

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

---

**VLIV VELIKOSTI OKEN NA  
TEPELNÉ ZTRÁTY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

ARTUR ZAKHAROV

5-BS-2023

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Zakharov** Jméno: **Artur** Osobní číslo: **483366**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Strojírenství**  
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Vliv velikosti oken na tepelné ztráty**

Název bakalářské práce anglicky:

**Influence of Window Size on Heat Losses**

Pokyny pro vypracování:

Porovnejte vliv velikosti výplňových otvorů pro zadaný typizovaný objekt na velikost tepelných ztrát pro různé požadavky ČSN 73 0540 v daných obdobích. Výstupy diskutujte a prezentujte vhodnou grafickou podobou. Tepelné ztráty počítejte pro etalon jednotnou metodikou podle ČSN 06 0210 pro všechna posuzovaná období. Porovnejte proměnnost tepelných ztrát u prvorepublikového objektu s měnícími se tepelně-technickými požadavky na stavební konstrukce v čase podle ČSN 06 0210 a ČSN EN 12 831.

Seznam doporučené literatury:

Bašta, J.: Velkoprošné sálavé vytápění. Grada Publishing, a.s., Praha 2010, 128 s., ISBN 978-80-247-3524-5.  
Bašta, J.: Regulace v technice prostředí staveb. Česká technika, nakladatelství ČVUT, Praha 2014, 194 s., ISBN 978-80-01-05455-0  
Bašta, J.: Otopné plochy, otopná tělesa. Praha: Ediční středisko ČVUT, 2016. ? 204 s., ISBN 978-80-01-05943-2.  
Bašta, J., Kabele, K.: Otopné soustavy teplovodní, sešit projektanta. Třetí přepracované vydání. STP 2008, ISBN 978-80-02-02064-6, 96 s.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D. ústav techniky prostředí FS**

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

\_\_\_\_\_

Datum zadání bakalářské práce: **20.03.2023** Termín odevzdání bakalářské práce: **14.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, 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

## SOUHRN

Tato bakalářská práce se zabývá studiem vlivu velikosti oken na tepelné ztráty objektu. Kromě toho je provedena analýza změn tepelných ztrát objektů s měnícími se tepelně-technickými vlastnostmi. Praktická část se také dotkne tématu provedení opatření ke snížení součinitelů prostupu tepla stávajícího objektu a ekonomického hodnocení provedených opatření.

Pro výpočty a analýzy budou použity 2 typy budov. Výsledky se zobrazí v tabulkách a graficky.

## SUMMARY

This bachelor thesis deals with the study of the effect of window size on the heat loss of a building. In addition, an analysis of the changes in heat loss of buildings with changing thermal properties has been carried out. The practical part also touches upon the topic of implementing measures to reduce the heat transfer coefficients of the existing building and the economic evaluation of the implemented measures. Two building types were used for the calculations and analyses. The results were displayed in the form of tables and graphs.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Vliv velikosti oken na tepelné ztráty“ vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jiřího Bašty, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 14. 6. 2023

Artur Zakharov

Poděkování.

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Jiřímu Baštovi, Ph.D. za pomoc a důležité rady, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce.

## Obsah:

1. Úvod .....	4
2. Tepelná ztráta .....	5
2.1. Tepelná ztráta prostupem tepla .....	5
2.1.1. Součinitel prostupu tepla .....	5
2.2. Tepelná ztráta větráním .....	7
3. Výpočet tepelných ztrát objektů .....	7
3.1. Výpočet tepelné ztráty podle ČSN 06 0210 .....	9
3.2. Výpočet tepelné ztráty podle ČSN EN 12 831-1 .....	12
4. Potřeba tepla na vytápění .....	14
5. Vliv velikosti oken na tepelné ztráty .....	15
5.1. Typizovaný objekt .....	15
5.2. Výpočet tepelných ztrát: .....	17
6. Prvorepublikový objekt .....	23
6.1. Skladba konstrukce .....	24
6.2. Porovnání tepelně-technických vlastností .....	25
6.3. Rekonstrukce na požadované hodnoty .....	26
6.4. Rekonstrukce na doporučené hodnoty .....	30
6.5. Hodnocení provedených opatření .....	31
6.5.1. Výpočet tepelných ztrát .....	31
6.5.2. Potřeba tepla na vytápění a roční náklady na vytápění .....	34
6.5.3. Kalkulace investičních nákladů a návratnosti rekonstrukce .....	35
6.6. Vliv vlastnosti oken na tepelné ztráty .....	37
7. Závěr .....	39
Použitá literatura .....	40
Seznam obrázků .....	41
Zdroje obrázků .....	42
Seznam tabulek .....	43
Seznam příloh .....	44
Seznam výkresové dokumentace .....	45

**Soupis použitého označení**

$A_k$  plocha stavební části [m<sup>2</sup>]

$B$  charakteristické číslo budovy [Pa<sup>0,67</sup>]

$B'$  geometrický parametr podlahové desky [m]

$H_T$  měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru [W/K]

$H_{T,ie}$  tepelný tok přímo do venkovního prostředí [W/K]

$H_{T,ia}$  tepelný tok do sousedních vytápěných prostor [W/K]

$H_{T,iae}$  tepelný tok do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory [W/K]

$H_{T,iaBE}$  tepelný tok do sousedních částí budovy [W/K]

$H_{T,ig}$  tepelný tok do zeminy [W/K]

$P$  délka obvodové stěny oddělující vytápěnou budovu od venkovního prostředí [m]

$Q_p$  tepelná ztráta prostupem tepla dle ČSN 06 0210 [W]

$Q_v$  tepelná ztráta větráním dle ČSN 06 0210 [W]

$Q_z$  trvalý tepelný zisk dle ČSN 06 0210 [W]

$Q_0$  základní tepelná ztráta dle ČSN 06 0210 [W]

$R$  tepelný odpor při přestupu tepla [m<sup>2</sup>.K/W]

$R_f$  tepelný odpor všech izolačních vrstev [m<sup>2</sup>.K/W]

$U_c$  celková hodnota součinitele prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]

$U_k$  součinitel prostupu tepla stavební části [W/m<sup>2</sup>.K]

$U_w$  součinitel prostupu tepla výplňových otvorů [W/m<sup>2</sup>.K]

$U_{N20}$  požadovaný součinitel prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]

$U_{rec\ 20}$  doporučený součinitel prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>.K]

$U_{equiv,k}$  ekvivalentní součinitel prostupu tepla části v kontaktu se zeminou [W/m<sup>2</sup>.K]

$V_v$  je objemový průtok vetracího vzduchu dle ČSN 06 0210 [m<sup>3</sup>/s]

$V_m$  je vnitřní objem místnosti [m<sup>3</sup>]

$d$  délka otopného období [dny]

$d_t$  ekvivalentní tloušťka podlahy [m]

$e_i$  opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem [-]

$e_t$  opravná součinitel na snížení vnitřní teploty [-]

$e_d$  opravný součinitel na zkrácení doby provozu [-]

$f_{U,k}$  opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí [-]

$f_{ia(...),k}$  teplotní opravný činitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu a venkovní výpočtovou teplotou [-]

$f_{\theta ann}$  opravný činitel zohledňující vliv změny teploty v průběhu roku [-]

$f_{GW,k}$  opravný činitel zohledňující vliv spodní vody [-]

$i$  součinitel spárové provzdušnosti [ $m^3/m \cdot s \cdot Pa^{0,67}$ ]

$p_1$  přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn [-]

$p_2$  přírážka na urychlení zátoku [-]

$p_3$  přírážka na světovou stranu [-]

$t/\theta$  teplota [ $^{\circ}C$ ]

$\Phi_{HL,i}$  návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru [W]

$\Phi_{T,i}$  návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru [W]

$\Phi_{hu,i}$  volitelný dodatečný zátokový tepelný výkon vytápěného prostoru [W]

$\Phi_{gain,i}$  trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru [W]

$\Phi_d$  teoretická potřeba tepla na vytápění [ $J = W \cdot s$ ]

$s_i$  je tloušťka vrstvy materiálu [m]

$\alpha$  je součinitel přestupu tepla [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$\Delta U_{TB}$  přírážka vliv tepelných vazeb [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$\lambda_i$  součinitel tepelné vodivosti materiálu [ $W/m \cdot K$ ]

$\eta_k$  účinnost kotle [-]

$\eta_R$  účinnost rozvodu [-]

$\eta_O$  účinnost obsluhy [-]

### Indexy:

i/int	vnitřní
e/ext	venkovní
m	střední
sk/skut	skutečný
u	návrhový



## 1. Úvod

V rámci výstavby či rekonstrukcí bytových a soukromých domů, administrativních budov a dalších objektů, určených k dlouhodobému pobytu osob je zvláštní pozornost věnována návrhu otopné soustavy. Hlavním cílem otopné soustavy budov je zajistit tepelnou pohodu pro všechny obyvatele, a to i během nejtěžších klimatických podmínek.

Na pozadí rostoucích cen energií a vzniku ekologických programů zaměřených na snižování spotřeby paliva však v posledních letech vyvstává otázka, jak zajistit aby byl pohodlný pobyt lidí ve vytápěných místnostech méně zdrojově a finančně nákladný.

Kromě technického výzkumu v oblasti využití alternativních zdrojů energie pro vytápění a zvýšení účinnosti klasických zdrojů tepla, existují také technické postupy ke snižování potřeby tepla na vytápění ve fázi výstavby či rekonstrukce budov.

Tyto postupy mají zlepšit tepelně-technické vlastnosti budov, a tím snížit jejich tepelné ztráty. A v rámci těchto postupů se studuje možnost použití kvalitnějších stavebních materiálů z hlediska tepelné propustnosti a také materiálů, které mohou sloužit jako tepelná izolace pro zateplení již postavených budov.

Potřebu tepla na vytápění resp. tepelné ztráty budov je možné ovlivnit i volbou místa pro jejich výstavbu (když taková možnost existuje), dále i volbou optimální geometrie budovy a velikosti jejích stavebních konstrukcí a výplňových otvorů.

V první části své bakalářské práce na příkladu typizovaného modelu budovy provedu studii, jak velikost oken objektu ovlivňuje jeho tepelné ztráty.

V druhé části práce na příkladu prvorepublikové vily provedu její energetické posouzení a pak rekonstrukci, zaměřenou na snížení její potřeby tepla na vytápění, a na závěr zhodnotím ekonomickou proveditelnost mnou navržené rekonstrukce.

## 2. Tepelná ztráta

Výpočet tepelných ztrát je nutnou podmínkou pro návrh otopných soustav budov.

Na základě spočítaných tepelných ztrát jednotlivých místností se volí výkon otopných těles či dalších otopných ploch. Dále na základě tepelné ztráty celého objektu se navrhuje i výkon zdroje tepla, který zajišťuje provoz otopných těles.

Celková tepelná ztráta místnosti nebo objektu se rovná součtu tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním a může se zmenšit o trvalé tepelné zisky. Výpočet tepelné ztráty prostupem tepla nebo větráním se provádí za normalních venkových a vnitřních výpočtových teplot předepsaných normami ČSN 38 3350 a ČSN EN 12 831.

### 2.1. Tepelná ztráta prostupem tepla

Tepelná ztráta prostupem tepla je unikání tepla přes prvky stavební konstrukce v důsledku rozdílu teplot vnitřního a okolního prostředí. Prostup tepla se skládá z přestupu tepla (konvekce) na vnitřní a vnější straně stavebního prvku a vedení tepla (kondukce) skrz stavební prvek.

Pro výpočet tepelné ztráty prostupem tepla budovy a pro její energetické hodnocení je potřeba stanovit tepelně-technické vlastnosti stavebních konstrukcí a výplňových otvorů.

#### 2.1.1. Součinitel prostupu tepla

Fyzikální veličinou, zohledňující vliv konvekce jako vlastnosti vnitřního a okolního prostředí a kondukce jako materiálové vlastnosti stavební konstrukce, je součinitel prostupu tepla  $U$  [W/m<sup>2</sup>.K].

Ve skutečnosti tato fyzikální veličina vyjadřuje množství tepla, které prochází jedním metrem čtverečným plochy stavební konstrukce z prostředí o vyšší teplotě do prostředí o nižší teplotě při teplotním rozdílu 1K.

O něco později ve své práci popíšu a použiji několik metod pro výpočet celkových tepelných ztrát budov. Jedná se o tzv. „česke“ (ČSN 06 0210) a „evropské“ (ČSN EN 12 831-1) normě. V rámci těchto norem se také používají různé vztahy pro výpočet součinitelů prostupu tepla.

[1] Součinitel prostupu tepla stavebního prvku pro výpočet tepelných ztrát podle „české“ normy je obecně definován jako:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} \quad (1)$$

Kde  $\alpha_i$  je součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [W/K.m<sup>2</sup>]

$\alpha_e$  je součinitel přestupu tepla na vnější straně [W/K.m<sup>2</sup>]

$\lambda_i$  je součinitel tepelné vodivosti materiálu [W/K.m]

$s_i$  je tloušťka vrstvy materiálu [m]

[2] Hodnoty součinitelů přestupu tepla na vnitřní a vnější straně stavební konstrukce jsou předepsané normou ČSN 73 0540-3 viz Tab. 1

Tab. 1 Hodnoty součinitelů přestupu tepla

Povrch, poloha a druh stavební konstrukce		$\alpha_{ie}$ [W/m <sup>2</sup> .K]
Vnější	zimní období	23
Vnitřní, zimní období	svislá konstrukce	
	vodorovná konstrukce při tepelném toku	zdola-nahoru
		shora-dolů
		6

Pro výpočet tepelných ztrát podle „evropské“ normy použijeme vzorec pro součinitel prostupu tepla:

$$U = \frac{1}{R_{int} + \sum \frac{S_i}{\lambda_i} + R_{ext}} \quad (2)$$

Kde:

$R_{int}$  – tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně [m<sup>2</sup>.K/W]

$R_{ext}$  – tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně [m<sup>2</sup>.K/W]

Tab. 2 Hodnoty tepelných odporů při přestupu tepla

tepelný odpor při přestupu tepla [m <sup>2</sup> .K/W]	směr toku tepla		
	nahoru	vodorovně	dolů
$R_{int}$	0,1	0,13	0,17
$R_{ext}$	0,04	0,04	0,04

Tepelné odpory použité ve vztahu (2) jsou převrácené hodnoty součinitelů přestupu tepla ze vztahu (1), jsou však zaokrouhleny na setiny, což může mírně ovlivnit výsledné hodnoty součinitelů prostupu tepla ve kterých uvažujeme tisíce.

