prostředí a pomocné energie na provoz technického systému pro nucené větrání podle české technické normy pro větrání budov s využitím hodnot typického užívání budov.

(6) Dílčí dodaná energie na **úpravu vlhkosti vzduchu** se stanoví jako součet vypočtené spotřeby energie na úpravu vlhkosti vzduchu a pomocné energie na provoz technického systému pro úpravu vlhkosti vzduchu podle české technické normy pro větrání budov s využitím hodnot typického užívání budov.

(7) Dílčí dodaná energie na **přípravu teplé vody** se stanoví jako součet vypočtené spotřeby energie na přípravu teplé vody a pomocné energie na provoz technického systému pro přípravu teplé vody podle české technické normy pro tepelné soustavy v budovách upravující účinnost soustav pro přípravu teplé vody s využitím hodnot typického užívání budov.

(8) Dílčí dodaná energie na **osvětlení** se stanoví jako součet vypočtené spotřeby energie na osvětlení a pomocné energie na provoz technického systému pro osvětlení podle české technické normy pro energetické hodnocení budov upravující energetické požadavky na osvětlení s využitím hodnot typického užívání budov. Pro zóny, kde o energetické náročnosti osvětlení rozhoduje uživatel, se použijí hodnoty platné pro referenční budovu. ^[4]

3. KONSTRUKCE

Skladby stěn, stropů, podlah a otvorové výplně (dále jen OV) jsou navrženy tak, aby byly dodrženy tepelně technické vlastnosti dle ^[1]

3.1 Obvodové zdivo

Var. 1:

- Vápenná omítka
- tvárnice POROTHERM 44 N P+D – P10
- Pěnová izolace Isover EPS GreyWall Plus
- Perlitová omítka

Var. 2:

- SDK deska
- Kontralatě a izolace z ovčí vlny
- OSB deska
- Dřevěná rámová konstrukce KVH
- Minerální izolace bez formaldehydů
- Dřevovláknitá fasádní izolační deska
- Silikátová omítka probarvená

3.2 Podlaha

- Textilní podlahovina
- Cementový potěr
- A 400 H
- Pěnový polystyrén
- Izolace proti zemní vlhkosti
- Podkladní beton

3.3 Střecha

- Krytina
- Latě
- Vzduchová mezera
- Pojistná hydroizolace
- Vzduchová mezera
- Tepelná izolace
- Parozábrana
- Obklad + rošt
- Nosná vrstva
 - Pro Var. 1 beton
 - Pro Var. 2 dřevěná konstrukce

3.4 Okna a dveře

- Eurookna IV 92 SOFTLINE
- Vchodové dveře PROFILINE

4. TEPELNÉ ZTRÁTY

Výpočet tepelných ztrát budov byl proveden dle normy ČSN 06 0210 pro oblast s výpočtovou venkovní teplotou -12 °C, krajina normální, poloha budovy chráněná. Tato norma stanovuje postup výpočtu tepelných ztrát budov prostupem stěnami a větráním za kvazistacionárních podmínek při nepřerušovaném vytápění.

Tepelné ztráty počítám bez uvažování jednotlivých místností v budově.

Tepelné ztráty jsou dvojího typu:

- Tepelné ztráty prostupem
- Tepelné ztráty větráním

4.1 Výpočet součinitelů prostupu tepla U

4.1.1 neprůsvitné části

Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 6946 (platí pro obvodové zdivo i střechu).

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (4.1)$$

kde

R_{si} – vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

R_{se} – vnější tepelný odpor při přestupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$]

s_n – tloušťka stěny n-té stavební konstrukce [m]

λ_n – součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce [$\text{W/m} \cdot \text{K}$]

Obvodové stěny:

Var. 1:

Tab. 4-1 Struktura obvodových stěn var. 1

	s [m]	λ [W/m.K]
omítka	0,015	0,88
tvárnice	0,44	0,148
izolace	0,15 až 0,5	0,03
omítka	0,015	0,1

Pozn.: Hodnoty součinitele tepelné vodivosti jsou hodnoty deklarované výrobcem.

Směr tepelného toku je vodorovný:

$$R_{si}=0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{se}=0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Tab. 4-2 Přehled souč. prostupu tepla v závislosti na tloušťce izolace pro var. 1

$s_{izolace}$ [m]	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
U [W/m ² .K]	0,12	0,1	0,075	0,06	0,05

Var. 2:

Tab. 4-3 Struktura obvodových stěn var. 2

	s [m]	λ [W/m.K]
SDK	0,0125	0,22
Izolace-ovčí vlna	0,05	0,04
OSB	0,018	0,13
Minerální izolace	0,15 až 0,5	0,039
Dřevovláknitá izolační deska	0,1	0,046
Omítka	0,005	0,12

Pozn. : Celková tloušťka konstrukce je u první varianty o 0,28 m větší.

Tab. 4-4 Přehled souč. prostupu tepla v závislosti na tloušťce izolace pro Var. 2

$s_{izolace}$ [m]	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
U [W/m ² .K]	0,13	0,112	0,087	0,071	0,06

Porovnáním tab. 4-2 a tab. 4-4 je vidět, že součinitel prostupu tepla u první varianty je o něco nižší než u varianty druhé, což znamená lepší izolační vlastnosti var. 1.

Střecha:

Tab. 4-5 Přehled teplosměnných hlavních vrstev střechy

	s [m]	λ [W/m.K]
izolace	0,25 až 0,5	0,4
Var. 1 beton	0,05	1,1
Var. 2 dřevo	S ohledem na vzdušnost, a tím způsobenou složitost dřevěné konstrukce, zvolím tepelný odpor nosné vrstvy shodný s Var. 1	
Ostatní vrstvy jsou zanedbány		

Tab. 4-6 Přehled souč. prostupu tepla střechy v závislosti na tloušťce izolace

$s_{izolace}$ [m]	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
U [W/m ² .K]	0,155	0,13	0,112	0,098	0,079

Pro tento typ střešní konstrukce mi vyšly hodnoty U pro obě var. vyšší oproti hodnotám U pro obvodové zdivo.

Podlaha – přilehlá zemina:

Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 13 370.

Směr tepelného toku je dolů:

$$R_{si} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$B' = \frac{s_{podlahy}}{0,5 \cdot O_{podlahy}} \quad [\text{m}] \quad (4.2)$$

$$R_f = \sum_i \frac{s_i}{\lambda_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}] \quad (4.3)$$

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [m] \quad (4.4)$$

$$d_t \geq B' \Rightarrow U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (4.5)$$

kde

B' – charakteristický parametr [m]

S – plocha podlahy [m²]

O – obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí [m]

R_f – tepelný odpor podlahy [m².K/W]

d_t – celková ekvivalentní tloušťka podlahy [m]

w – celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy [m]

Tab. 4-7 Přehled parametrů hlavních vrstev podlahy

vrstva	s [m]	λ [W/m.K]
Cementový potěr	0,04	0,8
Pěnový polystyrén	0,2	0,04
Podkladní beton	0,08	1,1
Ostatní zanedbám		

$$S_{podlahy} = 80 \text{ m}^2$$

$$O_{podlahy} = 36 \text{ m}$$

$$\lambda_{zeminy} = 2 \text{ (tj. písky a štěrky)}$$

$$s_{izolace} = 0,2 \text{ m (pro obě varianty)}$$

$$R_f = \sum_i \frac{s_i}{\lambda_i} = \frac{0,04}{0,8} + \frac{0,2}{0,04} + \frac{0,08}{1,1} = 5,12 \text{ m}^2 \cdot K/W$$

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0,5 \cdot O_{podlahy}} = \frac{80}{0,5 \cdot 36} = 4,44 \text{ m}$$

Var. 1:

$$d_t = w + \lambda_{zeminny} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) = 0,67 + 2 \cdot (0,17 + 5,12 + 0,04) = 11,33 \text{ m}$$

$$U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminny}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2}{0,457 \cdot 4,44 + 11,33} = 0,147 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Var. 2: w je o 0,28 menší, tzn., že $d_t = 11,33 - 0,28 = 11,05 \text{ m}$

$$U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminny}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2}{0,457 \cdot 4,44 + 11,05} = 0,151 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

4.1.2 průsvitné části

Jsou navržena okna s trojsklem s ohledem na energetickou úspornost domu.

Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 10 077.

(pro jednoduchá okna se zasklením jednoduchým nebo vícenásobným).

$$U_{okna} = \frac{\sum S_{skla} \cdot U_{skla} + \sum S_{rámu} \cdot U_{rámu} + \sum l_{skla} \cdot \psi_{skla}}{\sum S_{skla} + \sum S_{rámu}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (4.6)$$

kde

U_{skla} – součinitel prostupu zasklení $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$

S_{skla} – plocha zasklení $[\text{m}^2]$

$U_{rámu}$ – součinitel prostupu tepla rámu $[\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$

$S_{rámu}$ – plocha rámu $[\text{m}^2]$

l_{skla} – viditelný obvod zasklení $[\text{m}]$

ψ_{skla} – lineární činitel prostupu tepla zasklení a rámu okna $[\text{W/m} \cdot \text{K}]$

Pozn.: Budu počítat se shodným součinitelem prostupu tepla pro okno i pro dveře.

Tab. 4-8 Popis okna

Výška okna [m]	Šířka okna [m]	U_{skla} [W/m ² .K]	$U_{\text{rámu}}$ [W/m ² .K]	l_{skla} [m]	ψ_{skla} [W/m.K]	$S_{\text{rámu}}$ [m ²]	S_{skla} [m ²]
1,5	1	0,5	1	4,36	0,08	0,374	1,126

$$U_{\text{okna}} = \frac{\sum S_{\text{skla}} \cdot U_{\text{skla}} + \sum S_{\text{rámu}} \cdot U_{\text{rámu}} + \sum l_{\text{skla}} \cdot \psi_{\text{skla}}}{\sum S_{\text{skla}} + \sum S_{\text{rámu}}}$$

$$U_{\text{okna}} = \frac{1,126 \cdot 0,5 + 0,374 \cdot 1 + 4,36 \cdot 0,08}{1,126 + 0,374} = 0,857 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Výsledná hodnota se blíží hodnotě doporučené pro pasivní domy, nicméně je otázkou, jak rychle se bude reálně měnit s provozem.

4.1.3 Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}

Průměrný součinitel prostupu tepla je jedno z hlavních kritérií pro splnění požadavků na energetickou náročnost budovy, resp. pro stanovení třídy energetické náročnosti budovy. Vzhledem ke zpřísnování legislativy je tento parametr základním předpokladem pro splnění všech požadavků na výstavbu.

$$U_{\text{em}} \leq U_{\text{em,N}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (4.7)$$

kde

$U_{\text{em,N}}$ je požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla budovy [W/m².K]

$$U_{\text{em,N}} = f_{\text{R}} \cdot \left(\frac{\sum (U_{\text{N},20,j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + \Delta U_{\text{em,N}} \right) \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (4.8)$$

kde

f_{R} – redukční činitel (pro budovu blízko nulové je $f_{\text{R}} = 0,7$)[–]

$U_{\text{N},20,j}$ – požadovaný součinitel prostupu tepla j-té teplosměnné konstrukce na obálce budovy dle ^[1] [W/m².K]

A_j – plocha j-té teplosměnné konstrukce [m²]

b_j – činitel teplotní redukce j-té teplosměnné konstrukce

$\Delta U_{em,N}$ – Přirážka na vliv tepelných vazeb ($= 0,02$) [$W/m^2 \cdot K$]

$$\begin{aligned} U_{em,N} &= f_R \cdot \left(\frac{\sum (U_{N,20,j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + \Delta U_{em,N} \right) \\ &= 0,7 \cdot \left(\frac{0,3 \cdot 203,7 + 0,24 \cdot 80 + 0,45 \cdot 80 + 1,5 \cdot 1,5 \cdot 7 + 1,7 \cdot 1,7}{376} + 0,02 \right) \\ &= 0,266 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Výpočet ověřím pro nejméně zateplenou konstrukci varianty 2 (var. 2, protože ta má vyšší hodnoty U než var. 1), kdy budu uvažovat $b_j = 1$.

$$\begin{aligned} U_{em} &= \frac{\sum (U_{N,20,j} \cdot A_j \cdot b_j)}{\sum A_j} + \Delta U_{em} \\ &= \frac{0,13 \cdot 203,7 + 0,155 \cdot 80 + 0,15 \cdot 80 + 0,857 \cdot 7 \cdot 1,5 + 0,857 \cdot 1,8}{376} + 0,02 \\ &= 0,18 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Spočítáme-li poměr $U_{em,N}$ a U_{em} , tak získáme klasifikační ukazatel CI , z kterého lze určit průkaz energetické náročnosti budovy – PENB, respektive třídu energetické náročnosti budovy.

$$CI = \frac{U_{em}}{U_{em,N}} = \frac{0,18}{0,266} = 0,69$$

Je-li CI v intervalu 0,5 až 0,75, tak budovu hodnotíme jako úspornou (B), což je druhé nejlepší hodnocení, a jelikož jsem výpočet provedl pro nejméně zateplenou konstrukci, je jasné, že uvažované varianty jsou energeticky úsporné, dokonce i mimořádně úsporné, viz tab. 4-9 nebo příloha 7.

