

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**TEPELNÁ ZTRÁTA PROSTUPEM TEPLA KONSTRUKCÍ
V KONTAKTU SE ZEMINOU**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Venzara** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **424781**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Tepelná ztráta prostupem tepla konstrukcí v kontaktu se zemínou

Název diplomové práce anglicky:

Transmission Heat Loss of Building Elements in Contact with the Ground

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte matematický model výpočtu tepelné ztráty prostupem tepla u konstrukcí v kontaktu se zemínou. Model bude využívat metody vycházející z normy ČSN EN ISO 13 370 a ČSN EN 12 831-1. Dále budou do modelu zahrnuty i starší metody výpočtu dle již zrušených norem ČSN 06 0210 a ČSN EN 12831. Model řešte jak pro podlahu přilehlou k zemině u přízemních budov, tak i u budov podsklepených v závislosti na hloubce suterénu podlahy a svislé stěny. Model testujte na několika typech budov s ohledem na dosažení největšího možného rozptylu hodnot pro geometrický parametr podlahové desky B'.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:


Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS


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

Datum zadání diplomové práce: **24.04.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.06.2019**

Platnost zadání diplomové práce:


Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


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


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

24.4.2019

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Souhrn

Cílem diplomové práce je vytvoření matematického modelu pro výpočet tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí v kontaktu se zeminou. V modelu jsou porovnány výsledky technických norem ČSN EN ISO 13 370, ČSN EN 12 831-1 se současně již neplatnými normami ČSN 06 0210 a ČSN EN 12 831. Model řeší jak konstrukce přilehlé k zemině u přízemních budov, tak i podsklepené budovy s různou hloubkou obvodové konstrukce pod povrchem.

Summary

The objective of the thesis is creating of the mathematical model for the calculation of heat loss through heat transfer through the structure in contact with the soil. The model compares results of the technical standards ČSN EN ISO 13 370, ČSN EN 12 831-1 with currently invalid standards ČSN 06 0210 and ČSN EN 12 831. The model solves structures adjacent to the ground at the ground-level buildings and basement buildings with different depth of the substructure under the surface.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Tepelná ztráta prostupem tepla konstrukcí v kontaktu se zeminou“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze 24. 6. 2019

Jakub Venzara

Obsah

Seznam značení	7
1. Úvod	11
2. Rešerše technických norem.....	12
2.1 Součinitel prostupu tepla	13
2.2 ČSN EN ISO 13 370.....	14
2.2.1 Výpočtové postupy	14
2.3 ČSN EN 12 831-1	19
2.3.1 Výpočtové postupy	19
2.4 ČSN EN 12 831	21
2.4.1 Výpočtové postupy	22
2.5 ČSN 06 0210.....	24
2.5.1 Výpočtové postupy	25
3. Analýza výsledků matematického modelu	27
3.1 Okrajové podmínky výpočtu	27
3.1.1 Geometrický parametr podlahové desky	31
3.1.2 Teplota zeminy	33
3.2 Příklad výpočtu	36
3.2.1 Podlaha na zemině	36
3.2.2 Vytápěný suterén	42
3.2.3 Podíl TZ zeminou vůči celkovým TZ místnosti	47
3.3 Porovnání ČSN EN 12 831 a ČSN EN 12831-1.....	51
3.3.1 Grafické porovnání a vyhodnocení.....	56
3.4 Kompletní porovnání	58
4. Aplikování metod na reálné objekty	62
4.1 Vyhodnocení	68

5. Závěr	70
Literatura	71
Přílohy	72

Seznam značení

B'	[m]	geometrický parametr podlahové desky
D	[m]	šířka vodorovné / hloubka svislé okrajové izolace
G_w	[-]	korekční činitel zahrnující vliv spodní vody
H_g	[W/K]	ustálený měrný tepelný tok zeminou
$H_{g,1}$	[W/K]	H_g (zjednodušený výpočet dle ČSN EN ISO 13 370)
$H_{g,2a}$	[W/K]	H_g (podrobný výpočet dle ČSN EN ISO 13 370)
$H_{g,2b}$	[W/K]	H_g (podrobný výpočet se zanedbáním vlivu okrajové izolace dle ČSN EN ISO 13 370)
$H_{g,3a}$	[W/K]	H_g (výpočet s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
$H_{g,3b}$	[W/K]	H_g (výpočet se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
$H_{T,ia}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem tepla z vytápěného prostoru (i) do sousedních vytápěných prostor (a)
$H_{T,iaBE}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem tepla z vytápěného prostoru (i) do sousední nevytápěné funkční části budovy
$H_{T,iae}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem tepla z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí přes nevytápěné prostory
$H_{T,ie}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem tepla z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e)
$H_{T,ig}$	[W/K]	měrný tepelný tok prostupem tepla z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g)
O	[m]	exponovaný obvod podlahy
Q_c	[W]	celková tepelná ztráta
$Q_{c,1}$	[W]	celková tepelná ztráta prostupem tepla (zjednodušený výpočet dle ČSN EN ISO 13 370)
$Q_{c,2a}$	[W]	celková tepelná ztráta prostupem tepla (podrobný výpočet dle ČSN EN ISO 13 370)
$Q_{c,2b}$	[W]	celková tepelná ztráta prostupem tepla (podrobný výpočet se zanedbáním vlivu okrajové izolace dle ČSN EN ISO 13 370)
$Q_{c,3a}$	[W]	celková tepelná ztráta prostupem tepla (výpočet s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)