Přesto, že výpočet součinitelů prostupu tepla oběma výše uvedenými metodami dává téměř totožné hodnoty, pak pro výpočet tepelných ztrát podle české a evropské normy výpočítám součinitele prostupu tepla pro každou normu zvlášť.

## 2.2. Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním je množství tepla, které se odvádí spolu s přívodem čerstvého a odvodem znehodnoceného vzduchu přirozeným nebo nuceným způsobem. Výpočet tepelné ztráty trvalým přirozeným větráním se provádí na základě průvzdušnosti stavebních prvků budovy.

V případě nuceného větrání vycházíme z průtoku vzduchu zajištěného větracím systémem budovy. Nucené větrání se navrhuje na základě hygienických nebo technických požadavků na větrání. Požadavky na větrání objektu jsou dány buď intenzitou výměny vzduchu (intenzitou větrání)  $n_h$  [1/hod] nebo požadovaným průtokem vzduchu na osobu v závislosti na účelu místnosti.

V současné době má naprostá většina objektů novostavby nebo objektů, které prošly opravou či rekonstrukcí, plastová okna s téměř nulovou úrovní průvzdušnosti. Takže takovou tepelnou ztrátu infiltrací v rámcích výpočtů neuvažujeme.

V rámcích kroků ke snížení celkových tepelných ztrát objektů jsou i opatření ke snížení tepelných ztrát větráním, hlavním způsobem zpětným získáváním tepla (ZZT), ale tato bakalářská práce je zaměřena na výzkum stavebních konstrukcí a výplňových otvorů z hlediska jejich tepelné propustnosti, takže použití výměníků ZZT nebudou řešit.

Pro výpočet tepelných ztrát větráním budu používat pouze požadované normou ČSN EN 15 655/Z1 intenzity větrání místností v závislosti na jejich účelu.

## 3. Výpočet tepelných ztrát objektů

V této práci budou pro výpočet celkových tepelných ztrát použité dvě normy. Jedná se o normě ČSN 06 0210 „Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění“ a ČSN EN 12 831 „Tepelné soustavy v budovách-výpočet tepelného výkonu“.

Norma ČSN 06 0210 platila na území České republiky v letech 1994 až 2008. Po vstupu České republiky do Evropské unie musela být norma ČSN 06 0210 sloučena s evropskou normou EN 12831, v roce 2005 se tak objevila norma ČSN EN 12 831 (060206), která platila do roku 2018. V roce 2018 byla tato norma nahrazena normou ČSN EN 12 831-1, která je aktuální do dnes.

Důležitým rozdílem ve výše uvedených normách je přítomnost tepelných mostů v stavebních konstrukcích. Tepelný most je místo v stavební konstrukci, kde dochází k větším tepelným ztrátám prostupem. Tepelný most lze detekovat např. infračerveným snímáním povrchových teplot objektu viz Obr.1 a Obr.2



Obr. 1 Termogram obálky budovy [O1]

Na vnější straně konstrukce je povrchová teplota v místě tepelného mostu vždy vyšší než okolní povrchové teploty konstrukce.



Obr. 2 Termogram přechodu stěny so stropní konstrukce na vnitřní straně [O2]

Povrchová teplota v místě tepelného mostu na vnitřní straně konstrukce je naopak nižší než povrchové teploty zbytku konstrukce.

Na rozdíl od normy ČSN EN 12 831, ve které je vliv tepelných mostů částečně kompenzován přírážkami na vliv tepelných vazeb, norma ČSN 06 0210 nijak nereaguje na přítomnost tepelných mostů, které se často vyskytují v budovách splňujících pasivní nebo nízkoenergetické požadavky na součinitele prostupu tepla. V důsledku toho se očekává, že tepelné ztráty získané pomocí norem ČSN 06 0210 a ČSN EN 12 831-1 starších budov, které nesplňují energetické požadavky, budou srovnatelné a pouze v některých případech bude tepelná ztráta vypočítaná dle ČSN EN 12 831 o 10 až 40 % vyšší než tepelná ztráta získaná normou ČSN 06 0210. [3] a [4]

U budov splňujících pasivní nebo nízkoenergetický standart budou výsledky získané normou ČSN 06 0210 pravděpodobně zkreslené a nebudou vhodné pro další návrhy nebo analýzy.

### 3.1. Výpočet tepelné ztráty podle ČSN 06 0210

Tato norma popisuje výpočet celkové tepelné ztráty budov v stacionárních (kvazistacionárních) podmínkách při nepřerušovaném vytápění jako podklad pro návrh otopné soustavy budovy při ústředním vytápění. [4] a [5].

Celková tepelná ztráta  $Q_c$  [W] se rovná součtu tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním a může se zmenšit o tepelné zisky:

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \quad (3)$$

Kde  $Q_p$  je tepelná ztráta prostupem tepla [W]  
 $Q_v$  je tepelná ztráta větráním [W]  
 $Q_z$  je trvalý tepelný zisk [W]

Tepelná ztráta prostupem  $Q_p$  [W] se stanoví ze vztahu:

$$Q_p = Q_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \quad (4)$$

Kde

$Q_0$  je základní tepelná ztráta [W]  
 $p_1$  je přírážka na vyrovnání vlivu chladných stěn [-]  
 $p_2$  je přírážka na urychlení zátopu [-]  
 $p_3$  je přírážka na světovou stranu [-]

Základní tepelná ztráta prostupem vyjadřuje prostup tepla jednotlivými stavebními prvky, které ohraničují místnost od venkovního prostředí nebo od sousedních prostorů.

$$Q_0 = \sum_j^{j=n} U_j \cdot A_j \cdot (t_i - t_e) \quad (5)$$

Kde  $U_j$  je součinitel prostupu tepla [W/m<sup>2</sup>. K]  
 $A_j$  plocha [m<sup>2</sup>]

Přírážka  $p_1$  se stanovuje ze vztahu:

$$p_1 = 0,15 \cdot U_c \quad (6)$$

Kde  $U_c$  je celkový součinitel prostupu tepla všech konstrukcí obklopujících místnost, který se stanoví pomocí vztahu (7):

$$U_c = \frac{Q_0}{\sum A \cdot (t_i - t_e)} \quad (7)$$

Kde  $Q_0$  je základní tepelná ztráta místnosti [W]

$t_i$  je vnitřní výpočtová teplota [°C]

$t_e$  je venkovní výpočtová teplota [°C]

$A$  je celková plocha všech konstrukcí obklopujících místnost [m<sup>2</sup>]

Přirážka na urychlení zátopy  $p_2$  se používá pro objekty při přerušovaném vytápění.

Hodnotu přirážky na světovou stranu  $p_3$  určuje poloha nejvíce ochlazované části stavební konstrukce. U více ochlazovaných konstrukcí se bere v úvahu poloha jejich společného rohu. Při třech a více ochlazovaných konstrukcích volíme největší hodnotu přirážky. Hodnoty této přirážky jsou uvedeny v Tab.3.

Tab.3 Přirážka na světovou stranu

S.s	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
$p_3$	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Tepelná ztráta větráním  $Q_v$  [W] se stanoví jako:

$$Q_v = 1300 \cdot V_v \cdot (t_i - t_e) \quad (8)$$

Kde

$V_v$  je objemový průtok vetracího vzduchu [m<sup>3</sup>/s]

$t_{i/e}$  je vnitřní a vnější výpočtová teplota [°C]

Průtok vetracího vzduchu se stanoví jako:

$$V_v = \frac{n_h}{3600} \cdot V_m \quad (9)$$

Kde

$V_m$  je vnitřní objem místnosti [m<sup>3</sup>]

$n_h$  je intenzita výměny vzduchu za hodinu [1/h]

Při přirozeném větrání spárami oken či vchodových dveří se objemový tok vetracího vzduchu stanoví jako:

$$V_v = \Sigma(i \cdot L) \cdot (B + \Delta B) \cdot M \quad (10)$$

Kde

$\Sigma(i \cdot L)$  je součet provzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti [m<sup>3</sup>/s · Pa<sup>0,67</sup>]

$i$  je součinitel spárové provzdušnosti [m<sup>3</sup>/m · s · Pa<sup>0,67</sup>]

$L$  je délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří [m]

$B$  je charakteristické číslo budovy [Pa<sup>0,67</sup>]

$M$  je charakteristické číslo místnosti [-].

$\Delta B$  je zvětšení charakteristického čísla budovy pro výškové budovy [Pa<sup>0,67</sup>]

[6] Součinitel prostupu tepla podlahy ve styku s zeminou se vypočítává samostatným způsobem, vzorce použité v této práci pro výpočet součinitelů prostupu tepla jsou definovány níže:

Nejprve musíme spočítat geometrický parametr podlahové desky  $B'$  [m] dle vztahu:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad (11)$$

Kde

$A$  je plocha podlahy místnosti přiléhající k fasádní stěně [m<sup>2</sup>]

$P$  je celková délka fasádní stěny oddělující vytápěnou místnost od venkovního prostředí [m]

Dále je nutné určit celkovou ekvivalentní tloušťku podlahy  $d_t$  [m], která je definovaná jako:

$$d_t = s + \lambda z \cdot (R_{si} + R_f + R_{sc}) \quad (12)$$

Kde

$s$  je celková tloušťka fasádní stěny [m]

$R_f$  je tepelný odpor podlahy [m<sup>2</sup>.K/W]

$\lambda z$  je tepelná vodivost zeminy [W/m.K]

Pro výpočet součinitele prostupu tepla podlahy  $U_{podl}$  [W/m<sup>2</sup>.K] se použije buď vztah (13) nebo (14).

Pokud  $d_t < B'$ :

$$U_{podl} = \frac{2 \cdot \lambda z}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad (13)$$

Pokud  $d_t \geq B'$ :

$$U_{podl} = \frac{\lambda z}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad (14)$$



### 3.2. Výpočet tepelné ztráty podle ČSN EN 12 831-1

Tato norma popisuje výpočet návrhového tepelného výkonu vytápěného objektu pro podmínky stacionárního resp. kvazistacionárního stavu.

[7] Celkový návrhový tepelný výkon prostoru (i) nebo budovy nebo funkční části budovy:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{hu,i} - \Phi_{gain,i} \quad (15)$$

Kde:

- $\Phi_{HL,i}$  návrhový tepelný výkon vytápěného prostoru [W]
- $\Phi_{T,i}$  návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru [W]
- $\Phi_{hu,i}$  volitelný dodatečný zátopový tepelný výkon vytápěného prostoru [W]
- $\Phi_{gain,i}$  trvalé tepelné zisky ve vytápěném prostoru [W]

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (16)$$

Kde:

- $H_T$  měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru [W/K]
- $H_{T,ie}$  tepelný tok přímo do venkovního prostředí [W/K]
- $H_{T,ia}$  tepelný tok do sousedních vytápěných prostor [W/K]
- $H_{T,iae}$  tepelný tok do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory [W/K]
- $H_{T,iaBE}$  tepelný tok do sousedních částí budovy, které jsou považovány za nevytápěné nebo vytápěné na jinou teplotu [W/K]
- $H_{T,ig}$  tepelný tok do zeminy [W/K]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí:

$$H_{T,ia} = \sum_k [A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] \quad (17)$$

Kde:

- $A_k$  plocha stavební části [m<sup>2</sup>]
- $U_k$  součinitel prostupu tepla stavební části [W/m<sup>2</sup>.K]
- $\Delta U_{TB}$  přírážka na vliv tepelných vazeb [W/m<sup>2</sup>.K]
- $f_{U,k}$  opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných  $U$ -hodnot (pro ČR uvažujeme=1)[-]
- $f_{ie,k}$  teplotní opravný činitel (uvažujeme=1) [-]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do nebo přes nevytápěné prostory:

$$H_{T,ia(\dots),k} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia(\dots),k}) \quad (18)$$

Kde:

$f_{ia(\dots),k}$  teplotní opravný činitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru nebo vytápěného na jinou teplotu a venkovní výpočtovou teplotou. Tento opravný činitel se počítá jako:

$$f_{ia(\dots),k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia(\dots)}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (19)$$

Kde:

$\theta_{ia(\dots)}$  teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor (nevytápěných nebo vytápěných na jinou teplotu) [°C]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy:

$$H_{T,g} = f_{\theta ann} \cdot \sum (A_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) \quad (20)$$

Kde:

$U_{equiv,k}$  ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou [W/m<sup>2</sup>.K]

$A_k$  plocha stavební části (k), která je v přímém kontaktu se zeminou [m<sup>2</sup>]

$f_{\theta ann}$  opravný činitel zohledňující vliv změny teploty v průběhu roku [-]

$f_{GW,k}$  opravný činitel zohledňující vliv spodní vody [-]

$f_{GW,k} = 1$ , pokud je hladina spodní vody více než 1 m pod úrovní základové desky

$f_{GW,k} = 1,15$ , pokud je vzdálenost mezi hladinou spodní vody a základovou deskou  $\leq 1$  m [-]

$f_{ig,k}$  teplotní opravný činitel [-]

$$f_{ig,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{e,m}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (21)$$

Kde

$\theta_{e,m}$  průměrná venkovní teplota za otopné období [°C]

**Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zemínou:**

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_T)^{n_3}} + d \quad (22)$$

Tab. 4 Pomocné parametry pro výpočet  $U(equiv,k)$ 

	a	b	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	d
Podlaha	0,9671	-7,455	10,7 6	9,77 3	0,026 5	0,553 2	0,6027	-0,9296	- 0,0203
Stěna sklepa	0,9332 8	-2,1252	0 <sup>a</sup>	1,46 6	0,100 6	0 <sup>a</sup>	0,4532 5	-1,0068	- 0,0692

**4. Potřeba tepla na vytápění**

Potřeba tepla na vytápění je množství tepelné energie, kterou je nutné dodat do budovy tak, aby uvnitř ní byla zajištěna tepelná pohoda resp. aby byly dosaženy požadované teploty.