Tab. 4-9 Klasifikační třídy pro průměrný součinitel prostupu tepla

<i>PENB – Var. 1</i>		Tloušťka obvodové izolace s [m]				
		0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Tloušťka obvodové izolace s [m]	0,15	B	B	B	B	B
	0,2	B	B	B	B	B
	0,3	B	B	B	B	B
	0,4	B	B	B	A	A
	0,5	B	B	A	A	A
<i>PENB – Var. 2</i>		Tloušťka obvodové izolace s [m]				
		0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Tloušťka obvodové izolace s [m]	0,15	B	B	B	B	B
	0,2	B	B	B	B	B
	0,3	B	B	B	B	B
	0,4	B	B	B	B	B
	0,5	B	B	B	B	A

4.2 Výpočet měrných ztrát tepla

4.2.1 Výpočet měrných ztrát tepla prostupem

Vlivem využití zpětného získávání tepla (dále jen ZZT) je ztráta tepla prostupem dominantní a tím pádem by měl být kladen důraz na snahu snížit měrné ztráty prostupem.

- Výpočet měrné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm budovy $H_{T,ie}$ (obvodové zdivo, střecha, OV)

$$H_{T,ie} = \sum S_k \cdot U_{kc} \quad [W/K] \quad (4.9)$$

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad [W/m^2 \cdot K] \quad (4.10)$$

kde

S_k – plocha stavební části [m^2]

U_k – součinitel prostupu tepla dané stavební části [$W/m^2 \cdot K$]

ΔU_{tb} – korekční činitel prostupu tepla [$W/m^2 \cdot K$]

Tab. 4-10 Přehled korekčních součinitelů k výpočtu měrné tepelné ztráty

konstrukce	Počet „průniků“ stěn	Počet „průniků“ strop. konstrukcí	ΔU_{tb} pro svislé stavební části (objem prostoru > 100 m ³)
Var. 1	1	0	0
Var. 2	0	0	0
	Počet stran v kontaktu s venkovním prostředím		ΔU_{tb} pro vodorovné stavební části
střecha	4		0,2
	Plocha stavební části		ΔU_{tb} pro OV
	9 až 20		0,2

Příklad výpočtu pro obě varianty s tloušťkou izolací (obvod i střecha) $s = 0,3$ m.

Var. 1:

$$H_{T,ie} = \sum S_k \cdot U_{kc} = S_{\text{stěn bez OV}} \cdot U_{\text{stěn}} + S_{\text{střechy}} \cdot (U_{\text{střechy}} + \Delta U_{tb}) + S_{\text{OV}} \cdot (U_{\text{OV}} + \Delta U_{tb}) = 203,7 \cdot 0,075 + 80 \cdot 0,13 + 0,2 + 12,3 \cdot 0,857 + 0,2 = 54,7 \text{ W/K}$$

Var. 2:

$$H_{T,ie} = 57,1 \text{ W/K}$$

- Výpočet měrné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do zeminy v ustáleném stavu

$$H_{T,ig}$$

Výpočet provedu pomocí zjednodušené metody, kdy budu uvažovat, že vzduch neuniká přímo do zeminy, ale do okolního prostředí, a abych si mohl toto zjednodušení dovolit, tak použiji $U_{\text{equiv,podlahy}}$, čímž vykompenzuji zjednodušení.

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w \cdot \sum S_{\text{podlahy}} \cdot U_{\text{equiv,podlahy}} \quad [\text{W/K}] \quad (4.11)$$

$$f_{g2} = \frac{t_{iv} - t_{m,e}}{t_{iv} - t_{ev}} \quad [-] \quad (4.12)$$

kde

$t_{m,e}$ – průměrná roční venkovní teplota za otopné období [°C]

f_{g1} – součinitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty (dle ČSN EN 12 831
=> $f_{g1} = 1,45$) [-]

f_{g2} – teplotní redukční součinitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou za otopné období a výpočtovou venkovní teplotou [-]

$U_{equiv,podlahy}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla [$W/m^2.K$] (stanoven graficky viz příloha 10)

$$f_{g2} = \frac{t_{iv} - t_{m,e}}{t_{iv} - t_{ev}} = \frac{20 - 3,6}{20 - (-12)} = 0,5125$$

$$H_{T,g} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot G_w \cdot \sum S_{podlahy} \cdot U_{equiv,podlahy} = 1,45 \cdot 0,5125 \cdot 1 \cdot 80 \cdot 0,1 \\ = 5,9 \text{ W/K}$$

Tab 4-11 Výpočet měrných tep. ztrát prostupem

$S_{izolace}$ [m]	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
Var. 1 $H_{T,ie}$ (bez střechy) [W/K]	37,5	33,4	28,3	25,2	23,2
Var. 2 $H_{T,ie}$ (bez střechy) [W/K]	39,5	35,7	30,7	27,5	25,2
$S_{izolace}$ [m]	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
$H_{T,ie}$ – střecha [W/K]	28,4	26,4	25	23,9	22,3

$$H_{T,g} = 5,9 \text{ W/K}$$

Celkový měrný tepelný tok prostupem budovy H_T se vypočítá ze vztahu:

$$H_T = H_{T,ie} + H_{T,g} \quad [W/K] \quad (4.13)$$

Tab. 4-12 Přehled některých H_T

$S_{\text{izolace-obvodové zdivo}} [\text{m}]$	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5
$S_{\text{izolace-střecha}} [\text{m}]$	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Var. 1 H_T [W/K]	71,9	65,8	59,2	55	51,5
Var. 2 H_T [W/K]	73,9	68,1	61,6	57,3	53,5

4.2.2 Výpočet měrné tepelné ztráty větráním $H_{V,i}$

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot c_p \cdot \rho \quad [\text{W/K}] \quad (4.14)$$

kde

\dot{V}_i – Objemový tok [m^3/s]

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$]

ρ – hustota vzduchu [kg/m^3]

$$\dot{V}_i = O_i \cdot n \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.15)$$

kde

n – intenzita výměny vzduchu [h^{-1}]

O_i – Objem větraného prostoru [m^3]

$$\dot{V}_i = 480 \cdot 0,000139 = 0,067 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot c_p \cdot \rho = 0,067 \cdot 1010 \cdot 1,2 = 80,8 \text{ W/K}$$

4.3 Návrhová tepelná ztráta prostupem $\phi_{T,i}$

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig}) \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{W}] \quad (4.16)$$

kde

t_{iv} – vnitřní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

t_{ev} – venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Příklad výpočtu pro obě varianty s tloušťkou izolací (obvod i střecha) $s = 0,3$ m a tloušťkou izolace v podlaze přilehlé k zemině $s = 0,2$ m.

Var. 1:

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig}) \cdot (t_{iv} - t_{ev}) = (54,7 + 5,9) \cdot (20 - (-12)) = 2265,5 \text{ W}$$

Var. 2:

$$\phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ig}) \cdot (t_{iv} - t_{ev}) = (57,1 + 5,9) \cdot (20 - (-12)) = 2339,7 \text{ W}$$

4.4 Návrhová tepelná ztráta větráním $\phi_{V,i}$

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (t_{iv} - t_{ev}) \quad [\text{W}] \quad (4.17)$$

$$\phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (t_{iv} - t_{ev}) = 80,8 \cdot (20 - (-12)) = 2585,6 \text{ W}$$

4.5 Celková tepelná ztráta objektu ϕ_i

$$\phi_i = \phi_{T,i} + \phi_{V,i} \quad [\text{W}] \quad (4.18)$$

Přehled tepelných ztrát pro různé tloušťky izolace:

Tab. 4-13 Přehled tepelných ztrát pro obě varianty

ϕ_i [kW] – Var. 1		Tloušťka obvodové izolace s [m]				
		0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Tloušťka obvodové izolace s [m]	0,15	4,89	4,82	4,77	4,74	4,69
	0,2	4,76	4,69	4,64	4,61	4,56
	0,3	4,59	4,53	4,48	4,45	4,4
	0,4	4,49	4,43	4,38	4,35	4,3
	0,5	4,43	4,36	4,32	4,28	4,23
ϕ_i [kW] – Var. 2		Tloušťka obvodové izolace s [m]				
		0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
Tloušťka obvodové izolace s [m]	0,15	4,95	4,89	4,84	4,8	4,75
	0,2	4,83	4,76	4,72	4,68	4,63
	0,3	4,67	4,6	4,56	4,52	4,47
	0,4	4,56	4,5	4,45	4,42	4,37
	0,5	4,49	4,43	4,38	4,35	4,3

Z tab. 4-13 mi opět vyšla var. 1 jako ta výhodnější.

4.6 Celkové množství přeneseného tepla $Q_{H,ht}$

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} \quad [\text{kWh}] \quad (4.19)$$

kde

$Q_{H,tr}$ – celkové množství přeneseného tepla prostupem za měsíc [kWh]

$Q_{H,ve}$ – celkové množství přeneseného tepla větráním za měsíc [kWh]

$$Q_{H,tr} = n_{hod} \cdot H_T \cdot (t_{iv} - t_{ep}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.20)$$

$$Q_{H,ve} = n_{hod} \cdot H_V \cdot (t_{iv} - t_{eov}) \quad [\text{kWh}] \quad (4.21)$$

$$t_{eov} = t_{ep} + \eta_{ZZT} \cdot (t_{iv} - t_{ep}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (4.22)$$

kde

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h] (viz tab. 5-5)

t_{ep} – střední teplota v měsíci [°C] (viz tab. 5-5)

t_{eov} – teplota ohřátého venkovního vzduchu [°C]

η_{ZZT} – účinnost ZZT [–]

Příklad výpočtu t_{eov} , $Q_{\text{H,ve}}$ a $Q_{\text{H,tr}}$ pro měsíc leden při zateplení 0,3 m pro obvodové zdivo a střechu, 0,2 m pro podlahu (var. 1):

$$t_{\text{eov}} = t_{\text{ep}} + \eta_{\text{ZZT}} \cdot (t_{\text{iv}} - t_{\text{ep}}) = -1,3 + 0,9 \cdot (20 - (-1,3)) = 17,9 \text{ °C}$$

$$Q_{\text{H,tr}} = n_{\text{hod}} \cdot 3600 \cdot H_{\text{T}} \cdot (t_{\text{iv}} - t_{\text{ep}}) = 744 \cdot 60,7 \cdot (20 - (-1,3)) = 961 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{H,ve}} = n_{\text{hod}} \cdot 3600 \cdot H_{\text{V}} \cdot (t_{\text{iv}} - t_{\text{eov}}) = 744 \cdot 80,8 \cdot (20 - 17,9) = 126 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{H,ht}} = Q_{\text{H,tr}} + Q_{\text{H,ve}} = 961 + 126 = 1087 \text{ kWh}$$

Pozn.: kdybych neuvažoval ZZT, tak by hodnota $Q_{\text{H,ve}}$ stoupla zhruba 17x, což znamená, že pro realizaci budovy, která má být blízka nulové, je nutné vždy navrhnout ZZT.