$Q_{c,3b}$	[W]	celková tepelná ztráta prostupem tepla (výpočet se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
Q_g	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla konstrukcí přilehlé k zemině
$Q_{g,1}$	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla zeminou (zjednodušený výpočet dle ČSN EN ISO 13 370)
$Q_{g,2a}$	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla zeminou (podrobný výpočet dle ČSN EN ISO 13 370)
$Q_{g,2b}$	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla zeminou (podrobný výpočet se zanedbáním vlivu okrajové izolace dle ČSN EN ISO 13 370)
$Q_{g,3a}$	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla zeminou (výpočet s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
$Q_{g,3b}$	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla zeminou (výpočet se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
$Q_{g,o}$	[W]	základní tepelná ztráta prostupem tepla zeminou (dle ČSN 06 0210)
$Q_{g,p}$	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla zeminou (dle ČSN 06 0210)
$Q_{ie,o}$	[W]	základní tepelná ztráta prostupem tepla z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (dle ČSN 06 0210)
Q_o	[W]	základní tepelná ztráta prostupem tepla (dle ČSN 06 0210)
$Q_{o,c}$	[W]	celková základní tepelná ztráta prostupem tepla (dle ČSN 06 0210)
Q_p	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla (dle ČSN 06 0210)
$Q_{p,c}$	[W]	celková tepelná ztráta prostupem tepla (dle ČSN 06 0210)
Q_T	[W]	tepelná ztráta prostupem tepla
R	[m ² .K/W]	odpor vedením tepla konstrukce
R'	[m ² .K/W]	přídavný tepelný odpor okrajové izolace
R_f	[m ² .K/W]	tepelný odpor podlahy
R_n	[m ² .K/W]	tepelný odpor vodorovné nebo svislé okrajové izolace
R_{se}	[m ² .K/W]	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
R_{si}	[m ² .K/W]	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
$R_{si,t}$	[m ² .K/W]	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně podlahy

$R_{si,w}$	[m ² .K/W]	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně stěny
R_T	[m ² .K/W]	odpor konstrukce při prostupu tepla
R_w	[m ² .K/W]	tepelný odpor stěn suterénu
R_{zeminy}	[m ² .K/W]	tepelný odpor zeminy
S	[m ²]	plocha podlahy
S_{oken}	[m ²]	plocha oken
$S_{stěn}$	[m ²]	plocha stěn
S_{strop}	[m ²]	plocha stropu
U	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla
U'	[W/m ² .K]	efektivní součinitel prostupu tepla
U_0	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla podlahou bez okrajové izolace
U_{060210}	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla (dle ČSN 06 0210)
U_{bf}	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla podlahou
U_{bw}	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla stěnou suterénu
$U_{equiv,k}$	[W/m ² .K]	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí v kontaktu se zeminou
$U_{equiv,bf,3a}$	[W/m ² .K]	ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahou (výpočet s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
$U_{equiv,bw,3a}$	[W/m ² .K]	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stěnou suterénu (výpočet s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
$U_{equiv,bf,3b}$	[W/m ² .K]	ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahou (výpočet se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
$U_{equiv,bw,3b}$	[W/m ² .K]	ekvivalentní součinitel prostupu tepla stěnou suterénu (výpočet se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb dle ČSN EN 12 831-1)
U_k	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla dané konstrukce
$U_{k,okno}$	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla oknem (dle ČSN 73 0540-2)
$U_{k,podlaha}$	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla podlahou (dle ČSN 73 0540-2)
$U_{k,příčka}$	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla příčkou (dle ČSN 73 0540-2)
$U_{k,stěna,l}$	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla lehkou stěnou (ČSN 73 0540-2)
$U_{k,stěna,t}$	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla těžkou stěnou (ČSN 73 0540-2)
$U_{k,strop}$	[W/m ² .K]	součinitel prostupu tepla stropem (dle ČSN 73 0540-2)