Rozlišuje se teoretická a skutečná potřeba tepla na vytápění. V rámci výpočtu teoretické potřeby tepla na vytápění vycházíme z průměrné venkovní teploty za otopné období  $\theta_{e,m}$  [°C], délky otopného období  $d$  [dní] a návrhového tepelného výkonu budovy  $\Phi_{HL}$  [W] viz vztah (23).

[8] Teoretická potřeba tepla na vytápění  $\Phi_d$  [J = W · s] :

$$\Phi_d = 24 \cdot 3600 \cdot \Phi_{HL} \cdot \frac{d \cdot (\theta_{int,i,m} - \theta_{e,m})}{(\theta_{int,i,m} - \theta_e)} \cdot e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad (23)$$

Kde :

- $e_i$  opravný součinitel na nesoučasnost tepelné ztráty větráním a prostupem [-]
- $e_t$  opravný součinitel na snížení vnitřní teploty [-]
- $e_d$  opravný součinitel na zkrácení doby provozu [-]
- $\theta_{int,i,m}$  průměrná vnitřní teplota objektu [°C]

Teoretická potřeba tepla však nereprezentuje jak vlastnosti zdroje tepla, tak vlastnosti otopné soustavy objektu, a proto je vždy nižší než skutečná potřeba tepla na vytápění  $\Phi_{d,skut}$  [J] (viz vztah (24)), kterou je nutné spočítat pro přesnější ekonomické hodnocení optření ke zlepšení tepelně-technických vlastností objektů.

$$\Phi_{d,skut} = \frac{\Phi_d}{\eta_k \cdot \eta_R \cdot \eta_O} \quad (24)$$

Kde

$\eta_k$  účinnost kotle [-]

$\eta_R$  účinnost rozvodu [-]

$\eta_O$  účinnost obsluhy [-]

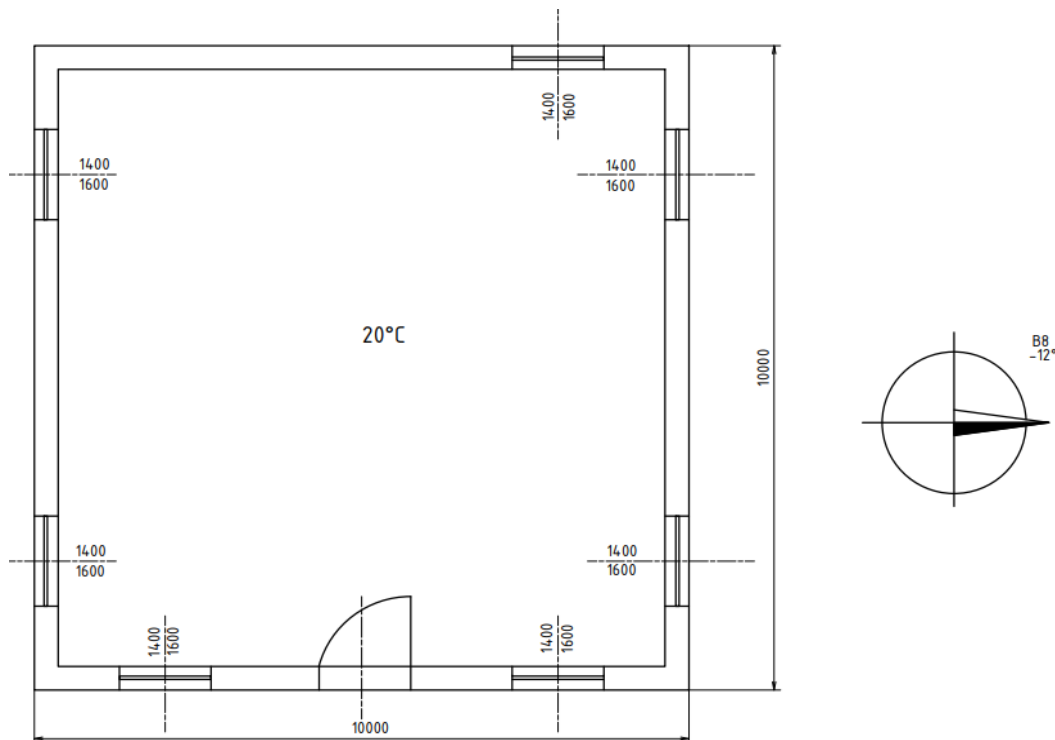
## 5. Vliv velikosti oken na tepelné ztráty

V této části prozkoumám vliv velikosti oken na tepelnou ztrátu prostupem tepla a celkovou tepelnou ztrátu objektu. U vybraného objektu budu postupně zvětšovat plochu oken při zachování jak tepelně-technických vlastostí oken, tak tepelně-technických vlastostí ostatních stavebních konstrukcí a výplňových otvorů.

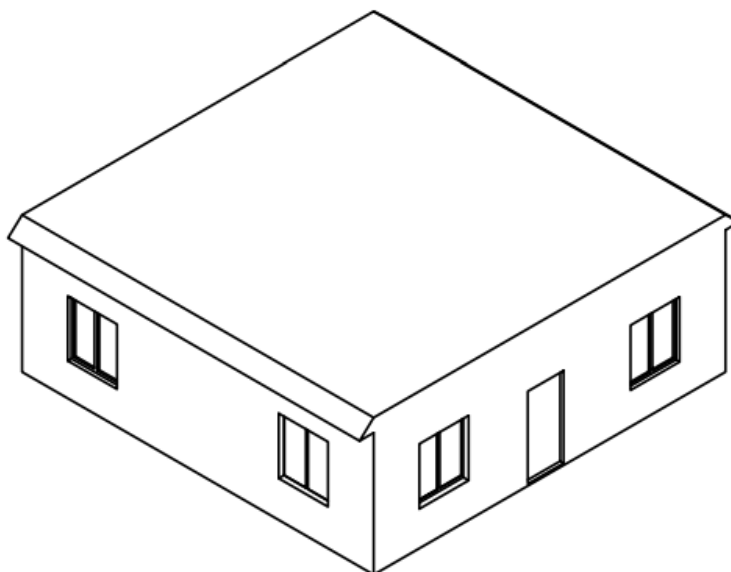
Celkově zvětším plochu zasklení o 50 procent původní plochy. Vypočítám tepelné ztráty pro počáteční plochu zasklení a následně postupně dopočítám tepelné ztráty s nárůstem plochy zasklení o 10 procent.

### 5.1. Typizovaný objekt

Jako model budovy pro výzkum vlivu velikosti oken na tepelné ztráty jsem vymyslel budovu čtvercového půdorysu 10x10x3,5 m viz *Obr. 3* a *Obr. 4*.



*Obr. 3 Ideální model budovy-půdorys*



Obr. 4 ideální model budovy

Budova má plochou střechu bez podkroví, podlahu ve styku se zeminou. Po obvodu fasádních stěn je sedm stejných oken o velikosti 1,6x1,4 m a jedny dveře o velikosti 2x0,9 m. Vzhledem k výzkumu vlivu velikosti oken na tepelnou ztrátu budova nebude rozdělena na místnosti a výpočet tepelné ztráty budu provádět „obálkovou“ metodou pomocí normy ČSN 06 0210 .

Tepelně-technické vlastosti této budovy odpovídají požadavkům na součinitele prostupu tepla stanovené normou ČSN 73 0540-2 , a proto tuto vynalezenou pro výpočet tepelných ztrát budovu dále budu nazývat „ideálním modelem budovy“.

Pro výpočet tepelné ztráty větráním použiji intenzitu výměny vzduchu  $n_h = 0,5 \left[ \frac{1}{\text{hod}} \right]$ .

Pro analýzu provedu výpočet nejen pro aktuálně požadované součinitele prostupu tepla z roku 2011, ale i výpočet pro 4 předchozí změny v normě ČSN 73 0540-2, jejich vývoj je uveden v tab. 5 .

Tab. 5 Vývoj požadovaných součinitelů prostupu tepla [9]

ROK	1994	2002	2005	2007	2011
$U_{pož} [W/m^2.K]$ oken	2,9	1,8	1,7	1,7	1,5
$U_{pož} [W/m^2.K]$ dveře	2,9	1,8	1,7	1,7	1,5
$U_{pož} [W/m^2.K]$ stěn	0,461	0,38	0,38	0,38	0,3
$U_{pož} [W/m^2.K]$ podlahy	1,033	0,6	0,6	0,45	0,45
$U_{pož} [W/m^2.K]$ stropu	0,316	0,3	0,3	0,3	0,3

## 5.2. Výpočet tepelných ztrát:

Na základě normy ČSN 06 0210 definované v odstavci 3.1 jsem vypočítal tepelné ztráty pro všechny výše uvedené případy. Vzorový výpočet s použitím požadovaných součinitelů prostupu tepla z roku 1994 a s počáteční plochou zasklení je uveden v tab.6 (zbýtek výpočtů viz příloha [P1]).

Výsledky všech výpočtů viz *Tab. 7 až Tab. 11*

Tab. 6 Výpočet tepelné ztráty pro ideální model budovy dle požadavků od roku 1994

stavební prvek	plocha [m <sup>2</sup> ]	celková plocha otvorů [m <sup>2</sup> ] <i>prostup do venkovního prostředí</i>	plocha bez otvorů [m <sup>2</sup> ]	U [W/m <sup>2</sup> ·K]	Δt [°C]	Q <sub>e</sub> [W]	U <sub>c</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	p1	p2	p3	(1+p1+p2+p3)	Q <sub>p</sub> [W]	Q <sub>c</sub> [W]
Stěna	140	-	122,52	0,46	32	1803							
Okno	-	15,68	-	2,9	32	1455							
Dveře	-	1,8	-	2,9	32	167	0,551	0,083	0	0,1	1,183	7095	9117
Podlaha	100	-	-	1,033	15	1550							
Strop	100	-	-	0,320	32	1024							
ΣA [m <sup>2</sup> ]	340	-	-		ΣQ <sub>eo</sub> [W]	5999							
V <sub>ni</sub> [m <sup>3</sup> ]	350	32			n <sub>h</sub> [1/hod]	0,5							
					V <sub>vh</sub> [m <sup>3</sup> /s]	0,048611111							
							Q <sub>p</sub> = 1300 · V <sub>c</sub> · (t <sub>i</sub> - t <sub>e</sub> ) = 1300 · 0,004861 · 32 = 2022 W						

*Tab. 7 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 1994*

ROK 1994			
Plocha zasklení +%	$Q_v$ [W]	$Q_p$ [W]	$Q_c$ [W]
+0%	2050	7100	9150
+10%	2050	7250	9300
+20%	2050	7450	9500
+30%	2050	7600	9650
+40%	2050	7750	9800
+50%	2050	7900	9950

*Tab. 8 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2002*

ROK 2002			
Plocha zasklení +%	$Q_v$ [W]	$Q_p$ [W]	$Q_c$ [W]
+0%	2050	5100	7150
+10%	2050	5150	7200
+20%	2050	5250	7300
+30%	2050	5350	7400
+40%	2050	5450	7500
+50%	2050	5500	7550

*Tab. 9 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2005*

ROK 2005			
Plocha zasklení +%	$Q_v$ [W]	$Q_p$ [W]	$Q_c$ [W]
+0%	2050	5000	7050
+10%	2050	5100	7150
+20%	2050	5150	7200
+30%	2050	5250	7300
+40%	2050	5350	7400
+50%	2050	5400	7450



Tab. 10 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2007

ROK 2007			
Plocha zasklení +%	$Q_v$ [W]	$Q_p$ [W]	$Q_c$ [W]
+0%	2050	4750	6800
+10%	2050	4800	6850
+20%	2050	4900	6950
+30%	2050	5000	7050
+40%	2050	5050	7100
+50%	2050	5150	7200

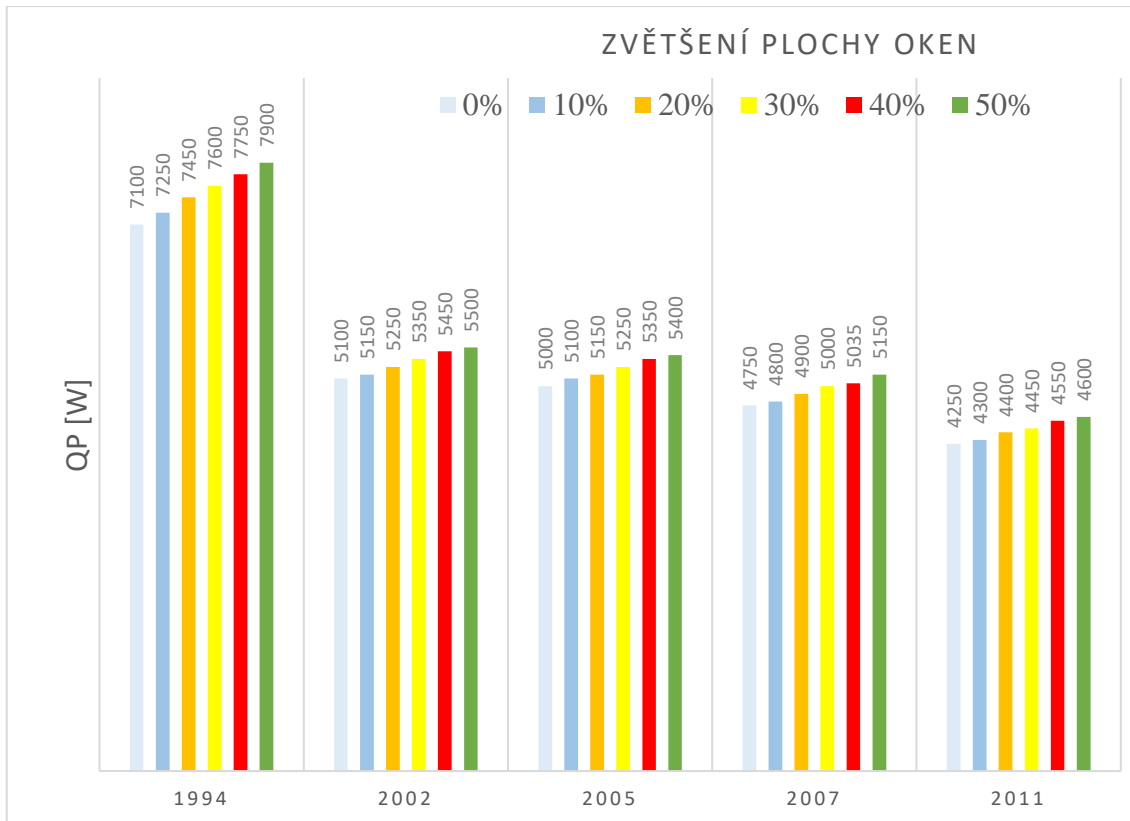
Tab. 11 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2011