Tab. 4-14 Přehled t_{eov} , $Q_{\text{H,ve}}$ a $Q_{\text{H,tr}}$ pro jednotlivé měsíce pro zateplení viz minulý příklad

	t_{eov}	$Q_{\text{H,tr}} - \text{Var. 1}$	$Q_{\text{H,tr}} - \text{Var. 2}$	$Q_{\text{H,ve}}$	$Q_{\text{H,ht}} - \text{Var. 1}$	$Q_{\text{H,ht}} - \text{Var. 2}$
měsíc	[°C]	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
Leden	17,9	961	999	128	1089	1127
Únor	18	819	851	109	929	961
Březen	18,4	736	764	98	834	862
Duben	18,8	520	540	69	589	609
Květen	19,3	302	314	40	343	355
Červen	19,6	170	177	23	193	200
Červenec	19,8	90	94	12	102	106
Srpen	19,8	95	98	13	107	111
Září	19,4	284	295	38	322	333
Říjen	18,8	528	549	70	598	619
Listopad	18,3	734	762	98	832	860
Prosinec	18,1	880	915	117	997	1032

5. TEPELNÉ ZISKY

5.1 Vnitřní tepelné zisky

Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 13790.

Tepelný tok od osob a spotřebičů byl odhadnut pro celý dům $\phi = 4 \text{ W.m}^{-2}$.

Potom vnitřní tepelné zisky Q_{int} se vypočítají pro každý měsíc ze vztahu 5.1:

$$Q_{\text{int}} = \dot{Q}_{\text{int}} \cdot n_{\text{hod}} \quad [\text{kWh}] \quad (5.1)$$

$$\dot{Q}_{\text{int}} = \phi \cdot A_{\text{podlah}} \quad [\text{W}] \quad (5.2)$$

kde

\dot{Q}_{int} – výkon vnitřních tepelných zisků [W]

n_{hod} – počet hodin v měsíci [h]

ϕ – tepelný tok od osob a spotřebičů [W.m^{-2}]

A_{podlah} – celková vnitřní plocha [m^2]

$$\dot{Q}_{\text{int}} = \phi \cdot A_{\text{podlah}} = 4 \cdot 2 \cdot 80 = 640 \text{ W}$$

Tab. 5-1 Přehled vnitřních zisků v jednotlivých měsících

	počet dnů	počet hodin	Vnitřní zisky
měsíc	[d]	[h]	[kWh]
Leden	31	744	476
Únor	28	672	430
Březen	31	744	476
Duben	30	720	461
Květen	31	744	476
Červen	30	720	461
Červenec	31	744	476
Srpen	31	744	476
Září	30	720	461
Říjen	31	744	476
Listopad	30	720	461
Prosinec	31	744	476

Sečtením Vnitřních zisků pro každý měsíc dostaneme vnitřní zisky za rok:

$$Q_{\text{int,rok}} = \sum Q_{\text{int}} = 5606 \text{ kWh}$$

5.2 Solární tepelné zisky Q_{sol}

Tepelné zisky vznikající jako důsledek slunečního záření obvykle dostupného v dané lokalitě jsou závislé na orientaci sběrných ploch, trvalého a pohyblivého stínění, prostupnosti a pohltivosti slunečního záření a na vlastnostech charakterizující přenos tepla sběrných ploch. Parametr zahrnující vlastnosti a plochu sběrného povrchu (včetně stínění) se nazývá efektivní sběrná plocha.^[2] Z čehož plyne, že pro návrh nulové budovy je podstatná volba místa, tedy orientace ke světovým stranám.

Výpočet byl proveden dle ČSN EN ISO 13790 se zanedbáním sálání vůči obloze.

$$Q_{\text{sol}} = \sum_j I_{s,j} \cdot \sum_n A_{\text{sol},nj} \quad [\text{kWh}] \quad (5.3)$$

kde

$I_{s,j}$ – celkové solární záření za měsíc [kWh/m²]

$A_{sol,nj}$ – účinná solární sběrná plocha [m²]

5.2.1 Zasklenými prvky

Solární zisky zasklenými prvky tvoří dominantní podíl na celkových solárních ziscích. (nemuselo by tomu tak být, kdybychom například navrhli dům s tmavou fasádou).

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl}(1 - F_F)A_{w,p} \quad [m^2] \quad (5.4)$$

kde

Viz tab. 5-2

Tab. 5-2 Parametry k výpočtu účinné solární sběrné plochy zasklených prvků A_{sol}

Korekční činitel stínění	Celková propustnost zasklení	Korekce pro nerozptyl. zasklení	Celková propustnost průhlednými prvky	Podíl plochy rámu
$F_{sh,gl}$	g_n	F_w	g_{gl}	F_F
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
0,9	0,7	0,9	0,63	0,3

$A_{w,p}$ – celková pohledová plocha zaskleného prvku [m²]

Tab. 5-3 Orientace oken

	počet	$A_{w,p}$ [m ²]
J	2	3
S	1	1,5
V	2	3
Z	2	3

Z tab. 5-3 je vidět snaha o zvýšení solárních zisků, a to tak, že nejméně zasklených prvků je tam, kde dopadá nejméně slunečního záření, tedy na severní straně domu.

Výpočet účinné sběrné plochy pro jižní stranu:

$$A_{\text{sol}} = F_{\text{sh,gl}} \cdot g_{\text{gl}}(1 - F_{\text{F}})A_{\text{w,p}} = 0,9 \cdot 0,63 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3 = 1,19 \text{ m}^2$$

Tab. 5-4 Přehled účinné sběrné plochy pro různé orientace ke světovým stranám

	S	J	V	Z
$A_{\text{sol}} [\text{m}^2]$	0,5954	1,1907	1,1907	1,1907

Tab. 5-5 Přehled celkového solárního záření za měsíc

Měsíc	Počet dnů	Počet hodin	Střední teplota	Celkové solární záření za měsíc			
	n	n_{hod}	t_{ep}	$I_{\text{s,j}}$			
				Sever	Jih	Východ	Západ
	[den]	[h]	[°C]	[kWh/m ²]			
Leden	31	744	-1,3	8	34	14	14
Únor	28	672	-0,1	13	51	26	26
Březen	31	744	3,7	25	74	47	47
Duben	30	720	8,1	36	86	74	74
Květen	31	744	13,3	49	87	87	87
Červen	30	720	16,1	52	76	90	90
Červenec	31	744	18	51	78	84	84
Srpen	31	744	17,9	42	96	80	80
Září	30	720	13,5	29	78	53	53
Říjen	31	744	8,3	19	74	39	39
Listopad	30	720	3,2	9	45	18	18
Prosinec	31	744	0,5	6	29	11	11

Výpočet tepelného solárního zisku za leden pro jižní stranu:

$$Q_{\text{sol}} = I_{\text{s,j}} \cdot A_{\text{sol,nj}} = 34 \cdot 1,19 = 40 \text{ kWh}$$

Tab. 5-6 Přehled solárních tepelných zisků

Tepelný tok solárních zisků Q_{sol}				
Průsvitné konstrukce				
[kWh]				
měsíc	S	J	V	Z
Leden	5	40	17	17
Únor	8	61	31	31
Březen	15	88	56	56
Duben	21	102	88	88
Květen	29	104	104	104
Červen	31	90	107	107
Červenec	30	93	100	100
Srpen	25	114	95	95
Září	17	93	63	63
Říjen	11	88	46	46
Listopad	5	54	21	21
Prosinec	4	35	13	13

5.2.2 Neprůsvitnou konstrukcí

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \quad [m^2] \quad (5.5)$$

kde

$\alpha_{s,c}$ – viz tab. 5-7

U_c – souč. prostupu tepla neprůhledné části [$W/m^2 \cdot K$]

A_c – pohledová plocha neprůhledné části [m^2]

Ze vztahu (5.5) je patrné, že velikost solárních zisků neprůhlednými konstrukcemi klesá s mírou zateplení, resp. s klesajícím U .

Tab. 5-7 Parametry k výpočtu účinné solární sběrné ploše neprůhledných prvků A_{sol}

Pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	Tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu
$\alpha_{S,c}$	R_{se}
[-]	$[m^2 \cdot K^{-1} \cdot W^{-1}]$
0,6	0,04

Tab. 5-8

obvodové stěny		střecha	
orientace	$A_C [m^2]$	orientace	$A_C [m^2]$
S	44,7	S	20
J	45	J	20
V	57	V	20
Z	57	Z	20

Výpočet účinné sběrné plochy pro jižní stranu obvodového zdiva při tloušťce izolace $s = 0,3$ m (Var. 1):

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_C = 0,6 \cdot 0,04 \cdot 0,075 \cdot 45 = 0,08 \text{ m}^2$$

Výpočet účinné sběrné plochy pro jižní stranu střechy při tloušťce izolace

$s = 0,3$ m:

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_C = 0,6 \cdot 0,04 \cdot 0,13 \cdot 20 = 0,06 \text{ m}^2$$

Tab. 5-9 Přehled účinné sběrné plochy pro různé orientace ke světovým stranám (tloušťka izolací $s = 0,3$ m)

Var. 1	S	J	V	Z	1/4 střechy
$A_{sol} [m^2]$	0,08	0,08	0,10	0,10	0,05
Var. 2	S	J	V	Z	1/4střechy
$A_{sol} [m^2]$	0,09	0,09	0,12	0,12	0,05

Tab. 5-10 Přehled Q_{sol} neprůsvitnou konstrukcí pro tloušťky izolací $s = 0,3$ m

Var. 1								
Tepelný tok solárních zisků Q_{sol}								
Neprůsvitné konstrukce								
obvodové zdivo					střecha			
[kWh]								
měsíc	S	J	V	Z	S	J	V	Z
Leden	1	3	1	1	0	2	1	1
Únor	1	4	3	3	1	3	2	2
Březen	2	6	5	5	2	5	3	3
Duben	3	7	8	8	2	5	5	5
Květen	4	7	9	9	3	5	5	5
Červen	4	6	9	9	3	5	6	6
Červenec	4	6	9	9	3	5	5	5
Srpen	3	8	8	8	3	6	5	5
Září	2	6	5	5	2	5	3	3
Říjen	2	6	4	4	1	5	2	2
Listopad	1	4	2	2	1	3	1	1
Prosinec	0	2	1	1	0	2	1	1
Var. 2								
Tepelný tok solárních zisků Q_{sol} – neprůsvitné konstrukce								
[kWh]								
měsíc	S	J	V	Z	Σ střecha			
Leden	1	3	2	3	4			
Únor	1	5	3	6	7			
Březen	2	7	6	12	12			
Duben	3	8	9	18	17			
Květen	5	8	10	22	19			
Červen	5	7	11	22	19			
Červenec	5	7	10	21	19			
Srpen	4	9	9	20	19			
Září	3	7	6	13	13			
Říjen	2	7	5	10	11			
Listopad	1	4	2	4	6			
Prosinec	1	3	1	3	4			

Porovnáním tab. 5-6 a 5-10 je zřejmá dominance solárních zisků prosklenými prvky.