d	[m]	tloušťka vrstvy, konstrukce
d'	[m]	přídavná efektivní tloušťka
d_n	[m]	tloušťka okrajové izolace
d_t	[m]	ekvivalentní tloušťka podlahy
d_w	[m]	ekvivalentní tloušťka stěny
$f_{GW,k}$	[-]	opravný činitel zohledňující vliv spodní vody
f_{g1}	[-]	korekční činitel na vliv ročních změn venkovní teploty
f_{g2}	[-]	teplotní redukční činitel
$f_{ie,k}$	[-]	teplotní opravný činitel
$f_{ig,k}$	[-]	teplotní opravný činitel
$f_{U,k}$	[-]	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí
$f_{\theta_{ann}}$	[-]	opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty
h	[m]	výška místnosti
p_1	[-]	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí
p_2	[-]	přirážka na urychlení zátoku
p_3	[-]	přirážka na světovou stranu
t_e	[°C]	venkovní výpočtová teplota
$t_{e,m}$	[°C]	průměrná venkovní teplota za otopné období
t_g	[°C]	teplota zeminy
$t_{g,p}$	[°C]	teplota zeminy pod podlahou suterénu
$t_{g,s}$	[°C]	průměrná teplota zeminy u stěny suterénu
t_i	[°C]	vnitřní výpočtová teplota
t_j	[°C]	teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor
w	[m]	celková tloušťka obvodových stěn
z	[m]	hloubka podlahy suterénu
ΔU_{TB}	[W/m ² .K]	Přirážka na vliv tepelných vazeb
Ψ_g	[W/m.K]	lineární činitel prostupu tepla
$\Psi_{g,e}$	[W/m.K]	lineární činitel prostupu tepla s vlivem okrajové izolace
$\Psi_{g,es}$	[W/m.K]	lineární činitel prostupu tepla s vlivem vodorovné okrajové izolace
$\Psi_{g,ev}$	[W/m.K]	lineární činitel prostupu tepla s vlivem svislé okrajové izolace
λ	[W/m.K]	součinitel tepelné vodivosti
$\lambda_{izolace}$	[W/m.K]	tepelná vodivost tepelné izolace
λ_{zeminy}	[W/m.K]	tepelná vodivost zeminy

1. Úvod

Tepelná ztráta prostupem tepla konstrukcí v kontaktu se zeminou je nedílnou součástí výpočtů pro stanovení celkových tepelných ztrát objektů. Existuje však několik způsobů, jak tepelné ztráty zeminou stanovit. V roce 2018 nabyla platnosti nová evropská norma ČSN EN 12 831-1 zabývající se energetickou náročností budov, která umožňuje provést výpočet na základě podrobné normy ČSN EN ISO 13 370 nebo zjednodušeným postupem stanoveným normou. Předchůdce této evropské normy, tedy původní norma ČSN EN 12 831, umožňovala provést výpočet také zjednodušeným způsobem, avšak metody pro stanovení tepelné ztráty prostupem tepla přilehlou zeminou se v obou těchto normách liší. Další z možností je také dnes již neplatná původní česká technická norma ČSN 06 0210, která k výpočtu tepelných ztrát zeminou přistupuje zcela odlišným způsobem než současně platná legislativa.

Jedná-li se o projekt systému vytápění rodinného nebo bytového domu, kancelářské budovy, průmyslového objektu apod., měl by v rámci stanovení tepelných ztrát prostupem tepla vždy obsahovat výpočet tepelných ztrát přilehlou zeminou. Není ovšem nikde striktně stanoveno, jakým postupem se ve výpočtech řídit. A proto je nezdědká možné, že se výsledky od různých projekčních kanceláří nebo projektantů rozcházejí. V této práci budu aplikovat jednotlivé výpočtové postupy výše zmiňovaných norem a porovnávat jejich výsledky na několika modelových situacích, ale i reálných objektech. Pomocí výstupů získaných z matematického modelu se pokusím potvrdit, nebo vyvrátit zažitá pravidla při výpočtech tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí přiléhajících k zemskému povrchu.

2. Rešerše technických norem

Z důvodu využívání různých matematických postupů uváděných jednotlivými normami je v následujícím textu uveden přehled platných a neplatných technických norem, které jsou v této práci použity:

- ČSN EN ISO 13 370
Název: Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody
Účinnost od: 1. 3. 2009
Aktualizace: 1. 4. 2018
- ČSN EN 12 831-1
Název: Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1:
Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3
Účinnost od: 1. 10. 2018
- ČSN 73 0540-2
Název: Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
Účinnost od: 1. 11. 2011
- ČSN EN 12 831
Název: Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu
Účinnost od: 1. 4. 2005
Platnost ukončena: 1. 3. 2018
- ČSN 06 0210
Název: Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění
Účinnost od: 1. 6. 1994
Platnost ukončena: 1. 9. 2008

2.1 Součinitel prostupu tepla

Základní veličinou pro výpočty tepelných ztrát prostupem tepla je součinitel prostupu tepla U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]. Součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot jejích povrchů 1 Kelvin . Pro získání hodnoty součinitele prostupu tepla potřebujeme znát tepelný odpor R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$]. Tepelný odpor vyjadřuje, jakou plochou konstrukce a při jakém rozdílu teplot na jejích površích dojde k přenosu 1 Wattu , čili k přenosu energie o velikosti 1 Joulu za 1 sekundu . Jedná se tak o tepelně izolační vlastnost vrstvy materiálu, příp. stavební konstrukce závislé na tloušťce a tepelné vodivosti dané vrstvy nebo konstrukce. Tepelný odpor R je dán vztahem

$$R = \frac{d}{\lambda} [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}], \quad (1)$$

kde je d tloušťka vrstvy, konstrukce [m];
 λ součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$].