ROK 2011			
Plocha zasklení +%	$Q_v$ [W]	$Q_p$ [W]	$Q_c$ [W]
+0%	2050	4250	6300
+10%	2050	4300	6350
+20%	2050	4400	6450
+30%	2050	4450	6500
+40%	2050	4550	6600
+50%	2050	4600	6650

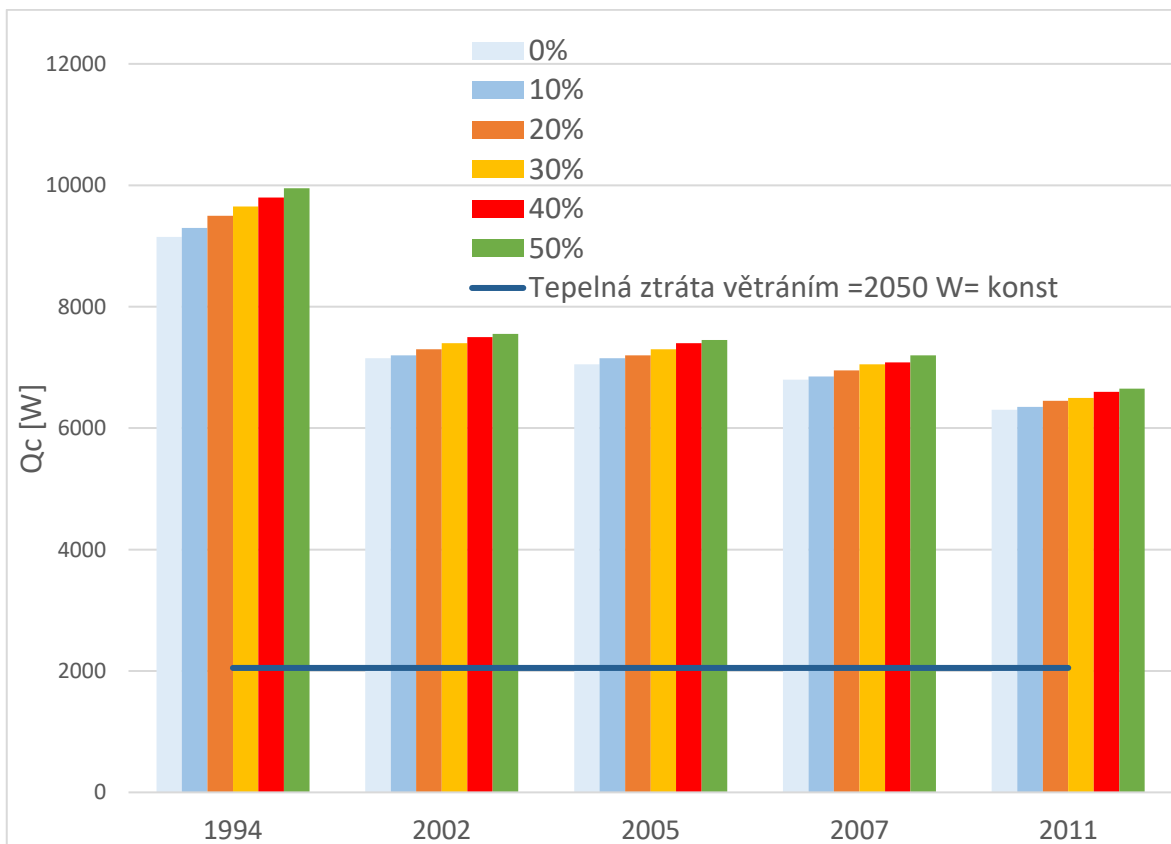
Pro srovnací vizuální posouzení byly všechny výsledky tepelných ztrát vyneseny do dvou diagramů viz Obr. 5 a Obr. 6.

Diagram na Obr. 5 ukazuje závislost tepelných ztrát prostupem na velikosti oken dle příslušných požadavků pro součinitele prostupu tepla .

Diagram na Obr. 6 již ukazuje celkové tepelné ztráty. Tepelná ztráta větráním byla pro všechny výše popsané situace konstantní, proto je na tomto diagramu označena vodorovnou modrou čarou.



Obr. 5 Vliv velikosti oken na tepelnou ztrátu prostupem po rocích



Obr. 6 vliv velikosti oken na celkovou tepelnou ztrátu po rocích

Při porovnání získaných normou ČSN 06 0210 tepelných ztrát, lze konstatovat, že za stejných podmínek zvětšení plochy oken vede k nepatrnému růstu tepelné ztráty zvoleného modelu budovy.

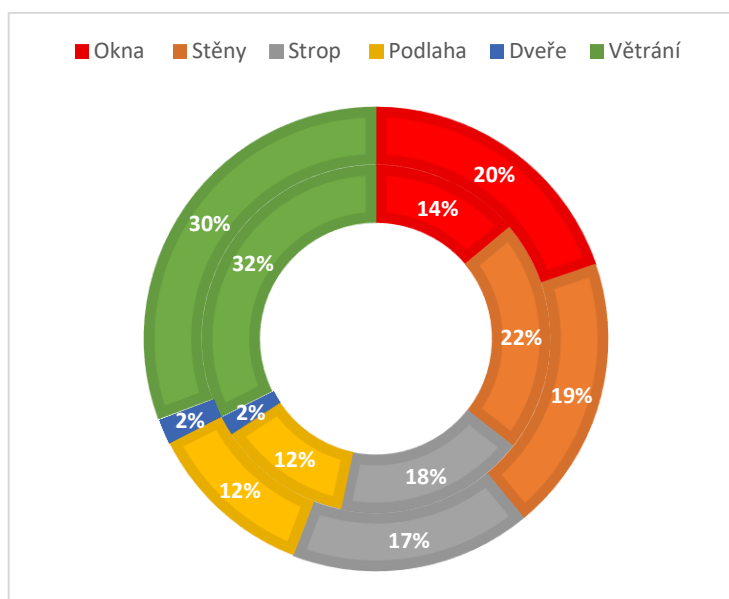
Zvětšení počáteční plochy oken o 50 % pro výpočet z roku 1994 přivedlo ke růstu tepelné ztráty prostupem budovy o 11 % , v roce 2002 růst tepelné ztráty prostupem činí 8,6 % , rok 2005: 8,12 % , rok 2007: 8,55 % a rok 2011: 8,61 %.

Navíc od roku 1994 do roku 2011 s vývojem normy ČSN 73 0540 klesla tepelná ztráta prostupem v průměru o 41,5 %. Průměrné snížení celkové tepelné ztráty při konstantních tepelných ztrátách větráním činí 32,6 % .

Situace pro aktuálně požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla vypadá takto:

- 1) Pro zvolený ideální model budovy, zvýšení plochy oken o 50 % vede ke zvýšení tepelné ztráty prostupem o 8,612 % a ke zvýšení celkové tepelné ztráty o 5,819 %
- 2) Tepelná ztráta prostupem tepla okny při aktuálně požadovaném od roku 2011 součiniteli prostupu tepla a s zvětšenou o 50 % plochou je o 16,67 % nižší než tepelná ztráta prostupem okny s počáteční plochou ale při požadované od roku 1994 hodnotě součiniteli prostupu tepla
- 3) S nárůstem plochy oken (0 až 50 %) jsou tepelné ztráty prostupem okny v průměru 14-20 % a tepelné ztráty větráním v průměru 30-32 % z celkových tepelných ztrát. Viz Obr. 7.

Na základě výsledků výpočtů lze usoudit, že při použití materiálů stavebních konstrukcí a výplňových otvorů , které svými tepelně-technickými vlastnostmi odpovídaly aktuálním požadavkům, vede zvětšení plochy zasklení o 50 % k zvýšení tepelné ztráty prostupem nepřesahující 11 % a k zvýšení celkové tepelné ztráty nepřesahující 5,9 %. A zároveň se vzhledem k vysoké těsnosti moderních plastových oken nepředpokládá výrazné zvýšení infiltrace, která zvyšuje tepelnou ztrátu přirozeným větráním.



Obr. 7 Složky celkových tepelných ztrát-aktuální požadavky

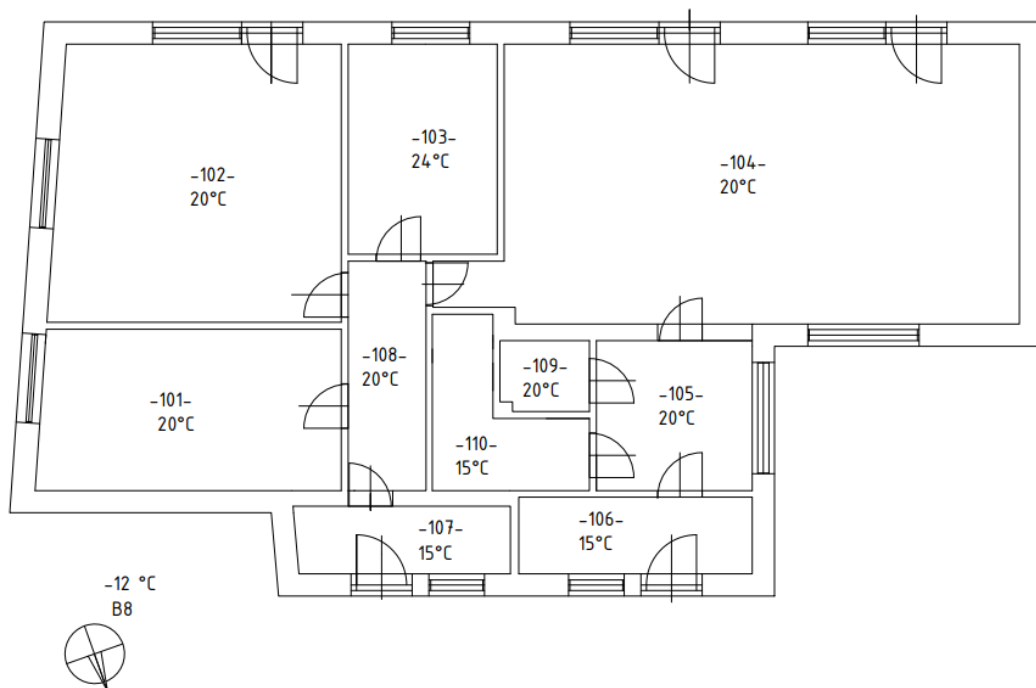
## 6. Prvorepublikový objekt

V této části práce bude proveden energetický rozbor prvorepublikového objektu. Pro získání informací o tepelně-technických vlastnostech vybraného objektu budou podrobně prostudovány všechny stavební konstrukce. Poté bude provedeno posouzení, zda vybraný pro analýzu objekt splňuje moderní požadavky.

Dále bude diskutováno téma proveditelnosti opatření ke zlepšení tepelně-technických vlastností stavebních konstrukcí a výplňových otvorů na požadované a doporučené normou ČSN 73 0540-2 hodnoty.

Samostatně bude posuzováno, jak velikost a tepelně-technické vlastnosti oken ovlivňují tepelné ztráty vybraného objektu.

Jako model pro analýzu byl vybrán jednopodlažní prvorepublikový rodinný dům (dále RD) (viz Obr. 8) s plochou střechou a podlahou přilehlou ke zemině. Celková vnitřní plocha RD je 134 m<sup>2</sup> a převládající vnitřní teplota je 20 °C.



Obr. 8 RD-půdorys

Další parametry polohy RD a okolního prostředí :

- Venkovní výpočtová teplota:  $t_e = -12$  [°C]
- Střední venkovní teplota za otopné období:  $t_{es} = 4,3$  [°C]
- Střední denní venkovní teplota pro začátek a konec otopného období:  $t_{em} = 13$  [°C]
- Počet dnů otopného období:  $d = 225$  dní
- Poloha budovy v krajině-nechráněná
- Druh budovy-osaměle stojící
- Intenzita větru-normalní
- Charakteristické číslo budovy  $B = 8$  [Pa<sup>0,67</sup>]

## 6.1. Skladba konstrukce

### Svislé konstrukce :

Obvodová stěna (STEX) o celkové šířce 320 [mm] se skládá z cihel o šířce 290 [mm] a tepelné vodivosti  $\lambda = 0,92$  [W/m.K] a dvou vrstev omítky na vnitřní a vnější straně obvodové stěny o tloušťce každé vrstvy 15 [mm] a tepelné vodivosti  $\lambda = 0,7$  [W/m.K].

Stanovení součinitele prostupu tepla obvodových stěn:

Pro výpočet tepelných ztrát podle ČSN 06 0210:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,29}{0,92} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{1}{23}} = 1,9 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (25)$$

Pro výpočet tepelných ztrát podle ČSN EN 12 831-1:

$$U = \frac{1}{R_{int} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + R_{ext}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,29}{0,92} + \frac{0,015}{0,7} + 0,04} = 1,89 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (26)$$

Výpočet součinitelů prostupu tepla ostatních stavební konstrukcí byl proveden stejným způsobem, jediným rozdílem v postupu byla volba hodnot tepelných odporů  $R_{int/ext}$  [m<sup>2</sup>.K/W] v závislosti na směru tepelného toku a rozdílech teplot mezi vnitřním a venkovním (sousedním) prostředím . Zbytek výpočtů viz přílohy [P2] a [P3].

Vnitřní stěna 1 (STIN1) o celkové šířce 100 mm je sádkartonová ( $\lambda = 0,22$  [W/m.K]), její součinitel prostupu tepla činí:

- Pro výpočet tepelných ztrát dle ČSN 06 0210  $U=1,42$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro výpočet dle ČSN EN 12 831-1  $U=1,40$  [W/m<sup>2</sup>.K]

Vnitřní stěna 2 (STIN2) je nosná a je složená z stejných cihel jako obvodová stěna (STEX) ( $\lambda = 0,92$  [W/m.K]) a dvou vrstev omítky na vnitřní a vnější straně stěny o tloušťce každé vrstvy 10 [mm] ( $\lambda = 0,7$  [W/m.K]).