Tab 5-11 Přehled solárních zisků pro var. 1 za 1 rok

Q_{sol} [kWh]		s_{izol} - střecha [m]				
s_{izol} - obvodové stěny [m]	Var. 1	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
	0,15	3180	3151	3130	3114	3092
	0,2	3121	3092	3071	3055	3033
	0,3	3047	3018	2997	2981	2959
	0,4	3003	2974	2953	2937	2915
	0,5	2973	2944	2923	2908	2885

5.3 Výsledné hodnoty

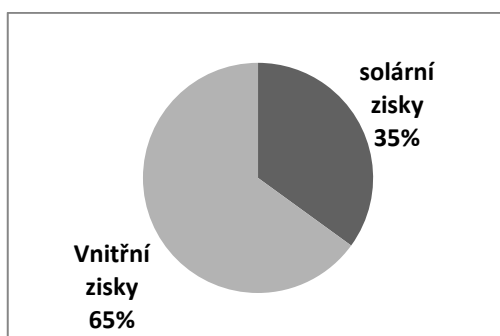
Tepelné zisky = Vnitřní tepelné zisky + Solární tepelné zisky

$$Q_{H,gn} = Q_{int} + Q_{sol} \quad [\text{kWh}] \quad (5.6)$$

Tab 5-12 Přehled tepelných zisků pro var. 1 za 1 rok

$Q_{H,gn}$ [kWh]		s_{izol} -střecha [m]				
s_{izol} - obvodové stěny [m]	Var. 1	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
	0,15	8786	8757	8736	8720	8698
	0,2	8727	8698	8677	8661	8639
	0,3	8653	8624	8603	8587	8565
	0,4	8609	8580	8559	8543	8521
	0,5	8579	8550	8529	8514	8491

Porovnání velikostí Q_{int} a Q_{sol} pro var. 1, s_{izol} (střecha i obvodová stěna) = 0,3 m

Obr. 5-1 Porovnání Q_{int} a Q_{sol}

5.4 Dělení variant dle vnitřní tepelné kapacity

Rozdělení pomocí plošné hmotnosti m_s

Var. 1.:

$$m_s = \frac{\rho_C \cdot S_C + \rho_B \cdot S_B}{S_C + S_C} \quad [\text{kg/m}^2] \quad (5.7)$$

kde

ρ_C – hustota tvárnice [kg/m^3]

S_C – plocha stěn bez OV [m^2]

ρ_B – hustota stropního betonu [kg/m^3]

S_B – plocha střešního betonu [m^2]

$$m_s = \frac{\rho_C \cdot S_C + 2 \cdot \rho_B \cdot S_B}{S_C + S_C} = \frac{750 \cdot 203,7 + 2000 \cdot 80}{203,7 + 80} = 1102,5 \text{ kg/m}^2 > 1000 \Rightarrow \text{velmi těžká}$$

budova

Var. 2: Vzhledem k její konstrukci ji budu považovat bez výpočtu za velmi lehkou konstrukci

Vnitřní tepelná kapacita budovy C_m [J/K]

Var. 1:

$$C_m = 370000 \cdot A_f = 370000 \cdot 2.80 = 59200000 \text{ J/K}$$

Var. 2:

$$C_m = 80000 \cdot A_f = 80000 \cdot 2.80 = 12800000 \text{ J/K}$$

Pozn.: vliv vnitřní tepelné kapacity má poměrně značný vliv na vhodnost var. 1.

5.5 Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění

Bezrozměrný faktor využitelnosti tepelných zisků pro režim vytápění $\eta_{H,gn}$ je funkcí bilančního poměru γ_H a číselného parametru a_H , který závisí na tepelné setrvačnosti budovy, jak je dáno rovnicemi (5.8) až (5.11). [2]

Když $\gamma_H > 0$ $\gamma_H \neq 1$, tak:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad [-] \quad (5.8)$$

kde

γ_H – bilanční poměr [-]

$\eta_{H,gn}$ – faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-]

a_H – číselný parametr [-]

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad (5.9)$$

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (5.10)$$

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} \quad [h] \quad (5.11)$$

kde

$Q_{H,ht}$ – celkové množství přeneseného tepla v režimu vytápění [kWh]

$Q_{H,gn}$ – celkové tepelné zisky v režimu vytápění [kWh]

$a_{H,0}$ – referenční číselný parametr (pro měsíční metodu je roven 1) [-]

τ – časová konstanta budovy [h]

$\tau_{H,0}$ – referenční časová konstanta budovy (pro měsíční metodu je rovno 15) [h]

$H_{tr,adj}$ – reprezentativní hodnota celkového měrného tep. toku prostupem [W/K]

$H_{ve,adj}$ – reprezentativní hodnota celkového měrného tep. toku větráním [W/K]

Příklad výpočtů pro $S_{izol,obvod.zdivo} = 0,3 \text{ m}$, $S_{izol,střecha} = 0,4 \text{ m}$ pro leden.

Var. 1

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} = \frac{565,4}{1049} = 0,54$$

Var. 2

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} = \frac{568}{1087} = 0,52$$

Var. 1

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} = \frac{59200000/3600}{58,1 + 80,8} = 118,4 \text{ h}$$

Var. 2

$$\tau = \frac{C_m/3600}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj}} = \frac{12800000/3600}{60,5 + 80,8} = 25,6 \text{ h}$$

Var. 1

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} = 1 + \frac{118,4}{15} = 8,9$$

Var. 2

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} = 1 + \frac{25,6}{15} = 2,7$$

Var. 1 pro leden

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} = \frac{1 - 0,54^{8,9}}{1 - 0,54^{8,9+1}} = 1$$

Var. 2 pro leden

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{aH}}{1 - \gamma_H^{aH+1}} = \frac{1 - 0,52^{2,7}}{1 - 0,52^{2,7+1}} = 0,91$$

Tab. 5-13 Přehled faktoru využitelnosti tepelných zisků pro vytápění $\eta_{H,gn}$

měsíc	$\eta_{H,gn}$	
	Var. 1	Var. 2
Leden	1,00	0,91
Únor	0,99	0,87
Březen	0,94	0,78
Duben	0,70	0,60
Květen	0,38	0,37
Červen	0,22	0,22
Červenec	0,12	0,12
Srpen	0,12	0,12
Září	0,42	0,41
Říjen	0,80	0,67
Listopad	0,98	0,84
Prosinec	1,00	0,90

Z tab. 5-13 lze vyčíst, že vlivem větší tepelné kapacity var. 1 bude zděná budova využívat tepelné zisky ve větší míře a nejmarkantnější rozdíl nastane od října do dubna.

5.6 Měrná potřeba tepla na vytápění

$$E_A = \frac{\sum Q_{H,nd}}{A} \quad [\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}] \quad (5.12)$$

kde

$Q_{H,nd}$ – Potřeba tepla na vytápění budovy [kWh]

A – nášlapná plocha včetně šířky zdiva [m^2]

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} \quad [\text{kWh}] \quad (5.13)$$

Tab. 5-14 Přehled $Q_{H,nd}$ a zejména rozdílů hodnot mezi variantami

měsíc	$Q_{H,nd}$		Rozdíl variant
	Var. 1	Var. 2	
Leden	484,6	569,9	85,3
Únor	320,1	418,2	98,1
Březen	125	265,3	140,3
Duben	7,8	95,9	88,1
Květen	0	16,7	16,6
Červen	0	2,6	2,6
Červenec	0	0,3	0,3
Srpen	0	0,3	0,3
Září	0,1	19,8	19,7
Říjen	22,1	127,4	105,3
Listopad	233,3	339,6	106,2
Prosinec	412,8	499,4	86,6
Σ	1605,8	2355,3	750

Z tab. 5-14 dostaneme rozdílovou hodnotu energie, kterou musíme do var. 2 načerpat navíc oproti var. 1, při zvolených stejných parametrech zateplení (0,3 m izolace na obvodovém zdivu, 0,4 m izolace ve střešní konstrukci a 0,2 m izolace v podlaze). 750 kWh je poměrně výrazný rozdíl, který se už jistě projeví na ceně energie.

Tab. 5-15 Měrná potřeba tepla na vytápění

E_A [kWh/m ² .a]		s_{izol} -střecha [m]				
s_{izol} - obvodové stěny [m]	Var. 1	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
	0,15	12,3	11,6	11,1	10,7	10,2
	0,2	10,8	10,1	9,6	9,2	8,7
	0,3	8,8	8,1	7,7	7,4	6,9
	0,4	7,6	7	6,6	6,2	5,8
	0,5	6,8	6,2	5,8	5,5	5,1
E_A [kWh/m ² .a]		s_{izol} -střecha [m]				
s_{izol} - obvodové stěny [m]	Var. 2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
	0,15	18	17,1	16,5	16,1	15,4
	0,2	16,2	15,4	14,8	14,4	13,8
	0,3	13,8	13	12,5	12,1	11,5
	0,4	12,1	11,4	10,9	10,5	10
	0,5	10,9	10,3	9,8	9,4	8,9

Z tab. 5-15 lze tvrdit, že všechny kombinace zateplení **splňují** podmínku pro budovy blízke nulovým dle tab. 2-1. Někdy je snaha dostat se pod $5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, což se nám ani u nejvíce zateplené varianty nepovedlo.

6. POTŘEBA TEPLA NA PŘÍPRAVU TV

6.1 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

V domě budu uvažovat 4 obyvatele, každý spotřebuje za den 40 l vody, tedy:

Denní potřeba tepla pro ohřev TV:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot p \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad [\text{Wh/den}] \quad (6.1)$$

kde

V_{2p} = množství spotřebované vody jedním obyvatelem za den (40 l/den.os)

t_2 = teplota ohřáté vody (55 °C) [°C]

t_1 = teplota studené vody (10 °C) [°C]

z = koeficient energetických ztrát pro přípravu TV [-]

c = měrná tepelná kapacita vody [J/kg.K]

ρ = hustota vody [kg/m³]

p = počet osob

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot p \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = (1 + 0,2) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,04 \cdot 4 \cdot (55 - 10)}{3600}$$

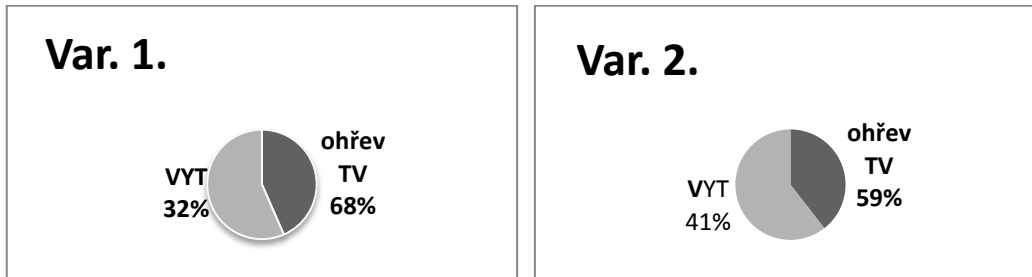
$$= 10046 \text{ Wh/den}$$

Roční spotřeba s ohledem na sníženou spotřebu TV v letních měsících

$$Q_{TUV,r} = 3,366 \text{ MWh/rok}$$

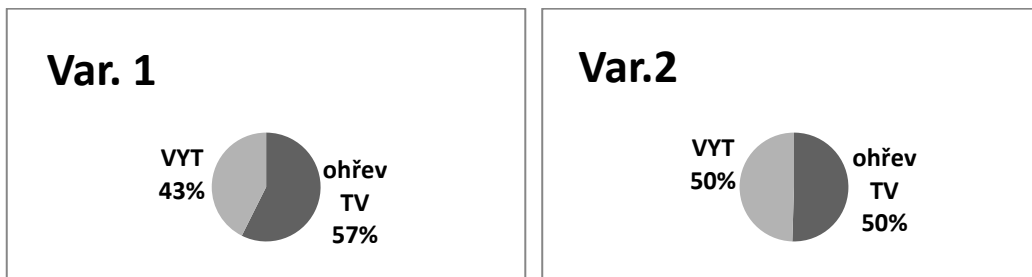
6.2 Porovnání poměru potřeby tepla na vytápění a ohřev TV

Pro tloušťku izolace 0,2 m – podlaha, 0,3 m – obvod, 0,4 m – střecha. (Budova s téměř nulovou spotřebou energie)



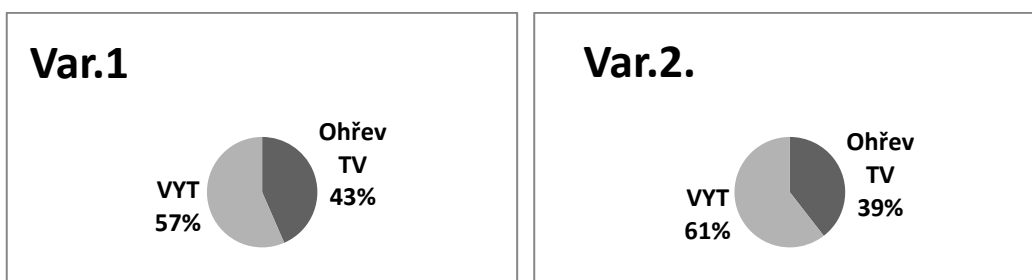
Obr. 6-1

Pro tloušťku izolace 0,2 m pro strop, podlaha i obvod. (Budova s téměř nulovou spotřebou energie)