Odpor konstrukce při prostupu tepla R_T , který zahrnuje výměnu tepla mezi prostředím oddělenými od sebe stavební konstrukcí o tepelném odporu R s přilehlými mezními vzduchovými vrstvami, je definován vztahem

$$R_T = R_{si} + R + R_{se} [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}], \quad (2)$$

kde je R_{si} odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$];
 R odpor vedením tepla konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$];
 R_{se} odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$].

Podle jednotek U [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$] a R [$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$] je zřejmé, že se jedná o převrácené hodnoty obou veličin. Součinitel prostupu tepla konstrukcí je tedy definován vztahem

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^i \frac{d_i}{\lambda_i} + R_{se}} [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]. \quad (3)$$

Možnosti skladby podlahových konstrukcí, tloušťku d_i a tepelnou vodivost jednotlivých vrstev λ_i tato práce detailně nezohledňuje. Dále uváděné výpočty vychází

přímo z požadovaných a doporučených hodnot součinitele prostupu tepla v souladu s požadavky normy ČSN 73 0540-2.

2.2 ČSN EN ISO 13 370

Norma ČSN EN ISO 13 370 se zabývá stavebními prvky, které jsou v tepelném kontaktu se zeminou. Postup výpočtu rozlišuje podlahy na zemině, zvýšené podlahy, nevytápěné suterény v úrovni horního povrchu podlahy a vytápěné suterény v úrovni okolního terénu. V této normě jsou popsány postupy, které zohledňují třírozměrnou povahu tepelného toku v zemině pod budovami. Součinitel prostupu tepla, ačkoliv je definován pro podmínky ustáleného stavu, se také vztahuje ke střednímu tepelnému toku a střednímu rozdílu teplot. Norma zahrnuje výpočet ustálené složky přenosu tepla zeminou (roční průměrný tepelný tok zeminou) a složky přenosu tepla ovlivněné ročním periodickým kolísáním teploty (sezónní kolísání tepelného toku zeminou okolo ročního průměru). V této práci není zahrnuto kolísání venkovní teploty a je uvažováno s tzv. kvazistacionárním vedením tepla.

2.2.1 Výpočtové postupy

Nyní si představíme výpočtové postupy normy ČSN EN ISO 13 370, které jsem v této studii použil. Zaměřil jsem se na výpočet součinitelů prostupu tepla podlahy na zemině a stěn a podlahy vytápěného suterénu.

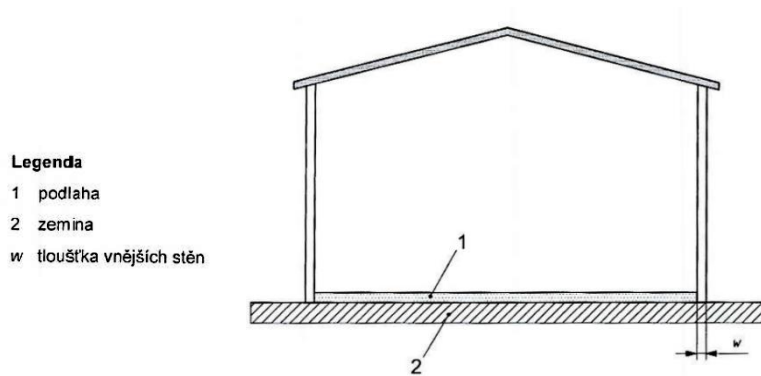
Ustálená složka přenosu tepla plochou podlahy na základě vztahů uvedených v této normě spolu s lineárními činiteli prostupu tepla pro okraj podlahy získaný například ve formě tabelovaných hodnot dle ČSN EN ISO 14683 se stanoví pomocí vztahu

$$H_g = S \cdot U + O \cdot \Psi_g \text{ [W/K]}, \quad (4)$$

kde je	H_g	ustálený měrný tepelný tok zeminou [W/K];
	S	plocha podlahy [m ²];
	U	součinitel prostupu tepla mezi vnitřním a venkovním prostředím [W/m ² .K];
	O	exponovaný obvod podlahy [m];
	Ψ_g	lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv napojení stěna/podlaha [W/m.K].

Podlaha na zemině

Podlahy na zemině zahrnují takové podlahy, které jsou tvořeny deskou, která je celou svou plochou v kontaktu se zeminou, a to bez ohledu na to, zda je v celé ploše zeminou nesena. Taková deska musí být situována v úrovni povrchu okolního terénu nebo v úrovni blízké (viz obr. 2.1).



Obr. 2.1 Schéma podlahy na zemině

Součinitel prostupu tepla U závisí na charakteristickém rozměru podlahy B' (viz kapitola 3.1.1) a na celkové ekvivalentní tloušťce d_t , která se stanoví podle vztahu

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \text{ [m]}, \quad (5)$$

Kde je w celková tloušťka obvodových stěn [m];

λ_{zeminy} tepelná vodivost zeminy [W/m.K];

R_f tepelný odpor podlahy [m².K/W].