- Pro ČSN 06 0210  $U=1,68$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro ČSN EN 12 831-1  $U=1,66$  [W/m<sup>2</sup>.K]

**Vodorovné konstrukce :**

Podlaha přilehlá ke zemině (PDL) o celkové tl. 394 [mm] se skládá z podlahové kytiny (dubová deska) o tl. 10 [mm] a tepelné vodivosti  $\lambda = 0,18$  [W/m.K] , bitumenové hydroizolace o tl. 4 [mm] a  $\lambda = 0,6$  [W/m.K] , podkladního betonu (beton hutný) o tl. 80 [mm] a  $\lambda = 1,3$  [W/m.K] , šterkového násypu o tl. cca 200 [mm] a  $\lambda = 0,22$  [W/m.K] a betonové mazaniny (a kari sitě) o tl. 100 [mm] a tepelné vodivosti  $\lambda = 1,74$  [W/m.K] .

- Pro ČSN 06 0210  $U=0,77$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro ČSN EN 12 831-1  $U=0,77$  [W/m<sup>2</sup>.K]

Plochá střecha (STR): je složená z vrsvy lechčeného betonu o tl. 300 [mm] ( $\lambda = 0,25$  [W/m.K]), bitumenové hydroizolace o tl. 4 [mm] ( $\lambda = 0,6$  [W/m.K]) a vrstvy omítky na vnitřní straně o tl. 10 [mm] ( $\lambda = 0,7$  [W/m.K]).

- Pro ČSN 06 0210  $U=0,72$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro ČSN EN 12 831-1  $U=0,73$  [W/m<sup>2</sup>.K]

**Výplně stavebních otvorů :**

Okna: Budova má 10 jednoduchých oken 4 různých velikosti (OKN1, OKN2, OKN3 a OKN4), jejich rozměry a součinitele prostupu tepla jsou uvedeny v tab. 12

*Tab. 12 Parametry oken*

typ okna:	$a \times b$ [m]	A [m <sup>2</sup> ]	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> .K]
OKN1	1,4x1,6	2,24	2,7
OKN2	0,9x1,4	1,26	2,7
OKN3	1,4x1,8	2,52	2,7
OKN4	1,4x1	1,4	2,7

Vchodové dveře (DVEX): RD má 5 stejných vchodových dveří o velikosti 2,1x1 [m] a se součinitelem prostupu tepla  $U_w=2,7$  [W/m<sup>2</sup>.K]

Vnitřní dveře (DVIN): RD má 7 dřevěných dveří se součinitelem prostupu tepla  $U_w=1,5$  [W/m<sup>2</sup>.K]

**6.2.Porovnání tepelně-technických vlastností**

Získané hodnoty součinitelů prostupu tepla je nutné porovnat s hodnotami stanovenými normou ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov-část 2 (viz tab. 13). Pro všechny skutečné hodnoty součinitelů prostupu tepla platí následující pravidlo:  $U_{sk} \leq U_{N20}$  resp.  $U_{sk} \leq U_{rec 20}$ , kde  $U_{N20}$  [W/m<sup>2</sup>.K] je požadovaná a  $U_{rec 20}$  [W/m<sup>2</sup>.K] je doporučená hodnota součinitele prostupu tepla stavební konstrukce nebo výplň

stavebního otvoru. V případě, že tuto podmínku nějaká stavební konstrukce nespĺňuje, je nutné provést opatření ke zlepšení tepelně-technických vlastností této konstrukce.

*Tab. 13 Porovnání skutečných součinitelů prostupu tepla s požadovanými a doporučenými normou ČSN 73 0540-2 hodnotami.[10]*

Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla			
popis konstrukce	$U_{skut} [W/m^2.K]$	$U_{N,20} [W/m^2.K]$	$U_{rec,20} [W/m^2.K]$
Stěna vnější (STEX)	1,89	0,3	0,25
Podlaha přilehlá k zemině (PDL)	0,77	0,45	0,3
Střecha plochá (STR)	0,73	0,24	0,16
Stěna mezi prostory (STIN1)	1,40	1,3	0,9
Stěna mezi prostory (STIN2)	1,66	1,3	0,9
OKN1	2,7	1,5	1,2
OKN2	2,7	1,5	1,2
OKN3	2,7	1,5	1,2
OKN4	2,7	1,5	1,2
DVEX	2,7	1,7	1,2
DVIN	1,5	-	-

Z porovnání skutečných hodnot součinitelů prostupu tepla s požadovanými a doporučenými hodnotami je vidět, že žádná stavební konstrukce a výplňový otvor daného RD nespĺňuje vyše uvedenou podmínku, v případě fasádních stěn je skutečný součinitel prostupu tepla 6ti násobkem požadované hodnoty.

Řešením problému bude návrh rekonstrukce budovy, zaměřené na snížení hodnot součinitelů prostupu tepla všech stavebních konstrukcí a výplňových otvorů na požadované a doporučené normou ČSN 73 0540-2 hodnoty (viz tab 13).

### 6.3.Rekonstrukce na požadované hodnoty

Seznam s odkazy na všechny materiály a produkty viz příloha [P8]

#### **Obvodové steny (STEX):**

Pro zateplení obvodových stěn byly zvoleny izolační desky EPS 70F o tl. 120 [mm] a navrhové tepelné vodivosti  $\lambda_u=0,04 [W/m.K]$  z pěnového polysterenu pro kontaktní zateplovací systémy ETICS (external thermal insulation composite system) viz Obr. 9.



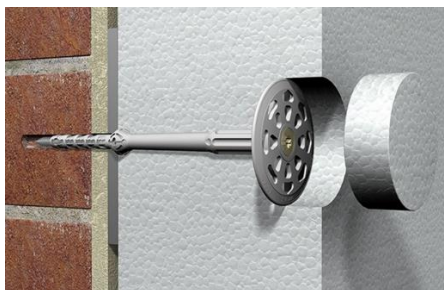
*Obr. 9 Izolační desky EPS 70F [O3]*

Izolační desky budou nalepeny na povrch zateplovaných stěn pomocí montážní pěny CERESIT CT 84 (viz Obr 10) , která je vhodná pro připevnění polystyrenových desek na cihlové a betonové stěny, nicméně jsou při tomto způsobu lepení kladeny vysoké nároky na rovný podklad.



*Obr 10 Lepení desek EPS 70F izolační pěnou [O4]*

Dále nalepené na pěnu izolační desky je nutné následně kotvit talířovými hmoždinkami viz . Obr. 11.



*Obr. 11 Kotvení izolačních desek EPS 70F talířovou hmoždinkou [O5]*



Na povrch izolačních desek se pak nanese armovací vrstva o tl. cca 5 [mm] (nepoužíváme při přepočtu součinitele prostupu tepla). Dále se nanese vrstva omítky o tl. 15 [mm] a tepelné vodivosti  $\lambda = 0,7$  [W/m.K].

#### Přepočet součinitele prostupu tepla:

Pro výpočet tepelných ztrát podle ČSN 06 0210:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}} = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,29}{0,92} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{0,015}{0,7} + \frac{1}{23}} = 0,283 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (27)$$

Pro výpočet tepelných ztrát podle ČSN EN 12 831-1:

$$U = \frac{1}{R_{int} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i} + R_{ext}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,015}{0,7} + \frac{0,29}{0,92} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{0,015}{0,7} + 0,04} = 0,284 \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad (28)$$

#### Plochá střecha (STR):

K zateplení ploché střechy budou použity polystyrenové izolační desky EPS 100 o tl. 120 [mm] a navrhové tepelné vodivosti  $\lambda_u=0,04$  [W/m.K]. viz Obr. 12



Obr. 12 izolační desky EPS 100

[11] Zateplení ploché střechy bude provedeno z vnější strany. Na stávající hydroizolaci se položí izolační desky EPS 100, které se přikotví hmoždinkami a pak se umístí další hydroizolace (asfaltové pasy) o tl. 4 [mm] (nepoužíváme při přepočtu součinitele prostupu tepla). Přepočet součinitele prostupu tepla viz přílohy [P4] a [P5].

- Pro ČSN 06 0210  $U=0,228$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro ČSN EN 12 831-1  $U=0,229$  [W/m<sup>2</sup>.K]

**Podlaha (PDL):**

Podlaha bude zateplená izolačními deskami EPS 100 o tl. 100 [mm] a navrhové tepelné vodivosti  $\lambda_u=0,04$  [W/m.K]. viz Obr. 12.

Na stávající hydroizolaci se položí izolační desky EPS 100 dále na izolační desky bude nanášena vrstva betonu o tl. 40 [mm] a  $\lambda = 1,3$  [W/m.K] . Přepočít součinitele prostupu tepla viz přílohy [P4] a [P5].

Výsledky:

- Pro ČSN 06 0210  $U=0,261$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro ČSN EN 12 831-1  $U=0,261$  [W/m<sup>2</sup>.K]

**Stěny mezi prostory (STIN1 a STIN2):**

Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce bylo dohodnuto, že u tohoto typu objektu se zateplení stěn mezi prostory v skutečné praxi neprovádí.

**Výplňové otvory:**

Všechny výplňové otvory na obalce objektu budou vyměněny za nové, splňující požadavky na součinitele prostupu tepla.

Všechná okna budou vyměněna za plastová dvoukřídla okna od výrobce „oknoprofil“. Součinitel prostupu tepla oken:  $U_w=1,2$  [W/m<sup>2</sup>.K] .

Vchodové dveře byly vyměněny za nové od výrobce „SOFT“. Součinitel prostupu tepla dveří :  $U_w=1,4$  [W/m<sup>2</sup>.K] .

Získané hodnoty součinitelů prostupu tepla musí být porovnány s požadovanými normou ČSN 73 0540-2 hodnotami viz tab. 14.

Tab. 14 skutečné a požadované hodnoty součinitele prostupu tepla

popis konstrukce	$U_{skut}$ [W/K.m <sup>2</sup> ]	$U_{N,20}$ [W/K.m <sup>2</sup> ]
Stěna vnější (STEX)	0,28	0,3
Podlaha přilehlá k zemině (PDL)	0,26	0,45
Střecha (STR)	0,23	0,24
Stěna mezi prostory (STIN1)	1,40	-
Stěna mezi prostory (STIN2)	1,66	-
OKN1	1,2	1,5
OKN2	1,2	1,5
OKN3	1,2	1,5
OKN4	1,2	1,5
DVEX	1,4	1,7
DVIN	1,5	-

Z porovnání vyplývá, že v průběhu provedených opatření bylo dosaženo požadovaných hodnot součinitelů prostupu tepla u všech stavebních konstrukcí a výplňových otvorů. Část stavebních konstrukcí byla zateplena s rezervou a splňuje i doporučené normou ČSN 73 0540-2 hodnoty.

#### **6.4.Rekonstrukce na doporučené hodnoty**

Opatření k dosažení doporučených normou ČSN 73 0540-2 hodnot součinitelů prostupu tepla stavebních konstrukcí ve skutečnosti spočívala ve zvýšení tloušťky izolačních desek vybraných v předchozím odstavci. Některá z dříve provedených opatření umožnila současně dosáhnout doporučených hodnot (zateplení podlahy a výměna oken). Z tohoto důvodu zde budou uvedeny pouze aktualizované tloušťky již zvolených izolačních desek a výsledky přepočtu součinitelů prostupu tepla.

Seznam s odkazy na všechny materiály a produkty viz příloha [P9] a přepočet součinitelů prostupu tepla viz příloha [P6] a [P7].

#### **Obvodové stěny (STEX):**

Tloušťka izolačních desek EPS 70F byla podle katalogu zvýšena o jednu řadu a činila 140 [mm] .

Přepočet součinitele prostupu tepla:

- Pro ČSN 06 0210  $U=0,248$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro ČSN EN 12 831-1  $U=0,248$  [W/m<sup>2</sup>.K]

#### **Plochá střecha (STR):**

Tloušťka izolačních desek EPS 100 byla zvýšena na 200 [mm] .

Přepočet součinitele prostupu tepla:

- Pro ČSN 06 0210  $U=0,157$  [W/m<sup>2</sup>.K]
- Pro ČSN EN 12 831-1  $U=0,157$  [W/m<sup>2</sup>.K]

#### **Výplňové otvory:**

Dříve vybrané dveře nedpovídaly doporučeným hodnotám, proto byly nahrazeny novými od výrobce „FM dveře“. Součinitel prostupu tepla dveří :  $U_w=1,2$  [W/m<sup>2</sup>.K] .

## 6.5. Hodnocení provedených opatření

Pro posouzení proveditelnosti provedených opatření nestačí pouze získat součinitele prostupu tepla, které odpovídají aktuálním požadovaným nebo doporučeným hodnotám. Provedená opatření je nutné zhodnotit ekonomicky.

Toto hodnocení bude spočívat ve výpočtu celkových nákladů (dále CN), které budou tvořeny provozními náklady (dále PN) a investičními náklady (dále IN).

Do skupiny provozních nákladů budou zahrnuty roční náklady na vytápění zvoleného objektu.

Kalkulace nákladů na vytápění bude provedena na základě potřeby tepla na vytápění, která zase vychází z tepelných ztrát objektu.

První co je tedy potřeba spočítat je tepelná ztráta objektu pro tři jeho stavy: stávající, rekonstruovaný na požadované a doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla.

### 6.5.1. Výpočet tepelných ztrát

Pro tři výše popsané situace bude výpočet tepelných ztrát proveden pomocí norem ČSN 06 0210 a ČSN EN 12 831-1.

Pro zahrnutí tepelných mostů do výpočtu bude použita zjednodušená metoda výpočtu dle normy ČSN EN 12 831-1, která využívá korigované součinitele prostupu tepla.

Vzorový výpočet tepelných ztrát podle normy ČSN 06 0210 a ČSN EN 12 831-1 pro místnost 101 pro původní stav objektu je uveden v Tab. 15 a Tab. 16.

Všechny ostatní výpočty viz přílohy [P2] až [P7].