Obr. 6-2

Porovnání s **nízkoenergetickým domem** (tloušťka izolace 0,1 m (strop, obvod), podlaha 0,2 m)



Obr. 6-3

7. ZDROJ TEPLA

7.1 Návrh zdroje tepla

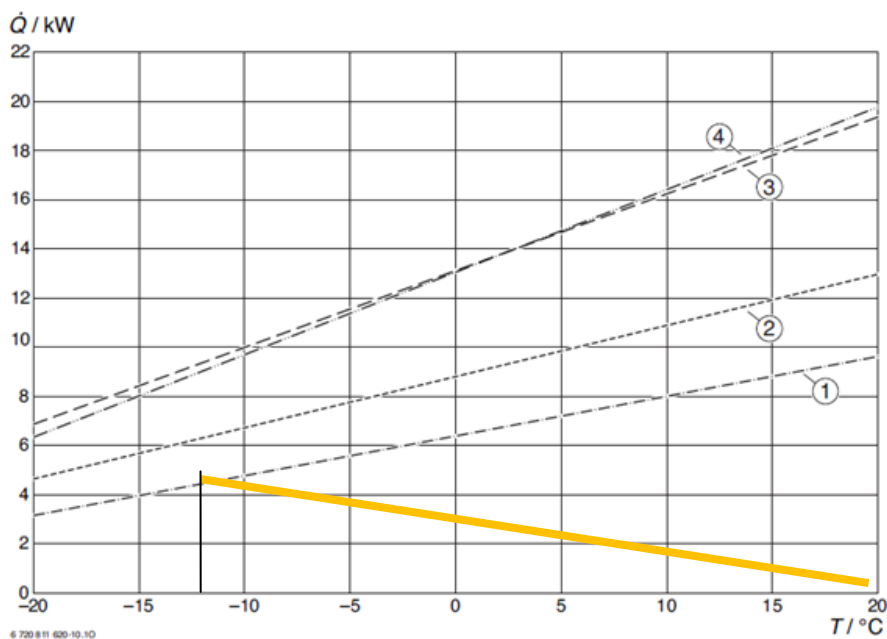
Vzhledem k faktu, že nulová budova, respektive budova s téměř nulovou spotřebou energie, má mít pokryté zdroje energie z výrazné část z OZE, zvolím jako zdroj energie tepelné čerpadlo typu vzduch-voda a to doplním solárními kolektory, které budou využívány pouze na ohřev TV.

7.1.1 Tepelné čerpadlo

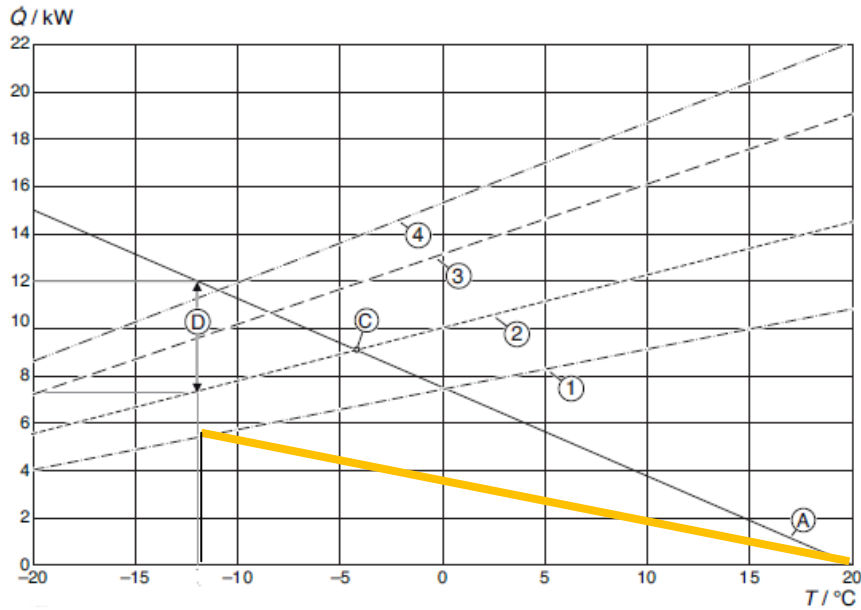
Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) vzduch voda volím zejména z výhod v univerzálnosti a jednoduchosti oproti ostatním TČ a také kvůli nižší pořizovací ceně. Nicméně tento typ TČ má i nevýhodu, a to v závislosti výkonu na venkovní teplotě, což se v praxi řeší pomocí bivalentního zdroje, nicméně jak bude ukázáno, v mém případě díky nízkým tepelným ztrátám objektu se ani k bivalentnímu bodu nemusím dostat.

Volím TČ Logatherm WPL 6 AR, což je TČ s nejnižším výkonem dané řady. Což v Obr. 7-1 a 7-2 znázorňuje křivka číslo 1.

- Bivalentní bod:



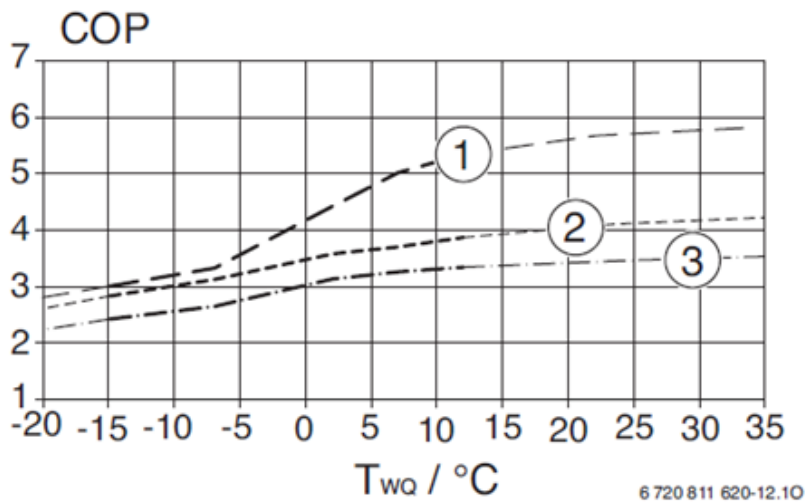
Obr. 7-1 Výkonové křivky TČ při teplotě na výstupu 55 °C



Obr. 7-2 Výkonové křivky TČ při teplotě na výstupu 35 °C

Z grafů je patrné, že pro tepelné ztráty objektu pod 4,5 kW se TČ nedostane na teplotu bivalence. Možná varianta je vyřešit situaci slabším čerpadlem, nicméně mnou zvolená řada TČ slabšími TČ nedisponuje.

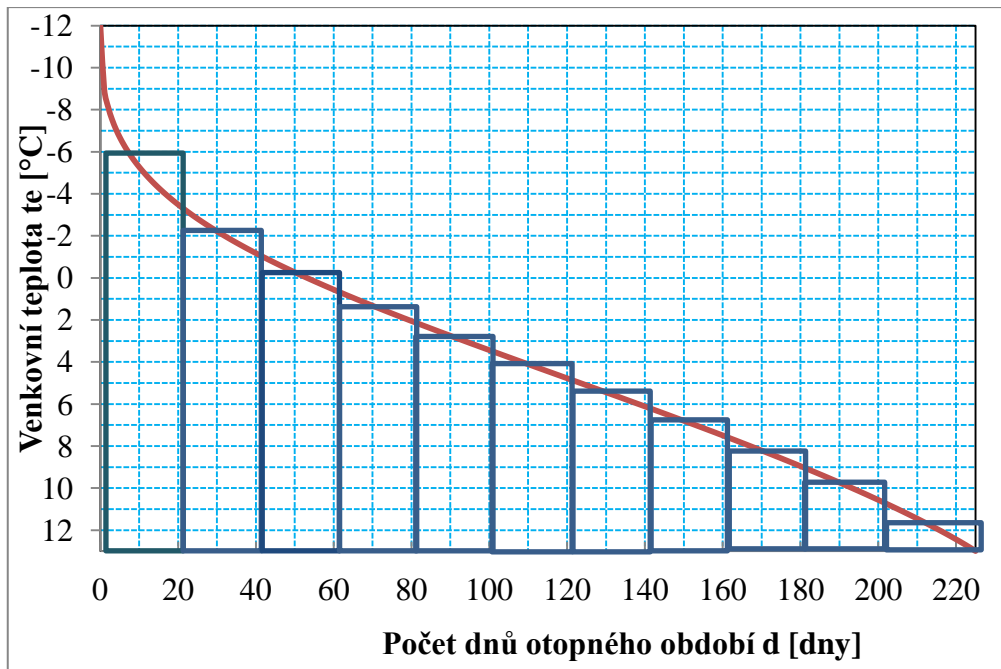
- SPF



Obr. 7-3 Topný faktor TČ

- 1 teplota výstupní vody 35 °C
- 3 teplota výstupní vody 55 °C

Hodnota COP udává poměr mezi množstvím energie vyrobené a energie vložené, tedy poměr topného výkonu k elektrickému příkonu.



Obr. 7-4 Rozdělení otopného období pro výpočet SPF

Pomocí obr. 7-4 a 7-5 získávám hodnoty COP pro 20 denní intervaly otopného období, což znázorňuje tab. 7-1.

Tab. 7-1

VYTÁPĚNÍ			OHŘEV TV		
t_e	Počet dní	COP	t_e	Počet dní	COP
-6	20	3,5	-6	20	2,7
-2,2	20	4	-2,2	20	2,9
-0,2	20	4,2	-0,2	20	3
1,4	20	4,4	1,4	20	3,1
2,8	20	4,6	2,8	20	3,2
4,1	20	4,7	4,1	20	3,25
5,4	20	4,8	5,4	20	3,3
6,8	20	4,9	6,8	20	3,3
8,2	20	5,1	8,2	20	3,35
9,8	20	5,2	9,8	20	3,35
11,7	20	5,3	11,7	20	3,35

Více nás ale bude zajímat, jaký je reálný sezónní topný faktor (SPF), který se vypočítá dle vztahu:

$$\text{SPF} = \frac{\sum_i \text{COP}_i \cdot d_{e_i}}{\sum_i d_{e_i}} \quad [-] \quad (7.1)$$

kde

COP – topný faktor (Coefficient of performance) TČ [-]

d_e – počet dní v daném intervalu pro určitý COP [dny]

Uplatněním vztahu 7.1 dostane 2 výsledky: SPF pro vytápění a SPF pro ohřev TV, tyto hodnoty jsou poměrně vysoké, což je způsobeno laboratorními podmínkami při měření COP.

$$\text{SPF}_{\text{VYT}} = \frac{\sum_i \text{COP}_i \cdot d_{e_i}}{\sum_i d_{e_i}} = \frac{20 \cdot \sum \text{COP}}{20.11} = 4,61$$

$$\text{SPF}_{\text{TV}} = \frac{\sum_i \text{COP}_i \cdot d_{e_i}}{\sum_i d_{e_i}} = \frac{20 \cdot \sum \text{COP}}{20.11} = 3,16$$

7.1.2 Solární kolektory

Parametry solárních kolektorů:

Plocha kolektorů: 2,5 m²

Sklon: 45°

Optická účinnost: $\eta_o = 0,7$

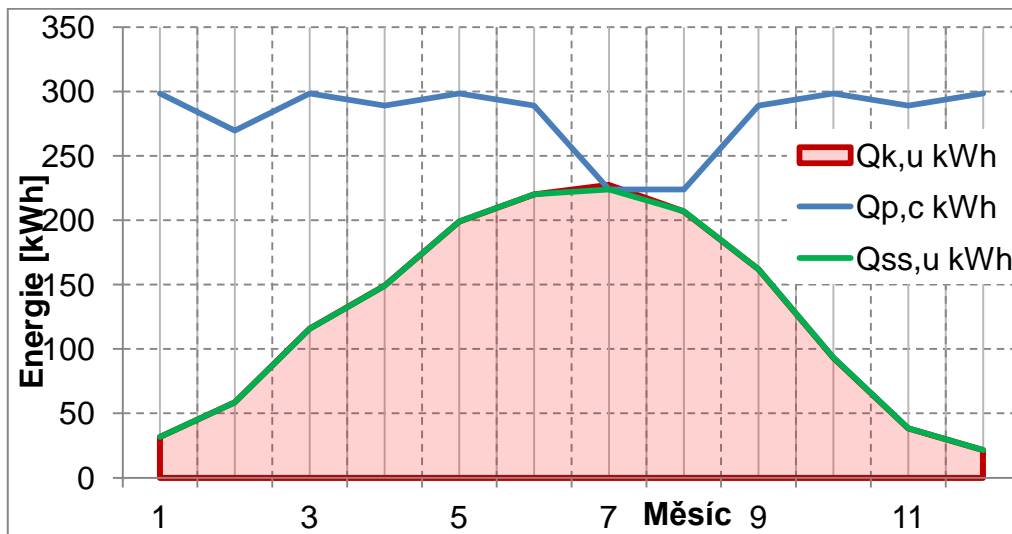
S ohledem na fakt, že pro dlouhodobé využívání solárních kolektorů není vhodné jejich přehřívání v letních měsících, byly nadimenzovány. Průběh solární energie v nich vygenerované znázorňuje obr. 7-5, z něhož dostaneme přesnou velikost využitelného zisku solární soustavy $Q_{ss,u}$.

$$Q_{ss,u} = 1521 \text{ kWh/rok}$$

$$f = 45 \%$$

kde

f – Poměrné využití solárních kolektorů na ohřev TV



Obr. 7-5 Průběh množství solární energie za rok

7.1.3 Výsledné hodnoty energie vzniklé oběma zdroji

Pro nejméně zateplenou konstrukci 2. Var:

VYTÁPĚNÍ:

$$Q_{H,nd,el} = \frac{Q_{H,nd}}{SPF_{VYT}} = \frac{3305,5}{4,61} = 717 \text{ kWh/rok}_{el}$$

Vztáhneme-li tu toto hodnotu k velikosti plochy včetně šířky zdiva, dostaneme měrnou potřebu tepla na vytápění E_A [kWh/m².a]

$$E_A = \frac{Q_{H,nd}}{A} = \frac{3305,5}{2,92,5} = 17,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$$

Rozdělíme-li měrnou potřebu tepla na vytápění na 2 části dle SPF a vynásobíme-li hodnoty příslušným faktorem energetické přeměny (dle tab. 7-2), dostaneme potřebu energie na vytápění vyjádřenou v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů: (to samé následně provedu i pro ohřev TV)

$$PE_{A,VYT} = 0 \cdot \frac{Q_{H,nd} - Q_{H,nd,el}}{A} + 3 \cdot \frac{Q_{H,nd,el}}{A} = 0 \cdot \frac{3305,5 - 717}{2,92,5} + 3 \cdot \frac{717}{2,92,5} \\ = 11,6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$$

Příprava TV:

$$\text{TČ: } Q_{TUV,r,TČ} = Q_{TUV,r} - Q_{ss,u} = 3366 - 1521 = 1845 \text{ kWh/rok}$$

$$Q_{TUV,r,TČ,el} = \frac{Q_{TUV,r,TČ}}{SPF_{TV}} = \frac{1845}{3,16} = 583,86 \text{ kWh/rok}_{el}$$

$$PE_{A,TV} = 0 \cdot \frac{Q_{TUV,r,TČ} - Q_{TUV,r,TČ,el}}{A} + 3 \cdot \frac{Q_{TUV,r,TČ,el}}{A} + 0,05 \cdot \frac{Q_{ss,u}}{A} \\ = 0 \cdot \frac{1845 - 583,86}{2,92,5} + 3 \cdot \frac{583,86}{2,92,5} + 0,05 \cdot \frac{1521}{2,92,5} = 9,9 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$$

$$PE_A = PE_{A,VYT} + PE_{A,TV} = 11,6 + 9,9 = 21,5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$$

Potřeba energie na vytápění vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů splňuje kritérium pro budovu blízkou nulové dle tab. 2-1. Jelikož výpočet byl proveden pro konstrukci s největší měrnou potřebou tepla na vytápění, je jasné, že kritérium splní i objekty s větší mírou zateplení (platí pro obě varianty).

Tab. 7-2 faktory neobnovitelné primární energie:

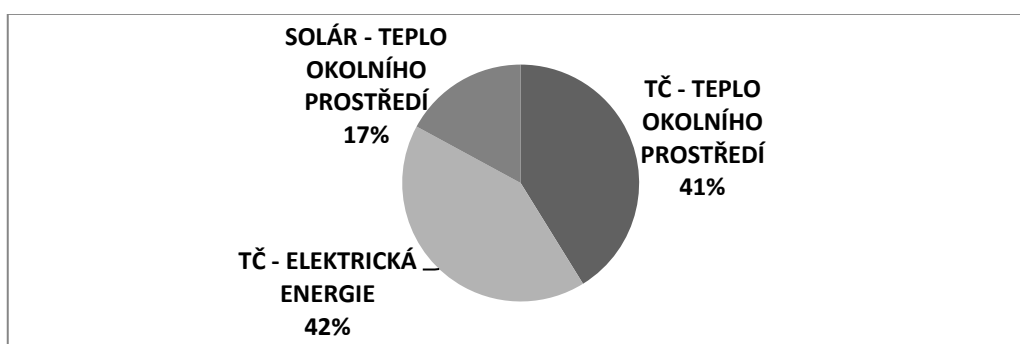
Zdroj	Faktor energetické přeměny [-] (faktor neobnovitelné primární energie)
Elektrická energie	3
Solární systémy termické	0,05

Tab. 7-3 faktory neobnovitelné primární energie:

Zdroj	Faktor celkové primární energie [-]
Elektrická energie	3,2
Energie okolního prostředí (elektrina a teplo)	1

Pro porovnání jsem sestavil i poměrový koláč vyjadřující podíl zdrojů na celkové primární energii. (Obr.7-6)

Celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie

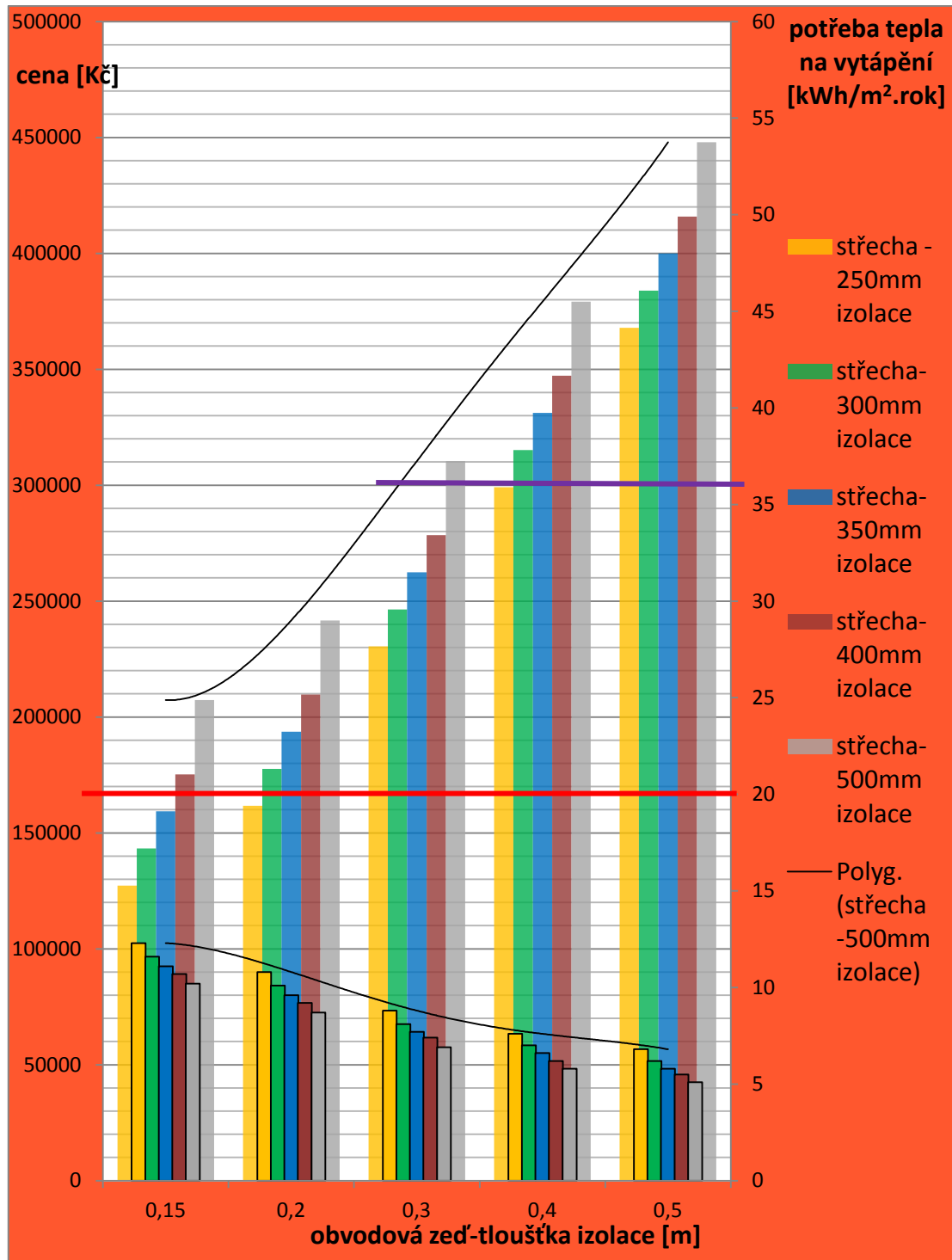


Obr. 7-6 Teplo přepočítané faktory celkové primární energie

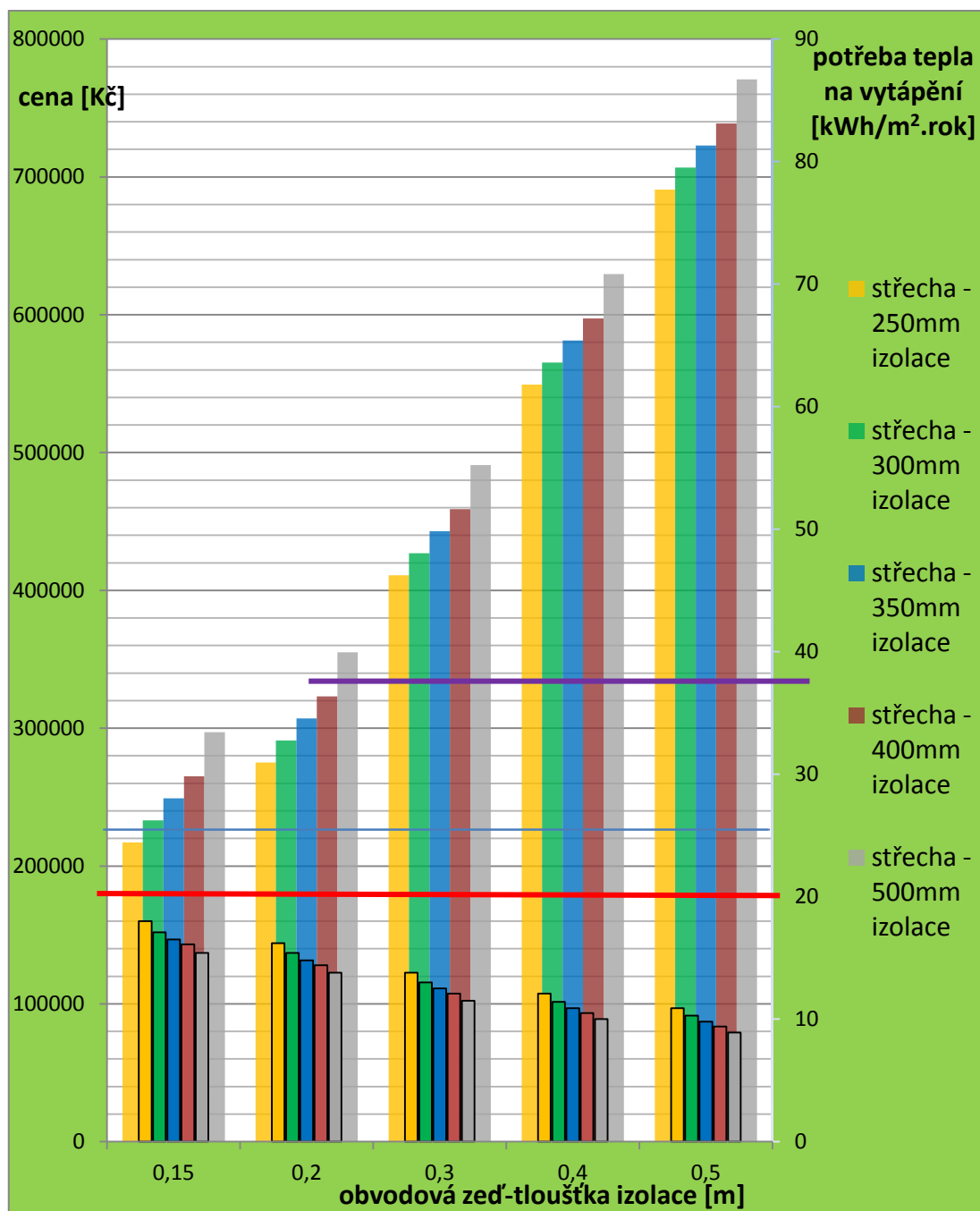
8. CENOVÉ POROVNÁNÍ

Zaměřil jsem se zejména na úměrnost zvyšování nákladů na konstrukci, tedy na zvyšování tepelné izolace, vzhledem ke snižování měrné potřeby tepla na vytápění (dále jen E_A). Z grafů je patrné, že Var. 1 (těžší var.) zejména díky vnitřní tepelné kapacitě budovy je výrazněji výhodnější z hlediska E_A , a to dokonce při daleko nižších nákladech na konstrukci. Dále je z grafů patrné, že po proložení křivek cenové náklady rostou takřka lineárně, E_A klesá s proměnnou směrnicí, z čehož se dá usoudit, jaká tloušťka zateplení je nejvhodnější, potažmo zateplovat nad určitou úroveň již postrádá smysl. Na obrázcích 8-1 a 8-2 byly náklady vztaženy k budově s doporučenými hodnotami součinitelů prostupu tepla dle ^[1]. Přehled jednotlivých cen dle příloh 8 a 9.

Vodorovná přímka protínající hodnotu E_A u var. 1 v hodnotě $36 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, resp. u var. 2 v hodnotě $37,6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ znázorňuje hodnotu E_A , kdyby byla konstrukce zateplená tak, abychom se dostali na doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla dle ^[1].

Obr. 8-1 Graf porovnávající cenu a E_A pro var. 1

Pozn.: Pod $5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ se nedostane ani nejvíce zateplená konstrukce.

Obr. 8-2 Graf porovnávají cenu E_A pro var. 2

Nulový bod svislé osy (cena) znamená náklady na zateplení budovy (bez uvažování OV), která by měla hodnoty “U“ doporučené dle ^[1]. Pro var. 1 jsou tyto náklady 346 000 Kč a pro var. 2 420 000 Kč.

Vezmeme-li do porovnání maximálně zateplené konstrukce, tak vidíme, že přestože oproti doporučeným hodnotám sice E_A je 7x menší u var. 1 při investici cca 448 000 Kč, ale u var. 2 je E_A menší “pouze“ 4x, zatímco tato 4x menší spotřeba

si vyžádá výraznou investici do zateplení (cca 770 000 Kč), jelikož izolace pro var. 2 jsem zvolil kvalitní minerální izolaci, která je výrazně dražší než pěnový polystyrén u var. 1. Toto je dalším aspektem hovořícím o vhodnosti konstrukce z keramických tvárnic, i když by neměl být problém zvolit levnější izolaci, a tím snížit náklady.

Vezmeme-li v potaz nutnou investici do TČ (budova blízka nulové by z velké části měla brát energii z OZE), bavme se o částce 200 000 Kč, a investici do solárních kolektorů 90 000 Kč, tak je nasnadě otázka, jak je to s návratností investice.

Berme cenu 1 kWh elektřiny 5 Kč.

Začneme-li sol. kolektory, které vyrobí 1521 kWh tepelné energie za rok, tak roční úspora se bude pohybovat kolem 7600 Kč, tedy návratnost solárních kolektorů je zhruba 12 let.

Pro TČ je to o něco složitější, jelikož není využíváno pouze na ohřev TV jako solární kolektory. Pro objekt s výrazným zateplením se dá mluvit o situaci, že TČ je poměrně luxusem, jelikož počáteční investici je neúměrně vysoká v porovnání s cenou protopené energie. Zateplením na 0,5 m izolace po obvodu stavby i ve střešní konstrukci je pro náš objekt potřeba tepla na vytápění za rok 1186 kWh pro var. 1 a 1880 kWh pro var. 2. Vezmeme-li do úvahy pouze var. 1, tak díky TČ s předpokládaným $SPF_{VYT} = 4$, $SPF_{TV} = 3$ ušetřím ročně 10500 Kč, tedy návratnost TČ je 19 let, což je jen teoretické číslo, jelikož nebere v úvahu životnost TČ. Ale pokud uvažujeme dům blízky nulovému se zateplením 0,3 m po obvodu i ve střešní konstrukci a 0,2 m v podlaze a chceme-li ho mít dřevěný, tak už se návratnost zlepší oproti předchozí variantě. Tento objekt by ročně potřeboval 2519 kWh na vytápění a 1845 kWh na ohřev TV, tedy úspora by byla 15600 Kč/rok a návratnost 13 let, což už není špatné jako v předchozím příkladě.

Nicméně nesmíme zapomínat na investici do zateplení, která je ze všech zmiňovaných investic nejvýraznější.

Porovnání nejvíce a nejméně zateplených konstrukcí (bez uvažování TČ):

Var. 1: Nejvíce zateplená konstrukce si vyžádá investici 448 000 Kč, nejméně pak 127 000 Kč a tím se E_A změní z 5,1 kWh/m².rok na 12,3 kWh/m².rok, tzn. díky

investici 321 000 Kč zmenšíme E_A o 7,2 kWh/m².rok a to pro náš model znamená úsporu 5760,- za rok, tedy vyjádřeno **návratností: 55 let!**

Var. 2: Nejvíce zateplená konstrukce si vyžádá investici 770 000 Kč, nejméně pak 217 000 Kč a tím se E_A změní z 18 kWh/m².rok na 8,9 kWh/m².rok, tzn. díky investici 553 000 Kč zmenšíme E_A o 9,1 kWh/m².rok a to pro náš model znamená úsporu 7280,- za rok, tedy vyjádřeno **návratností: neuvěřitelných 76 let!**

Když bychom dále uvažovali investici do zateplení z doporučených hodnot, viz tab. 8.1, na 0,3 m izolace obvodové i střešní a 0,2 m izolace do podlahy, tak nás tato investice vyjde na 246 000 Kč pro var. 1 a 427 000 Kč pro var. 2, zatímco potřeba tepla na vytápění za rok by se snížila o 5327 kWh pro var. 1 a o 4155 kWh pro var. 2., tedy výsledná úspora by pro var. 1 byla 20 000 Kč a pro var. 2 15 600 Kč. Vyjádřeno návratností 12 let pro var. 1 a výrazných 27 let pro var. 2. Tento text doplňuje tab. 8.2.

Tab. 8-1 Tloušťky izolací k dosažení budovy s doporučenými hodnotami U_N

	s_{izol} [m]	Var.
Obvodové zdivo	0,02	1
	0,04	2
podlaha	0,07	obě
střecha	0,24	obě

Tab. 8-2 Shrnující tabulka porovnávající investici a návratnost

Var.	Investice			Úspora [Kč/rok]	Návratnost [roky]
	typ	s_{izol} [m]	Cena [Kč]		
1	SK		90 000	7 600	12
	TČ + tloušťka izolace (obvodové zdivo i střecha)	0,15-obvod 0,25-střecha	327 000	17 000	19,2
		0,3	446 000	20 000	22,3
		0,5	648 000	22 200	29,2
2	SK		90 000	7 600	12
	TČ + tloušťka izolace (obvodové zdivo i střecha)	0,15-obvod 0,25-střecha	417 000	12 600	33,1
		0,3	627 000	15 600	40,2
		0,5	970 000	18 000	53,9

9. ZÁVĚR

Práce měla za cíl znázornit návrh stavby, která by splňovala podmínky pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie, a zejména upozornit na úskalí s tím spojená. V dnešní době, kdy jsou výrazně rozvířena témata okolo energetické šetrnosti a náročnosti budov, je jistě potřeba věnovat těmto tématům pozornost. Nulová budova je poměrně radikální řešení, které by mělo tento problém vyřešit, ale i tato práce naráží na základní rozpor, a to: investice x následná úspora, potažmo návratnost investice. Z celkového hlediska lze objektivně tvrdit, že var. 1 vyšla o poznání lépe než var. 2, což je způsobeno cenovou dostupností a vnitřní tepelnou kapacitou konstrukce. Částky v Kč je třeba brát pouze orientačně, to samé platí např. i pro účinnost TČ. Také bylo zjištěno, že nemá smysl zateplovat nad určitou tloušťku, jelikož návratnost takového počínu se může pohybovat i nad 70 let. Sám jsem zvědav na vývoj v této oblasti, zejména směrnici Evropského parlamentu z kap. 2.3. Už teď je jasné, že budou muset nastat úpravy, neboť termíny jsou moc brzké a tedy vzdálené reálné situaci.

10. LITERATURA

- [1] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Český normalizační institut. 2011.
- [2] ČSN EN ISO 13790: Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby na vytápění a chlazení. Český normalizační institut. 2009.
- [3] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov.
- [4] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.

11. PŘÍLOHY

Příloha 1 Skladba obvodových stěn

názvy	s omítky 1	λ o1	s cihly	λ cihly	s izolace	λ izolace	s om2	λ om.2	R cihly	R izolace	Rom1	Rom2	U	celk. šíře
POROTHERM 44 N P+D- P10+Isover EPS GreyWall Plus STĚNA	0,015	0,88	0,44	0,148	0,15	0,03	0,015	0,1	2,97	5,00	0,017	0,15	0,120	0,62
					0,2				2,97	6,67	0,017	0,15	0,100	0,67
					0,3				2,97	10,00	0,017	0,15	0,075	0,77
					0,4				2,97	13,33	0,017	0,15	0,060	0,87
					0,5				2,97	16,67	0,017	0,15	0,050	0,97
s SDK	λ s	s ovčí vlna	λ o.v.	s OSB	λ OSB	s izol	λ izol	s dř-vl-d	λ dvd	s om	λ om			
dřevo+Hofatex TopTherm	0,0125	0,22	0,05	0,04	0,018	0,13	0,039	0,1	0,046	0,005	0,12	0,130	0,4855	
												0,2		0,112
												0,3		0,087
												0,4		0,071
												0,5		0,060

Příloha 2 Skladba podlahy, OV a střechy

PODLAHA	S	obvod	B' (m)	s	λ	s	λ	s	λ	izolace		s	λ	beton		$\Sigma R(\text{jen izol})$	λ zeminy	w	dt	U	
	80	36	4,444	0,005	0,065	0,04	0,8	0,0007	0,2	s	λ	s	λ	s	λ	5,431	2	0,770	11,631	0,146	cihla
OKNA	výška	délka	rám	Uskla	U rámu	I okna	ψ okna	S skla	S rámu	U okna											
	1,5	1	0,08	0,5	1	4,36	0,08	1,126	0,374	0,857											
DVEŘE	U = 0,857																				
cihla i dřevo(ač jiná konstrukce) STŘECHA	s izolace	λ	Rsi	Rse	U	s strop	λ														
	0,25				0,155																
	0,3				0,130																
	0,35				0,112																
	0,4	0,04	0,1	0,04	0,098	0,05	1,1														
0,5				0,079																	