Pokud $d_t < B'$ (neizolované nebo mírně izolované podlahy), platí

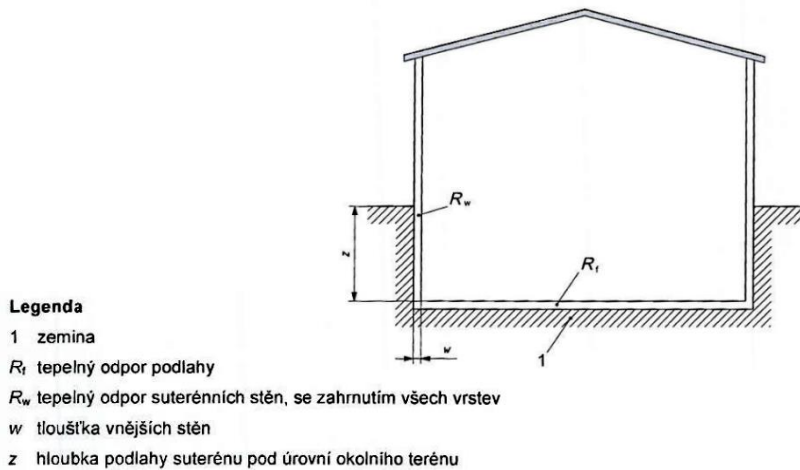
$$U = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}, \quad (6)$$

pokud $d_t \geq B'$ (dobře izolované podlahy), platí

$$U = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}. \quad (7)$$

Vytápěný suterén

Postup výpočtu je podobný jako u výpočtu pro podlahy na zemině, navíc se zohledňuje hloubka z podlahy suterénu pod úroveň okolního terénu a možnost odlišné úrovně izolování stěn a podlahy suterénu.



Obr. 2.2 Schéma budovy s vytápěným suterénem

Součinitel prostupu tepla se určuje zvlášť pro podlahu U_{bf} a zvlášť pro stěny U_{bw} . Pro podlahu suterénu využívá stejně jako u podlahy na zemině charakteristický rozměr podlahy B' a ekvivalentní tloušťku podlahy d_t , která se vypočítá podle vztahu (4). Liší se ale podmínka pro výpočet U_{bf} .

Pro $(d_t + 0,5 \cdot z) < B'$ (neizolované nebo mírně izolované podlahy) platí

$$U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1 \right) [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}], \quad (8)$$

pro $(d_t + 0,5 \cdot z) \geq B'$ (dobře izolované podlahy) platí

$$U_{bf} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]. \quad (9)$$

Pro stěny suterénu vychází výpočet z ekvivalentní tloušťky stěny d_w , která se stanoví podle vzorce

$$d_w = \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_w + R_{se}) [\text{m}], \quad (10)$$

kde je R_w tepelný odpor stěn suterénu $[\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}]$.

Pro $d_w \geq d_t$ platí

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}, \quad (11)$$

pro $d_w < d_t$ platí

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_w}{d_w + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right) \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}. \quad (12)$$

Norma také uvádí výpočet přenosu tepla z celého suterénu. Efektivní součinitel prostupu tepla, který charakterizuje celou část suterénu v kontaktu se zemínou, se stanoví jako

$$U' = \frac{(S \cdot U_{bf}) + (z \cdot O \cdot U_{bw})}{S + (z \cdot O)} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}. \quad (13)$$

Ustálený měrný tepelný tok zemínou mezi vnitřním a venkovním prostředím se vypočítá ze vztahu

$$H_g = (S \cdot U_{bf}) + (z \cdot O \cdot U_{bw}) + (O \cdot \Psi_g) \text{ [W/K]}. \quad (14)$$

Příloha B se v této normě zabývá okrajovou izolací, která je umístěna buď vodorovně, nebo svisle při obvodu podlahy. Vliv okrajové izolace je zastoupen lineárním činitelem prostupu tepla $\Psi_{g,e}$. Hodnota $\Psi_{g,e}$ může být i záporná. Pokud je základ opatřen více než jedním druhem okrajové tepelné izolace (vodorovné nebo svislé, z vnitřní nebo vnější strany), spočítá se $\Psi_{g,e}$ níže uvedeným postupem odděleně pro každou okrajovou izolaci a použije se ta hodnota, která je nižší.

Vztah pro izolaci umístěnou vodorovně na obvodu podlahy

$$\Psi_{g,ev} = -\frac{\lambda_{zeminy}}{\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \text{ [W/m} \cdot \text{K]}, \quad (15)$$

kde je D šířka vodorovné okrajové izolace [m];

d' přidavná efektivní tloušťka (dána vztahem 17) [m].

Vztah pro izolaci umístěnou svisle pod terénem na obvodu podlahy

$$\Psi_{g,es} = -\frac{\lambda_{zeminy}}{\pi} \cdot \left[\ln\left(\frac{2 \cdot D}{d_t} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \cdot D}{d_t + d'} + 1\right) \right] \text{ [W/m. K]}, \quad (16)$$

kde je D hloubka svislé okrajové izolace pod úrovní terénu [m].

Vztahy (15) a (16) obsahují přídatnou efektivní tloušťku d' vyplývající z okrajové izolace popsanou jako

$$d' = R' \cdot \lambda_{zeminy} \text{ [m]}, \quad (17)$$

kde je R' přídatný tepelný odpor okrajové izolace, tzn. Rozdíl mezi tepelným odporem okrajové izolace a tepelným odporem zeminy, kterou nahrazuje:

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda_{zeminy}} \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}, \quad (18)$$

kde je R_n tepelný odpor vodorovné nebo svislé okrajové izolace [m².K/W];

d_n tloušťka okrajové izolace [m].