Tab. 15 Výpočet celkové tepelné ztráty místnosti 101 dle ČSN 06 0210

CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA MÍSTNOSTI Č.101													
stavební prvek	plocha [m <sup>2</sup> ]	celková plocha otvorů	plocha bez otvorů	U [W/K.m <sup>2</sup> ]	Δt [°C]	Q <sub>o,j</sub> [W]	Uc [W/K.m <sup>2</sup> ]	p1	p2	p3	(1+p1+p2+p3)	Op [W]	Qc [W]
<i>prostup do venkovního prostředí</i>													
STEX	25,92	2,24	23,68	1,90	32	1439							
OKN1	2,24	-	-	2,7	32	194							
STR	16,35	-	-	0,72	32	377							
PDL	16,35	-	-	0,412	15	101							
<i>prostup do sousedních místností</i>													
101-102													
STIN1	16,96	-	-	1,42	0	0							
101-107													
STIN2	3,84	-	-	1,68	5	32							
101-108													
STIN1	9,6	2,10	7,50	1,42	0	0							
DVIN	2,1	-	-	1,5	0	0							
ΣA [m <sup>2</sup> ] 89,02 ΣQ <sub>o</sub> [W] 2143													
<i>tepelná ztráta větráním</i>													
V <sub>m</sub> [m <sup>3</sup> ]	52,32	n <sub>m</sub> [1/hod]	32	Δt [°C]	0,5	C <sub>p</sub> [J/kg]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	1010	V <sub>wh</sub> [m <sup>3</sup> /s]	1,2	0,0072667	Q <sub>v</sub> [W]	282
Q <sub>v</sub> = ρ · c <sub>p</sub> · V <sub>v</sub> · (t <sub>i</sub> - t <sub>e</sub> ) = 1,2 · 1010 · 0,00726 · 32 = 282 W													

Tab. 16 Výpočet celkové tepelné ztráty místnosti 101 dle ČSN EN 12 831-1

CELKOVÁ TEPELNÁ ZTRÁTA MÍSTNOSTI č.101												
tepelný tok proudem tepla do venkovního prostředí			tepelný tok do sousedních místností			tepelný tok do země			tepelná ztráta větráním			
STAVEBNÍ KONSTRUKCE	Plocha [m <sup>2</sup> ]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	ΔU <sub>tra</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]	U <sub>k,w</sub> [W/m <sup>2</sup> ·K]
STEX	25,92	2,24	23,68	1,9	0,1	1	1	1	1	1	1	1
OKN1	2,24	-	-	2,7	0,4	1	1	1	1	1	1	1
STR	16,35	-	-	0,73	0,1	1	1	1	1	1	1	1
Tepelný tok do sousedních místností												
STIN1	16,96	-	-	1,40	1,40	20	20	20	20	20	20	20
STIN2	3,84	-	-	1,66	1,66	15	15	15	15	15	15	15
STIN1	9,6	2,1	7,5	1,40	1,40	20	20	20	20	20	20	20
DVIN	2,1	-	-	1,5	1,5	0	0	0	0	0	0	0
Měrný tepelný tok proudem z vytápěného prostoru do země												
STAVEBNÍ KONSTRUKCE	Plocha [m <sup>2</sup> ]	f <sub>ba,m</sub> [-]	f <sub>ig,k</sub> [-]	f <sub>ow,k</sub> [-]	f <sub>ig,k</sub> [-]	f <sub>ow,k</sub> [-]	f <sub>ig,k</sub> [-]	f <sub>ow,k</sub> [-]	f <sub>ig,k</sub> [-]	f <sub>ow,k</sub> [-]	f <sub>ig,k</sub> [-]	f <sub>ow,k</sub> [-]
PDL	16,35	1,45	0,490625	1	0,434	5,053593827	0,434	5,053593827	0,434	5,053593827	0,434	5,053593827
Tepelná ztráta větráním												
V <sub>m</sub> [m <sup>3</sup> ]	n <sub>m</sub> [1/hod]	C <sub>p</sub> [J/kg]	ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	V <sub>vh</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Φ <sub>v,i</sub> [W]	Φ <sub>v,i</sub> [W]	Φ <sub>v,i</sub> [W]	Φ <sub>v,i</sub> [W]	Φ <sub>v,i</sub> [W]	Φ <sub>v,i</sub> [W]	Φ <sub>v,i</sub> [W]	Φ <sub>v,i</sub> [W]
52,32	0,5	1010	1,2	0,007266667	282	282	282	282	282	282	282	282
Φ <sub>v,i</sub> = ρ · c <sub>p</sub> · V <sub>v</sub> · (t <sub>1</sub> - t <sub>e</sub> ) = 1,2 · 1010 · 0,00726 · 32 = 282 W												
											2363	2645

Výsledky všech výpočtů tepelných ztrát jsou uvedeny v tab. 17. Tepelné ztráty nerekonstruovaného objektu získané podle ČSN 06 0210 a ČSN EN 12 831-1 se ukázaly přibližně stejné hodnoty (rozdíl činí cca 3 %).

Po opatřeních ke zlepšení tepelně-technických vlastností objektu však výsledky výpočtu podle normy ČSN 06 0210 začaly vykazovat nižší hodnoty než výsledky dle normy ČSN EN 12 831-1.

Po rekonstrukci na požadované hodnoty výkázaly výsledky výpočtu podle normy ČSN 06 0210 o 24,76 % nižší hodnoty než výsledky získané pomocí normy ČSN EN 12 831-1.

Po rekonstrukci na doporučené hodnoty rozdíl činí 24,87 % ve prospěch výsledku dle ČSN EN 12 831-1.

Tab. 17 Tepelné ztráty RD

norma	ČSN 06 0210			ČSN EN 12 831-1		
stav objektu	$Q_v$ [W]	$Q_p$ [W]	$Q_c$ [W]	$\Phi_v$ [W]	$\Phi_T$ [W]	$\Phi_{HL}$ [W]
Stávající	1850	18600	20450	1850	17950	19800
Požadované hodnoty	1850	4600	6450	1850	6200	8050
Doporučené hodnoty	1850	4150	6000	1850	5650	7500

Jak již bylo naznačeno dříve, rozdíl mezi výsledky tepelných ztrát je dán tím, že norma ČSN 06 0210 nereaguje na přítomnost tepelných mostů v novostavbách nebo v budovách, které prošly energetickou rekonstrukcí. Z tohoto důvodu bude výpočet potřeby tepla na vytápění vycházet z výsledků tepelných ztrát (návrhových tepelných výkonů) získaných pomocí normy ČSN EN 12 831-1.

### 6.5.2. Potřeba tepla na vytápění a roční náklady na vytápění

Pro výpočet potřeby tepla na vytápění bude použita denostupňová metoda viz vztahy (23) a (24). Po konzultaci s vedoucím bakalářské práce bylo rozhodnuto se omezit na plynový kondenzační kotel jako zdroj tepla. Účinnost kondenzačního kotle  $\eta_{kk} = 106\%$ , nicméně dle vyhlášky č. 194/2013 Sb. o kontrole kotlů a rozvodů tepelné energie je třeba tuto účinnost přepočítat pomocí vztahu (29). [12]

$$\eta_k = \frac{\eta_{kk}}{H_S \cdot H_U^{-1}} = \frac{\eta_{kk}}{1,11} = \frac{1,06}{1,11} = 0,95 [-] \quad (29)$$

Kde:

$H_S$  spalné teplo plynu [J/m<sup>3</sup>]

$H_U$  výhřevnost plynu [J/m<sup>3</sup>]

Dále následuje výpočet teoretické a skutečné potřeby tepla na vytápění, jejich výpočty jsou uvedeny v přílohách [P3], [P5] a [P7]. Výsledky skutečné potřeby tepla jsou uvedeny níže:

Pro původní stav RD:  $\Phi_{d,skut}=38,2$  [MWh/rok]=137,3 [GJ/rok]

Po rekonstrukci RD na požadované hodnoty:  $\Phi_{d,skut}=15,4$  [MWh/rok]=55,4 [GJ/rok]

Po rekonstrukci RD na doporučené hodnoty:  $\Phi_{d,skut}=14,4$  [MWh/rok]=51,7 [GJ/rok]

Pro kalkulaci provozních nákladů (ročních nákladů na vytápění) byl vybrán dodavatel plynu HALIMEDES, a.s. s cenou za plyn 2299 Kč/MWh (aktuální cena za březen 2023).

Tím pádem roční provozní náklady činí \*:

Pro původní stav RD: PN=87 709 [Kč/rok]

Po rekonstrukci RD na požadované hodnoty: PN=35 395 [Kč/rok]

Po rekonstrukci RD na doporučené hodnoty: PN=33 032 [Kč/rok]

---

*\*roční náklady na vytápění vycházejí z délky otopného období, která u tohoto objektu činí 225 dní.*

### 6.5.3. Kalkulace investičních nákladů a návratnosti rekonstrukce

Do skupiny investičních nákladů budou zahrnuty náklady na izolační a stavební materiály, hotové výrobky a dále předpokladané náklady na práce za rekonstrukci objektu. V příloách [P8] a [P9] je uveden celý seznam produktů a také cena za práci, která byla založena na internetových nabídkách. Poté byly spočítány investiční náklady, které činily:

Pro rekonstrukci na požadované hodnoty: IN=461 219 Kč

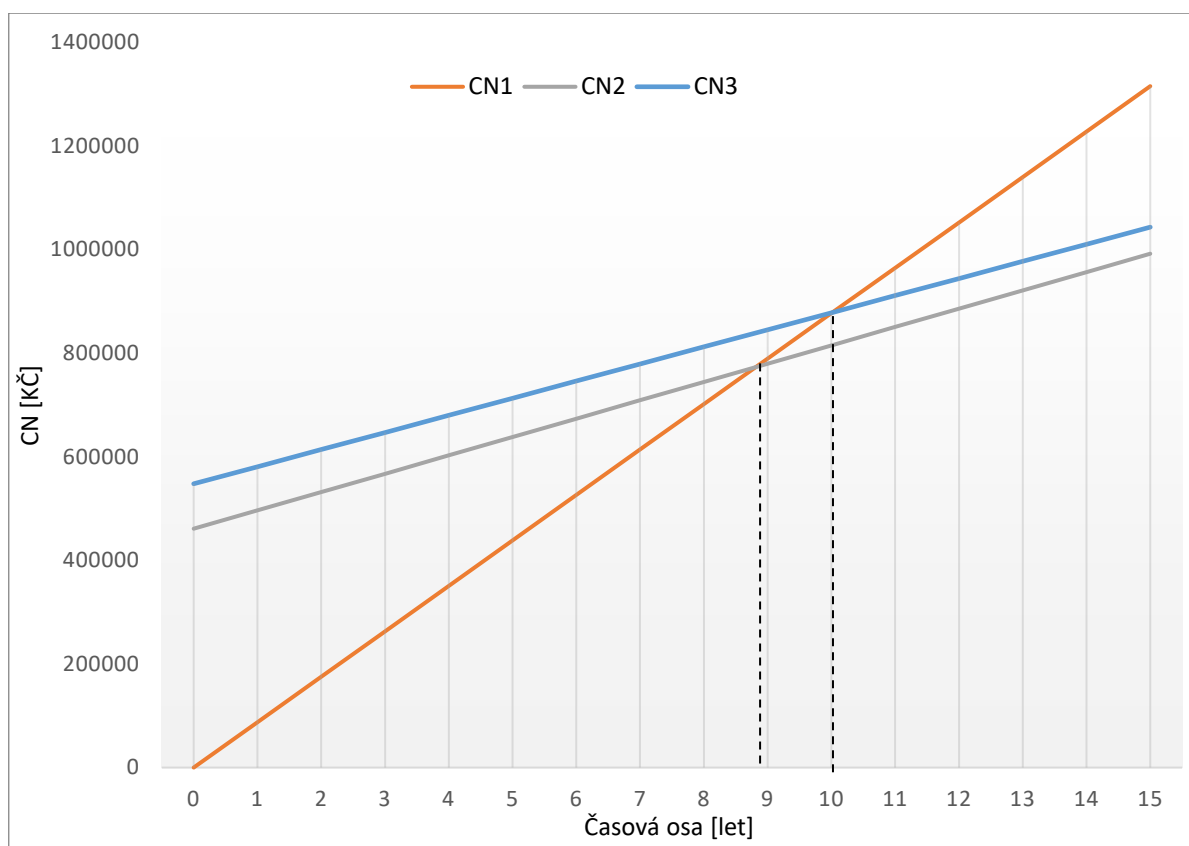
Pro rekonstrukci na doporučené hodnoty: IN=547 948 Kč

Pro stanovení návratnosti bude použita grafická metoda viz Obr. 13, na které přímkou CN1 bude znamenat celkové náklady pro stávající stav budovy, přímkou CN2-celkové náklady pro stav budovy, která splňuje požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla a přímkou CN3-celkové náklady pro stav budovy splňující doporučené hodnoty  $U$  [W/m<sup>2</sup>.K]

Celkové náklady budou dynamické a pro každý stav budovy se budou každoročně zvyšovat o roční náklady na vytápění (provozní náklady). Pro stanovení návratnosti provedených opatření budou postupovat od nultého roku. Pro stávající stav budovy v nulovém bodě časové osy budou celkové náklady nulové. Pro stavy budovy po rekonstrukcích v nulovém bodě časové osy se celkové náklady budou rovnat jednotlivým investičním nákladům.

Průsečíky přímkou CN2 a CN3 s přímkou CN1 budou považovány za prahové hodnoty pro návratnost provedených opatření.





Obr. 13 Dynamika celkových nákladů

Z grafu je patrné, že doba návratnosti rekonstrukce objektu na požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla přichází po téměř 9 letech provozu, doba návratnosti rekonstrukce na doporučené hodnoty činí přibližně 10 let.

### Faktory ovlivňující dobu návratnosti:

#### 1) Kolísající cena plynu

Při kalkulaci provozních nákladů byla zvolena aktuální cena k březnu 2023. Je však zřejmé, že během příštích 9-10 let se cena plynu bude měnit, ale nyní nelze předvídat dynamiku cen plynu na základě dynamiky minulých let. Z tohoto důvodu bylo po konzultaci s vedoucím práce rozhodnuto pozastavit se nad aktuální cenou plynu. Jinak by náklady na vytápění byly variabilní a jejich růst by byl exponenciální. Každopádně každoroční růst cen by jen zkrátil dobu finanční návratnosti.