Příloha 3 Výpočet tepelné ztráty prostupem

objem prostoru:	480	<i>(vše v zákl. jednotkách)</i>		orientace oken:		obvodové stěny bez OV	
plocha okna:	1,5			počet	plocha	orientace	A_c [m ²]
počet oken:	7	.. ΔU_{tb} : 0,2	J	2	3	S	44,7
plocha dveří:(sever)	1,8 (2x0,9)		S	1	1,5	J	45
počet dveří:	1		V	2	3	V	57
plocha OV:	12,3		Z	2	3	Z	57
plocha pláště bez OV:	363,7		suma				203,7
plocha podlahy:	80	plocha podlahy včetně stěn-cihla:		110,1			
plocha střechy:	80	plocha podlahy včetně stěn-dřevo:		98,4			
plocha stěn:	216	plocha stěn bez OV:		203,7			
$H_{t,ie}$ (součinitel tepelné ztráty z vytapěného prostoru ven)	cihla	dřevo					
	37,5	39,5					
	33,4	35,7					
	28,3	30,7					
	25,2	27,5					
H_t střecha (cihla i dřevo)	28,4						
	26,4						
	25,0						
	23,9						
$H_{t,ig}$ (zemina)	22,3						
	5,9	fg1	fg2	Ak	Uequiv,k	Gw	
	1,45	0,5125	80	0,1	1		
ΣH ϕT (W)	cihla	dřevo					
	58,1	60,5					
	1859,5	1935,4					

Příloha 4 Přehled vypočtených hodnot I.

pro cihlu:	počet dnů	počet hodin	střední teplota	T ohřátého venk. vzduchu	H _T	H _V	teplo přenesené prostupem			teplo přenesené větráním			Celk.přeneseného tepla	Vnitřní zisky
							[J]	[MJ]	[kWh]	[J]	[MJ]	[kWh]		
Leden	31	744	-1,3	17,9	58,1	80,8	3E+09	3315	921	5E+08	461	128	1049	476
Únor	28	672	-0,1	18,0			3E+09	2826	785	4E+08	393	109	894	430
Březen	31	744	3,7	18,4			3E+09	2537	705	4E+08	353	98	803	476
Duben	30	720	8,1	18,8			2E+09	1792	498	2E+08	249	69	567	461
Květen	31	744	13,3	19,3			1E+09	1043	290	1E+08	145	40	330	476
Červen	30	720	16,1	19,6			6E+08	587	163	8E+07	82	23	186	461
Červenec	31	744	18	19,8			3E+08	311	86	4E+07	43	12	98	476
Srpen	31	744	17,9	19,8			3E+08	327	91	5E+07	45	13	103	476
Září	30	720	13,5	19,4			1E+09	979	272	1E+08	136	38	310	461
Říjen	31	744	8,3	18,8			2E+09	1821	506	3E+08	253	70	576	476
Listopad	30	720	3,2	18,3			3E+09	2530	703	4E+08	352	98	801	461
Prosinec	31	744	0,5	18,1			3E+09	3035	843	4E+08	422	117	960	476

Příloha 5 Přehled vypočtených hodnot II.

pro cihlu:	Tepelný tok solárních zisků Q_{sol} Průsvitné konstrukce				Tepelný tok solárních zisků Q_{sol} Neprůsvitné konstrukce								solární zisky	tep. zisky	bil. poměr pro režim vytápění γ_H	Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	cihla $Q_{H,nd}$	dřevo $Q_{H,nd}$
	[kWh]				obvodové zdivo				střecha									
měsíc	S	J	V	Z	S	J	V	Z	S	J	V	Z	[kWh]	[kWh]	[-]	[-]	[kWh]	[kWh]
Leden	5	40	17	17	1	3	1	1	0	2	1	1	89,2	565,4	0,5	1,00	484,6	569,9
Únor	8	61	31	31	1	4	3	3	1	3	2	2	148,2	578,2	0,6	0,99	320,1	418,2
Březen	15	88	56	56	2	6	5	5	2	5	3	3	244,7	720,8	0,9	0,94	125,0	265,3
Duben	21	102	88	88	3	7	8	8	2	5	5	5	342,0	802,8	1,4	0,70	7,8	95,9
Květen	29	104	104	104	4	7	9	9	3	5	5	5	388,2	864,4	2,6	0,38	0,0	16,7
Červen	31	90	107	107	4	6	9	9	3	5	6	6	383,9	844,7	4,5	0,22	0,0	2,6
Červenec	30	93	100	100	4	6	9	9	3	5	5	5	369,5	845,7	8,6	0,12	0,0	0,3
Srpen	25	114	95	95	3	8	8	8	3	6	5	5	376,1	852,2	8,2	0,12	0,0	0,3
Září	17	93	63	63	2	6	5	5	2	5	3	3	269,2	730,0	2,4	0,42	0,1	19,8
Říjen	11	88	46	46	2	6	4	4	1	5	2	2	218,5	694,7	1,2	0,80	22,1	127,4
Listopad	5	54	21	21	1	4	2	2	1	3	1	1	115,5	576,3	0,7	0,98	233,3	339,6
Prosinec	4	35	13	13	0	2	1	1	0	2	1	1	73,0	549,1	0,6	1,00	412,8	499,4
													3018			SUMA:	1605,8	2355,3

Příloha 6 Přehled vypočtených hodnot III.

		teplo přenesené prostupem	$Q_T +$ Q_V	Tepelný tok solárních zisků-neprůsvitnou [kWh]					sol. zisky	tep. zisky	$Q_{H,nd}$
pro dřevo:	H_T	[kWh]	[kWh]	S	J	V	Z	Σ střecha			[kWh]
Leden	60,5	958	1087	1	3	2	3	4	92	568	569,9
Únor		817	926	1	5	3	6	7	153	583	418,2
Březen		733	831	2	7	6	12	12	254	730	265,3
Duben		518	587	3	8	9	18	17	356	816	95,9
Květen		301	342	5	8	10	22	19	404	880	16,7
Červen		170	193	5	7	11	22	19	400	861	2,6
Červenec		90	102	5	7	10	21	19	385	861	0,3
Srpen		94	107	4	9	9	20	19	391	867	0,3
Září		283	321	3	7	6	13	13	279	740	19,8
Říjen		526	597	2	7	5	10	11	226	702	127,4
Listopad		732	829	1	4	2	4	6	119	580	339,6
Prosinec		877	995	1	3	1	3	4	75	551	499,4

Příloha 7 PENB

U _{em}	střecha					
	dřevo	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
obvod	0,15	0,18	0,15	0,15	0,15	0,15
	0,20	0,17	0,14	0,14	0,14	0,14
	0,30	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
	0,40	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12
	0,50	0,15	0,11	0,11	0,11	0,11

CI	střecha					
	dřevo	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
obvod	0,15	0,69	0,57	0,57	0,57	0,57
	0,20	0,65	0,53	0,53	0,53	0,53
	0,30	0,60	0,48	0,48	0,48	0,48
	0,40	0,57	0,45	0,45	0,45	0,45
	0,50	0,55	0,42	0,42	0,42	0,42

PENB	střecha					
	dřevo	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
obvod	0,15	B	B	B	B	B
	0,20	B	B	B	B	B
	0,30	B	B	B	B	B
	0,40	B	B	B	B	B
	0,50	B	B	B	B	A

U _{em}	střecha					
	cihla	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
obvod	0,15	0,18	0,14	0,14	0,14	0,14
	0,20	0,17	0,13	0,13	0,13	0,13
	0,30	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12
	0,40	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11
	0,50	0,14	0,11	0,11	0,11	0,11

CI	střecha					
	cihla	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
obvod	0,15	0,67	0,54	0,54	0,54	0,54
	0,20	0,63	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,30	0,58	0,45	0,45	0,45	0,45
	0,40	0,55	0,42	0,42	0,42	0,42
	0,50	0,52	0,40	0,40	0,40	0,40

PENB	střecha					
	cihla	0,25	0,30	0,35	0,40	0,50
obvod	0,15	B	B	B	B	B
	0,20	B	B	B	B	B
	0,30	B	B	B	B	B
	0,40	B	B	B	A	A
	0,50	B	B	A	A	A

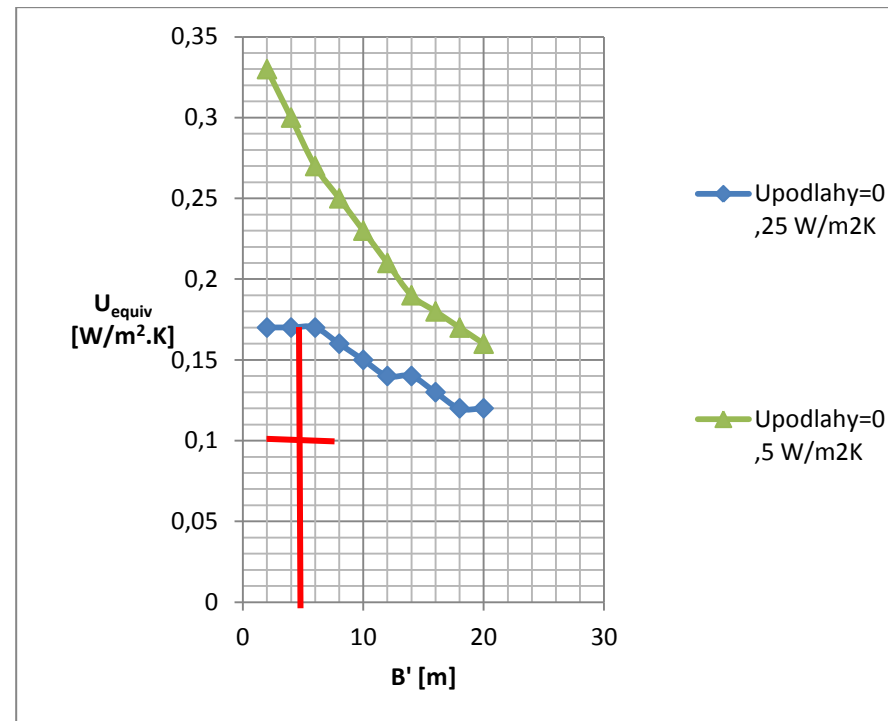
Příloha 8 Cenový přehled obvodových stěn

	cena za m ²		celková cena								Doporučené hodnoty "U" dle ^[1]	
Var. 1			izolace 150	izolace 200	300	400	500					30
			U: 0,12	U: 0,1	U: 0,075	U: 0,06	U: 0,05					0,25
			kWh: 14,3	kWh: 11,5	kWh: 8,2	kWh: 6,3	kWh: 5,1					36
	s DPH	bez DPH	s DPH									
porotherm isover tloušťka 1 mm	860	688	175182									
	3,375	2,7	103123	137498	206246	274995	343744	20625				
PLUS HRANY -0,5% -zanedbám			278305	312680	381428	450177	518926	195807				
		rozdíl od standartu	82499	116873	185622	254370	323119					
Var. 2												
SDK desky	60	48	s DPH									
ovčí vlna	138	110		25 %								
OSB 18 mm	188	150										
izolace	různé	různé	150	995	200mm 1241	300mm 1862	400 2483	500 3104	40 249			
skelet	různé	různé	150	150	188	234	293	366	50			
dřevovlák.desky100 mm	641	513	suma/m ²	2171	2455	3123	3802	4496	1325			
mezisoučet	1026	821	U=0,126	U=0,11	U=0,087	U=0,07	U=0,06	U=0,20				
			kWh:	kWh:	kWh:	kWh:	kWh:	kWh:	kWh:			
			celk.cena	442206	celk.cena	500126	636119	774496	915860	269883		
		rozdíl od standartu	172323	230243	366236	504613	645977					

Příloha 9 Cenový přehled pro podlahu přilehlou k zemině a střechu

PODLAHA					
cena za m ²	PVC	300			
	CP	200			
	A400H	60			
	PP	2	(tloušťka 1mm)		
	proti vlhku	70			
	beton	1,8	(tloušťka 1mm)		
STANDART	73120				
0,2 m izolace	93920				
rozdíl	20800				
STŘECHA					
cena za m ²	Isover EPS 200S				
	izolace	4	(mm tloušťky)		
STANDART	76800				
izolace	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
cena	80000	96000	112000	128000	160000
rozdíl	3200	19200	35200	51200	83200

Příloha 10 Grafické přibližné určení U_{equiv}



Pozn. : Standart = Doporučené hodnoty "U" dle¹¹⁾