Pokud je výše uvedený lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv okrajové izolace $\Psi_{g,e}$ do výpočtu zahrnut, vztah (4) v této formě se mění na

$$H_g = (S \cdot U) + O \cdot (\Psi_g + \Psi_{g,e}) \text{ [W/K]}. \quad (19)$$

Pro výpočty v ustáleném stavu může být vliv okrajové izolace zahrnut do součinitele prostupu tepla podlahy podle vztahu

$$U = U_0 + \frac{2 \cdot \Psi_{g,e}}{B'} \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}, \quad (20)$$

kde U_0 je součinitel prostupu tepla podlahou bez okrajové izolace. V tomto případě se pro výpočet ustáleného měrného toku zeminou použije vztah (4).

Výpočtové metody popsané v této kapitole byly převzaty z technické normy ČSN EN ISO 13 370 [1].

2.3 ČSN EN 12 831-1

Norma ČSN EN 12 831-1 je částí souboru norem zaměřených na mezinárodní harmonizaci metodiky posuzování energetické náročnosti budov (ENB). Všechny normy ENB se řídí specifickými pravidly zajišťujícími celkovou konzistentnost, jednoznačnost a transparentnost. Soubor norem ENB se zabývá výpočtem energetické náročnosti a s tím spojenými aspekty pro zajištění služeb uvažovaných v normách ENB. Tato norma popisuje metody pro stanovení návrhového tepelného výkonu za ustáleného stavu pro vytápěné prostory, funkční části budov a budovy, kde je návrhový tepelný výkon definován jako dodávka tepla (energie) nutná pro zabezpečení požadované vnitřní výpočtové teploty za venkovních výpočtových podmínek. Norma zahrnuje základní metodu výpočtu (univerzální) a dvě metody zjednodušené (určité případy použití, omezení okrajovými podmínkami).

2.3.1 Výpočtové postupy

Studie se bude dále zabývat také porovnáním tepelné ztráty konstrukcí přilehlé k zemině vůči celkové tepelné ztrátě celé místnosti, proto zde budou popsány celkové a dílčí návrhové tepelné ztráty prostupem pro vytápěný prostor. Obecně se tepelná ztráta prostupem počítá na základě měrných tepelných toků prostupem a rozdílů teplot způsobujících tepelné ztráty. Tyto měrné tepelné toky jsou teplotně korigované tak, že jsou vždy striktně vztaženy k rozdílu vnitřní a venkovní výpočtové teploty bez ohledu na to, jaký je aktuální teplotní rozdíl u jednotlivých stavebních částí. Z tohoto důvodu se nemusí tyto měrné tepelné toky prostupem rovnat tepelným ztrátám stanoveným podle jiných norem nebo metod.

Celková návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru $Q_{T,i}$ se stanoví podle

$$Q_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaBE} + H_{T,ig}) \cdot (t_i - t_e) \text{ [W]}, \quad (21)$$

- kde je $H_{T,i}$ měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) [W/K]
- (e) přímo do venkovního prostředí;
 - (a) do sousedních vytápěných prostor;
 - (ae) do venkovního prostředí přes sousední nevytápěné prostory;
 - (aBE) do sousední funkční části budovy považované za nevytápěnou;
 - (g) do zeminy;

- t_i vnitřní výpočtová teplota [°C];
 t_e venkovní výpočtová teplota [°C].

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) přímo do venkovního prostředí (e) $H_{T,ie}$ je dán vztahem

$$H_{T,ie} = \sum_k [S_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] \text{ [W/K]}, \quad (22)$$

- kde je S_k plocha stavební části (k) [m²];
 U_k součinitel prostupu tepla stavební části (k) [W/m².K];
 ΔU_{TB} paušální navýšení z důvodu tepelných mostů [W/m².K];
 $f_{U,k}$ opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanovování příslušných U-hodnot [-];
 $f_{ie,k}$ teplotní opravný činitel [-] viz (24).

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru (i) do zeminy $H_{T,ig}$ je dán vztahem

$$H_{T,ig} = f_{\theta ann} \cdot \sum_k [S_k \cdot U_{equiv,k} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}] \text{ [W/K]}, \quad (25)$$

- kde je $f_{\theta ann}$ opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty v průběhu roku [-];
 S_k plocha stavební části (k) v kontaktu se zeminou [m²];
 $f_{GW,k}$ opravný činitel zohledňující vliv spodní vody [-];
 $f_{ig,k}$ teplotní opravný činitel [-] viz (26);
 $U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části (k) v kontaktu se zeminou [W/m².K] viz (27).

Teplotní opravný činitel $f_{ig,k}$ je dán vztahem

$$f_{ig,k} = \frac{t_i - t_{e,m}}{t_i - t_e} [-], \quad (26)$$

- kde je $t_{e,m}$ průměrná venkovní teplota za otopné období [°C].