#### 2) Nepřesnost v kalkulaci investičních nákladů

Při kalkulaci nákladů na rekonstrukci nelze s ohledem pouze na výkresovou a dílčí technickou dokumentaci budovy přesně posoudit objem stavebních prací.

Při kalkulaci nákladů na práci jsem se řídil nabídkami na internetu, někdy radami vedoucího práce, z toho důvodu je třeba tento výpočet brát jako minimálně možný. Nejpresnější položkou v kalkulaci investičních nákladů byla kalkulace nákladů na nákup izolačních desek a hotových výrobků (oken a dveří).

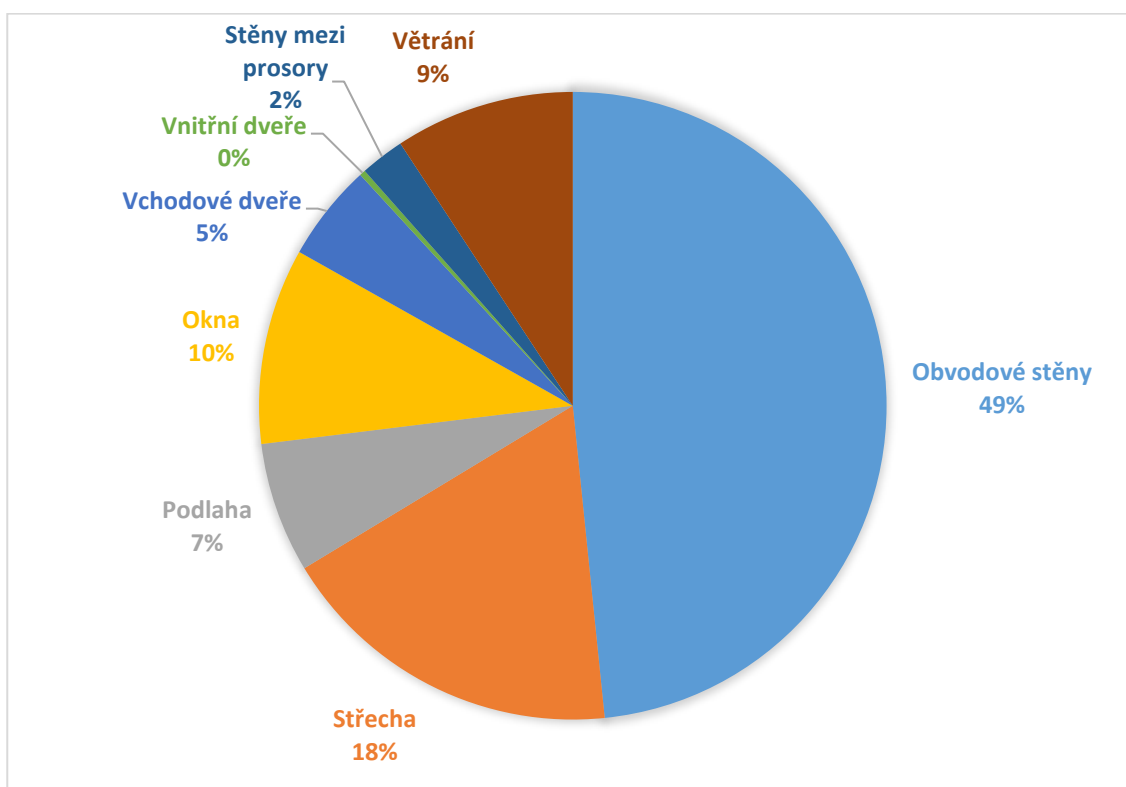
Po konzultaci s vedoucím práce jsem zjistil, že v skutečné praxi by se náklady na rekonstrukci u tohoto typu objektu mohly zvýšit 1,5x více než náklady, které jsem

kalkuloval. Tento faktor na rozdíl od předchozího odstavce naopak prodlužuje dobu finanční návratnosti.

### 6.6. Vliv vlastností oken na tepelné ztráty

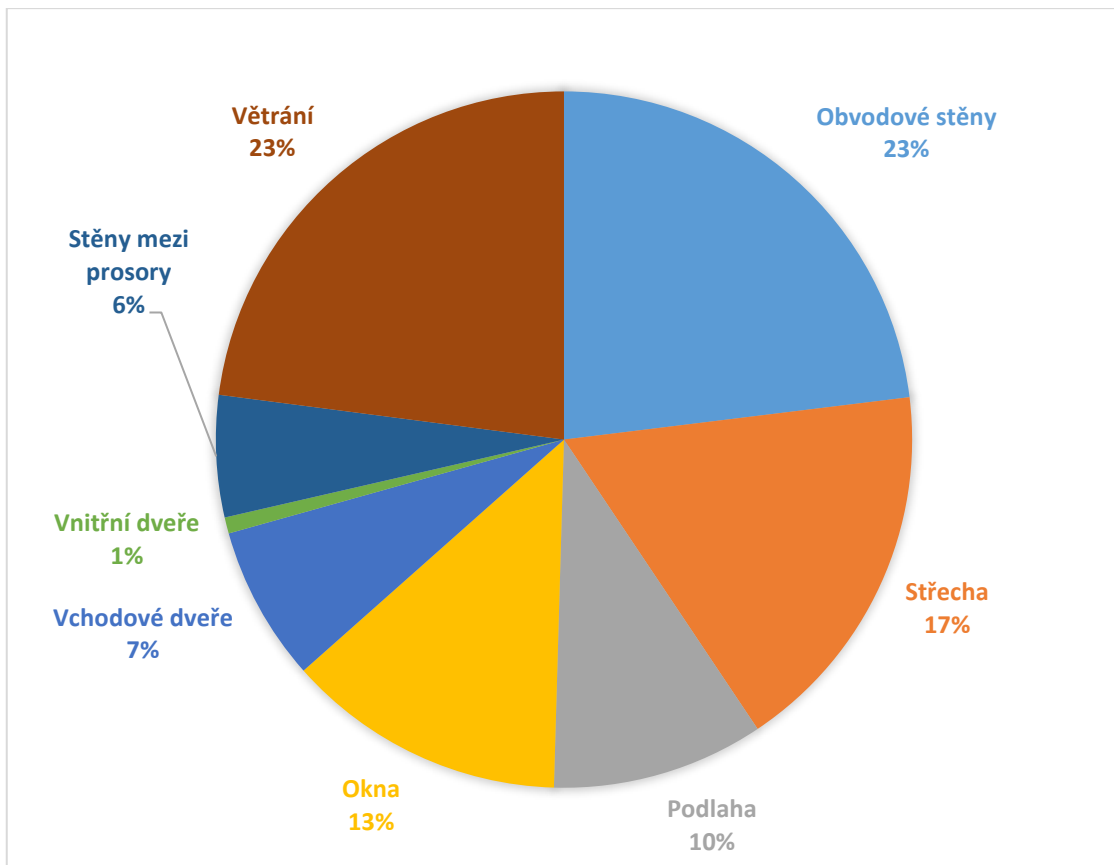
Původně součinitel prostupu tepla oken činil  $2,7 \text{ [W/m}^2\cdot\text{K]}$  což je 1,8 krát více než požadovaná a 2,25 krát více než doporučená hodnota. Nová plastová okna vybraná při rekonstrukci okamžitě odpovídala požadovaným a doporučeným normou ČSN 73 0540-2 hodnotám.

Celková plocha všech oken činí  $20,3 \text{ m}^2$ , což je cca 4,3 % celkové plochy obálky objektu. Přitom tepelné ztráty prostupem okny tvoří 10 % z celkových tepelných ztrát stávajícího stavu objektu. Viz Obr. 14.

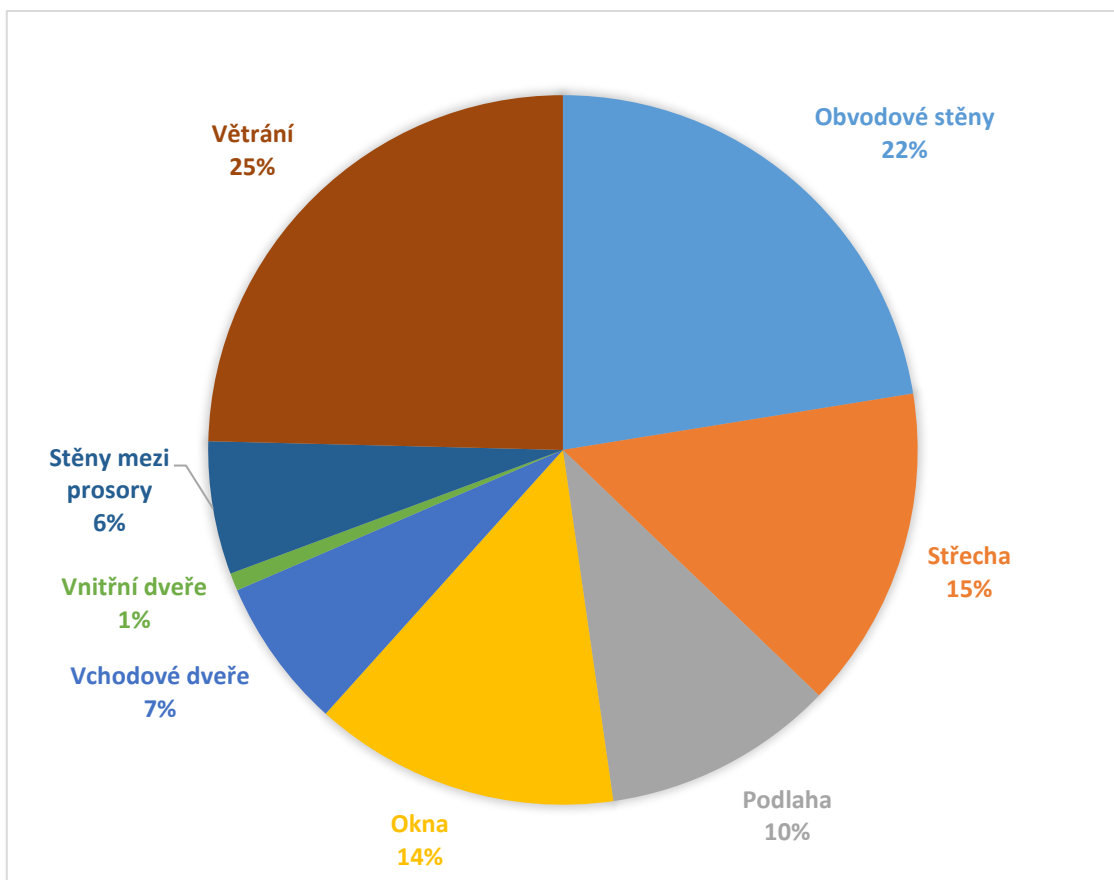


Obr. 14 Složky tepelných ztrát-stávající stav

Po výměně se tepelné ztráty prostupem okny snížily o 50 % (z 2 KW na 1 KW) a tyto tepelné ztráty tvoří 13-14 % celkových tepelných ztrát viz Obr. 15 a Obr. 16.



Obr. 15 Složky tepelných ztrát-rekonstrukce na požadované hodnoty



Obr. 16 Složky tepelných ztrát-rekonstrukce na doporučené hodnoty

## 7. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala výzkumem vlivu velikosti oken na tepelné ztráty objektu. Dílčím cílem práce bylo studium vlivu měnících se tepelně-technických vlastností objektů na jejich tepelné ztráty.

V první části bakalářské práce bylo analyzováno, jak velikost oken budovy ovlivňuje její tepelné ztráty. Tepelně-technické vlastnosti zvoleného objektu odpovídaly aktuálním a historickým požadavkům na součinitele prostupu tepla. Výpočet se prováděl na základě normy ČSN 06 0210. Výsledky výpočtů a jejich grafická znázornění ukázaly, že s růstem plochy oken o 50 % rostly tepelné ztráty prostupem v intervalu 8-11 % a celkové tepelné ztráty v intervalu 5,8-8,5 % v závislosti na příslušných časových požadavcích.

Další analýza tepelných ztrát ukázala, že s vývojem požadavků na součinitele prostupu tepla dle normy ČSN 73 0540-2 klesly tepelné ztráty prostupem až 30 % a celkové tepelné ztráty až 23 % v porovnání s tepelnými ztrátami objektu splňujícího předchozí požadavky. Z této analýzy lze konstatovat, že splnění aktuálních požadavků na součinitele prostupu tepla všemi stavebními konstrukcemi a výplňovými otvory často má pozitivnější vliv na tepelné ztráty než omezení celkové plochy oken objektu.

V druhé části práce jsem studoval prvorepublikový rodinný dům, který svými tepelně-technickými vlastnostmi neodpovídal současným požadovaným a doporučeným normou ČSN 73 0540-2 hodnotám. Dále pro tento RD byla provedena opatření ke snížení součinitelů prostupu tepla na požadované a doporučené hodnoty. Provedena opatření se spočívala v zateplení stavebních prvků a výměně výplňových otvorů. Po dosažení požadovaných a doporučených hodnot bylo provedeno ekonomické hodnocení navržených opatření. Nejprve byly spočítány tepelné ztráty objektu pro tři výše uvedené stavy. Výpočet tepelných ztrát se prováděl pomocí norem ČSN 06 0210 a ČSN EN 12 831-1, dále výsledky byly diskutovány.

Na základě získaných tepelných ztrát pro každý stav objektu byla spočítána potřeba tepla na vytápění a následně roční náklady na vytápění. Zvlášť byly spočítány orientační náklady na rekonstrukce objektu, tyto náklady byly uvažované jako minimálně možné.

Dále na základě celkových nákladů grafickou metodou jsem stanovil dobu finanční návratnosti provedených opatření, která činila: cca 9 let pro objekt rekonstruovaný na požadované hodnoty a cca 10 let pro objekt rekonstruovaný na doporučené hodnoty, také byly diskutovány faktory, které by mohly ovlivnit dobu finanční návratnosti.

Na konci druhé části bakalářské práce znovu bylo provedeno posouzení, jak velikost a tepelně-technické vlastnosti oken ovlivňovaly tepelné ztráty objektu v jeho různých stavech. Všechny výsledky byly vyneseny do diagramů.

**Použitá literatura**

- [1] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov. Část 4: Výpočtové metody
- [2] ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov. Část 3: Výpočtové hodnoty veličin pro navrhování a ověřování, hodnoty součinitelů přestupu tepla a odporů při přestupu tepla.
- [3] ŠIMEK JAKUB. STUDIE VYTÁPĚNÍ RODINNÉHO DOMU [online]. Praha. 2015. dostupné z <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/63386/F2-BP-2015-Simek-Jakub-10-BP-2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta Strojní, Ústav Techniky Prostředí. Vedoucí práce Prof. Ing. Jiří Bašta Ph. D.
- [4] Bašta, J, Vavříčka, R. : Otopné plochy: cvičení. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2005. 5 s . ISBN 80-01-03344-9.
- [5] ČSN 06 0210: Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění.
- [6] ČSN EN ISO 13 370: Tepelné chování budov-přenos tepla zeminou-výpočtové metody
- [7] Boháč, J.: Tepelné ztráty dle ČSN EN 12 831-1. [online]. 2018. Dostupné z <https://docplayer.cz/132937645-2-tepelne-ztraty-dle-csn-en.html> . Prezentace: základy vytápění (2161569)
- [8] Bašta, J.: Podklady k přednáškám (4 až 6) ze základů vytápění. (2161569)
- [9] DOMINIK POMPL. VÝVOJ TEPELNĚ-TECHNICKÝCH VLASTNOSTÍ BUDOV A ZATEPLOVACÍCH SYSTÉMŮ [online]. Praha. 2017. dostupné z [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70871/F2-BP-2017-Pompl-Dominik-Bakalarska\\_prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/70871/F2-BP-2017-Pompl-Dominik-Bakalarska_prace.pdf?sequence=1&isAllowed=y) . Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta Strojní, Ústav Techniky Prostředí. Vedoucí práce Prof. Ing. Jiří Bašta Ph. D.
- [10] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky
- [11] ŠUBRT, Roman. Tepelné izolace v otázkách a odpovědích. 2.vydání. Praha. BEN-technická literatura, 2008. 47 s. ISBN 978-80-7300234-3
- [12] Vyhláška č. 194/2013 Sb. O kontrole kotlů a rozvodů tepelné energie

**Seznam obrázků**

Obr. 1 Termogram obálky budovy .....	8
Obr. 2 Termogram přechodu stěny so stropní konstrukce na vnitřní straně.....	8
Obr. 3 Ideální model budovy-půdorys .....	15
Obr. 4 ideální model budovy.....	16
Obr. 5 Vliv velikosti oken na tepelnou ztrátu prostupem po rocích.....	21
Obr. 5 Vliv velikosti oken na tepelnou ztrátu prostupem po rocích.....	21
Obr. 6 vliv velikosti oken na celkovou tepelnou ztrátu po rocích .....	21
Obr. 7 Složky celkových tepelných ztrát-aktuální požadavky.....	22
Obr. 8 RD-půdorys.....	23
Obr. 9 Izolační desky EPS 70F.....	27
Obr 10 Lepení desek EPS 70F izolační pěnou.....	27
Obr. 11 Kotvení izolačních desek EPS 70F talířovou hmoždinkou.....	27
Obr. 12 izolační desky EPS 100.....	28
Obr. 13 Dynamika celkových nákladů.....	36
Obr. 14 Složky tepelných ztrát-stávající stav.....	37
Obr. 15 Složky tepelných ztrát-rekonstrukce na požadované hodnoty.....	38
Obr. 16 Složky tepelných ztrát-rekonstrukce na doporučené hodnoty.....	38

**Zdroje obrázků**

[O1] Tepelné mosty na vnější straně konstrukce: <https://www.estav.cz/cz/6207.kde-se-casto-vyskytuji-tepelne-mosty-na-dome-a-na-co-dat-pozor-na-snimku-z-termokamery>

[O2] Tepelné mosty na vnitřní straně konstrukce: <https://www.estav.cz/cz/6207.kde-se-casto-vyskytuji-tepelne-mosty-na-dome-a-na-co-dat-pozor-na-snimku-z-termokamery>

[O3] EPS F70: <https://www.isover.cz/produkty/isover-eps-70f#descriptions>

[O4] Postup zateplení fasády: <https://www.zofi.cz/postup-zatepleni-fasady-polystyrenem-krok-za-krokem>

[O5] EPS100: <https://www.dek.cz/produkty/detail/1460403600-eps-100-120mm-500x1000-dek-isover-2m2-bal>

**Seznam tabulek**

Tab. 1 Hodnoty součinitelů přestupu tepla .....	6
Tab. 2 Hodnoty tepelných odporu při přestupu tepla.....	6
Tab.3 Přírážka na světovou stranu .....	10
Tab. 4 Pomocné parametry pro výpočet $U(\text{equiv},k)$ .....	14
Tab. 5 Vývoj požadovaných součinitelů prostupu tepla .....	16
Tab. 6 Výpočet tepelné ztráty pro ideální model budovy dle požadavků od roku 1994.....	18
Tab. 7 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 1994 .....	19
Tab. 8 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2002 .....	19
Tab. 9 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2005.....	19
Tab. 10 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2007.....	20
Tab. 11 Tepelné ztráty ideálního modelu budovy při zvýšení plochy zasklení pro požadavky z roku 2011.....	20
Tab. 12 Parametry oken .....	25
Tab. 13 Porovnání skutečných součinitelů prostupu tepla s požadovanými a doporučenými normou ČSN 73 0540-2 hodnotami.[10].....	26
Tab. 14 skutečné a požadované hodnoty součinitele prostupu tepla.....	29
Tab. 15 Výpočet celkové tepelné ztráty místnosti 101 dle ČSN 06 0210.....	32
Tab. 16 Výpočet celkové tepelné ztráty místnosti 101 dle ČSN EN 12 831-1.....	33
Tab. 17 Tepelné ztráty RD.....	34



**Seznam příloh**

[P1]	P-1-ideální model budovy-výpočet tepelných ztrát.xlsx
[P2]	P-2-RD-stávající-výpočty dle 06 0210.xlsx
[P3]	P-3-RD-stávající,výpočty dle 12 831.xlsx
[P4]	P-4-RD-pož. hodnoty, výpočty dle 06 0210.xlsx
[P5]	P-5-RD-pož. hodnoty, výpočty dle 12 831
[P6]	P-6-RD-dop. hodnoty, výpočty dle 06 0210.xlsx
[P7]	P-7-RD-dop. hodnoty, výpočty dle 12 831.xlsx
[P8]	P-8-rekonstrukce na pož. hodnoty.pdf
[P9]	P-9-rekonstrukce na dop. hodnoty.pdf

**Seznam výkresové dokumentace**

[V1]      IMB-půdorys

[V2]      RD-půdorys

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

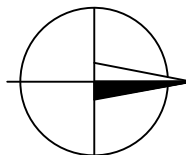
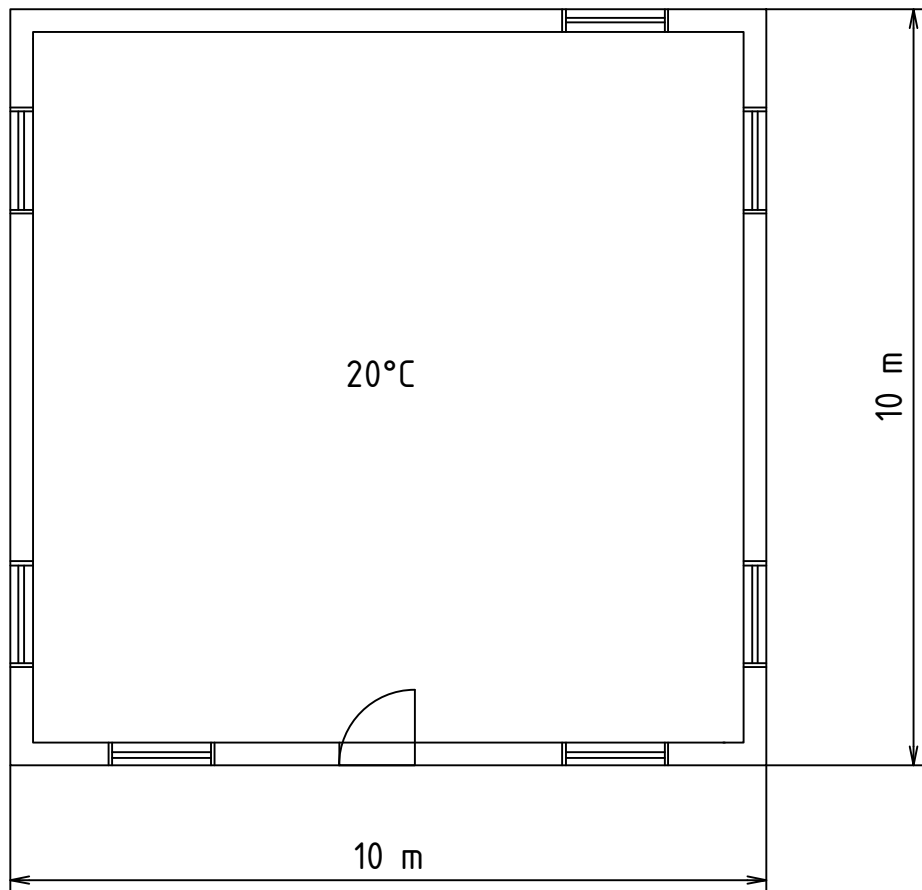
D

E

E

F

F



B8  
-12°C

ČVUT, FS, ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ	
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	
VLIV VELIKOSTI OKEN NA TEPELNÉ ZTRÁTY	
IMB-PŮDORYS	1:100
VYPRACOVAL	ARTUR ZAKHAROV
VEDOUCÍ	Prof. Ing. JIŘÍ BAŠTA, Ph. D.

1

2

3

4

1

2

3

4

A

A

B

B

C

C

D

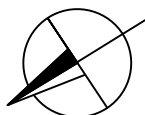
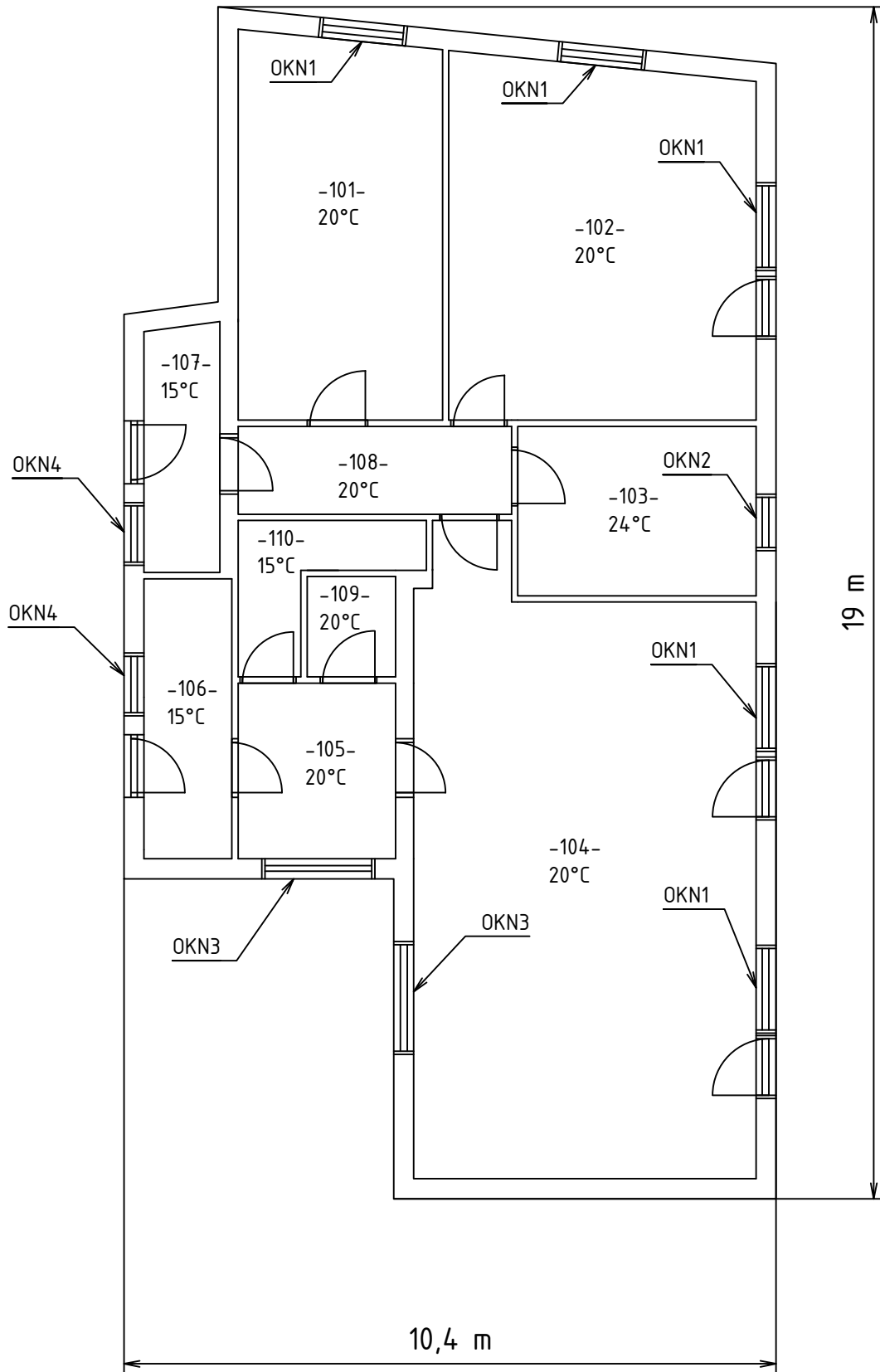
D

E

E

F

F



B8  
-12°C

ČVUT, FS, ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ	
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	
VLIV VELIKOSTI OKEN NA TEPELNÉ ZTRÁTY	
RD-PŮDORYS	1:100
VYPRACOVAL	ARTUR ZAKHAROV
VEDOUČÍ	Prof. Ing. JIŘÍ BAŠTA, Ph. D.

1

2

3

4