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí v kontaktu se zeminou $U_{equiv,k}$ lze stanovit podle dále uvedené zjednodušené metody, která byla odvozena z EN ISO 13370 omezením okrajových podmínek

$$U_{equiv,k} = \frac{a}{b + (c_1 + B')^{n_1} + (c_2 + z)^{n_2} + (c_3 + U_k + \Delta U_{TB})^{n_3}} + d \text{ [W/m}^2 \cdot \text{K]}, \quad (27)$$

- kde je B' geometrický parametr podlahové desky [m] (viz 3.1.1);
 z hloubka horní hrany podlahové desky pod úrovní zeminy [m];
 U_k součinitel prostupu tepla té stavební části, která je v kontaktu se zeminou [W/m².K] (stanovení pro konstrukci, která je v kontaktu se vzduchem dle EN ISO 6946);
 ΔU_{TB} paušální navýšení z důvodu tepelných mostů [W/m².K];
 a, b, c, d, n parametry pro výpočet $U_{equiv,k}$ [-] viz *tabulka 2.1*.

Tab. 2.1 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	10,76	9,773	0,0265	0,5532	0,6027	-0,9296	-0,0203
Stěna sklepa	0,93328	-2,1552	0 ^a	1,466	0,1006	0 ^a	0,45325	-1,0068	-0,0692
^a Na tepelnou ztrátu stěnami sklepa nemá B' žádný vliv; pro zachování integrity vzor vzorce, však musí být zajištěno $B' \neq 0$									

Výpočtové metody popsané v této kapitole byly převzaty z technické normy ČSN EN 12 831-1 [2].

2.4 ČSN EN 12 831

Norma ČSN EN 12 831 stanovuje postup výpočtu dodávky tepla nutného k bezpečnému dosažení vnitřní výpočtové teploty. Popisuje výpočet návrhového tepelného výkonu pro jednotlivé místnosti nebo vytápěný prostor pro dimenzování otopných ploch a pro celou budovu nebo její funkční část pro dimenzování tepelného výkonu. Norma také uvádí zjednodušenou výpočtovou metodu. Metody pro výpočet návrhové tepelné ztráty a návrhového tepelného výkonu jsou uvedeny pro standardní případy při návrhových podmínkách. Standardní případy zahrnují všechny budovy

s omezenou výškou místnosti a s vytápěním do ustáleného stavu při návrhových podmínkách. Zvláštní případy, jako jsou např. budovy s vysokou výškou stropu, halové stavby nebo budovy s výrazně rozdílnou teplotou vzduchu a střední teploty sálání, jsou popsány v přílohách. Na základě výsledků návrhové tepelné ztráty se poté stanoví návrhový tepelný výkon.

2.4.1 Výpočtové postupy

V analytické části budu pro výpočet celkových tepelných ztrát prostupem tepla využívat novou normu ČSN EN 12 831-1, proto se nyní práce zaměří pouze na metodu výpočtu tepelné ztráty do přilehlé zeminy, která se od metody v nové normě liší, a jejich výsledky budou také vzájemně porovnány. Tato norma stanovuje tepelné ztráty do zeminy podle EN ISO 13 370 podrobným výpočtem (viz kapitola 2.2.1) nebo zjednodušeným níže popsaným výpočtem.

Hodnota součinitele tepelné ztráty prostupem do zeminy v ustáleném stavu $H_{T,ig}$ z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) se vypočte z rovnice

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k S_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_w \text{ [W/K]}, \quad (28)$$

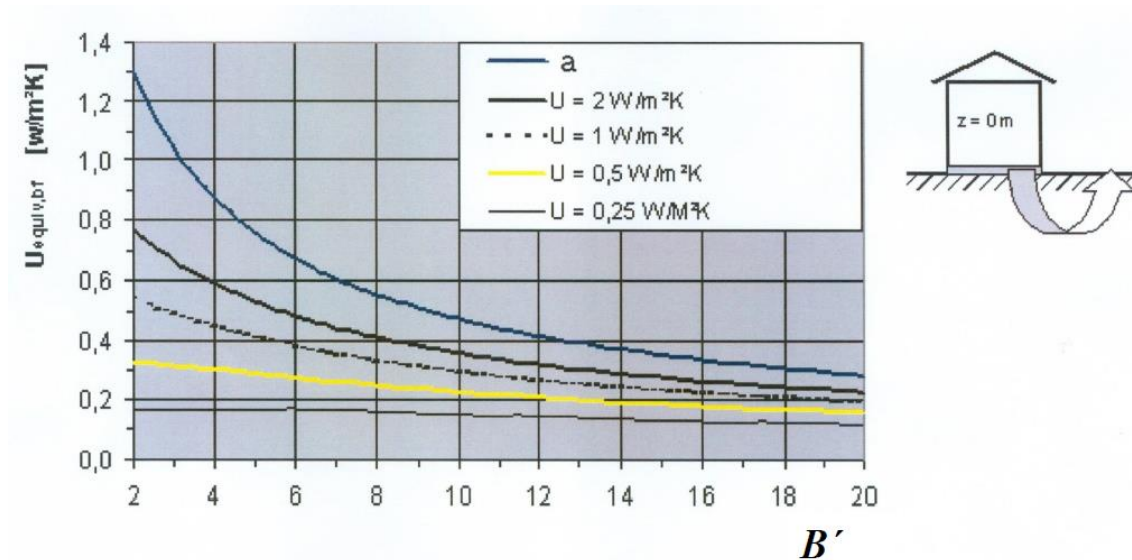
- kde je f_{g1} korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty [-];
 f_{g2} teplotní redukční činitel [-] viz (29);
 S_k plocha stavební části (k) v kontaktu se zeminou [m²];
 G_w korekční činitel zohledňující vliv spodní vody [-];

$U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí (k) [W/m².K], stanovený podle typologie podlahy (viz obrázky 2.3 až 2.5).

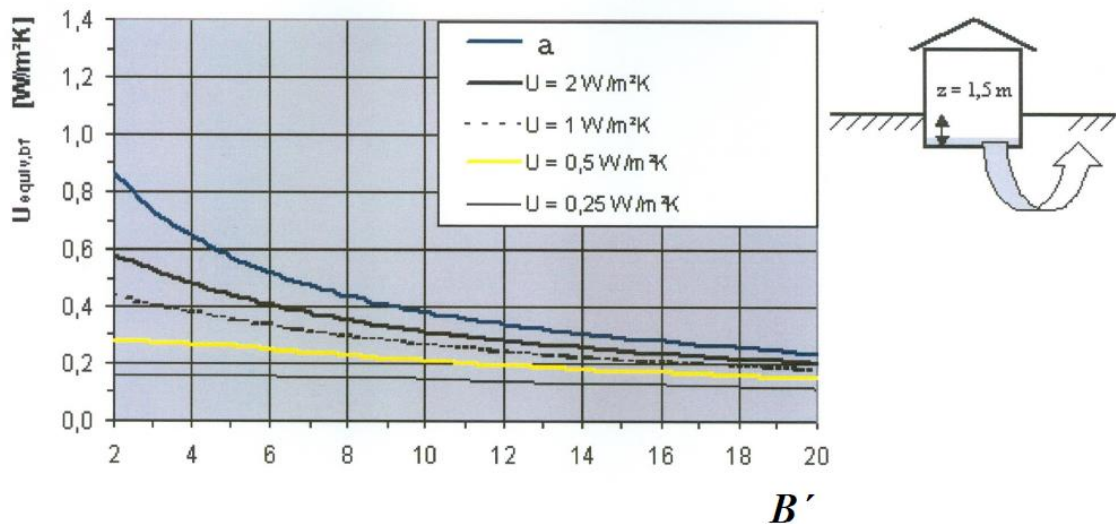
Teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou f_{g2} se stanoví podle níže uvedeného vztahu (viz (26))

$$f_{g2} = \frac{t_i - t_{e,m}}{t_i - t_e} [-]. \quad (29)$$

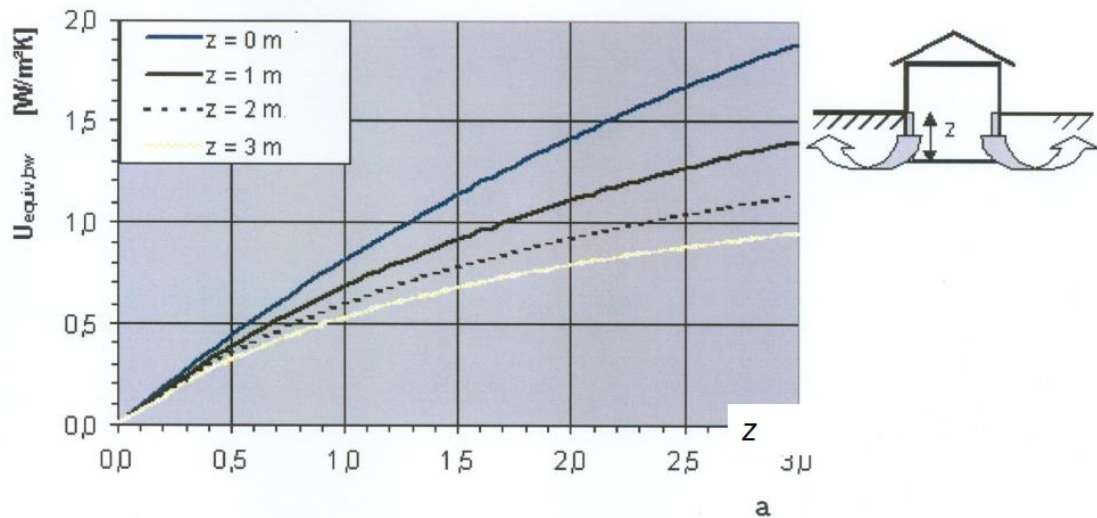
Obrázky 2.3 až 2.5 poskytují určení hodnot $U_{equiv,k}$ pro různé typologie podlah v závislosti na U -hodnotě stavebních částí a charakteristickém parametru B' (viz 3.1.1). Metody pro stanovení $U_{equiv,k}$ se liší pro podlahovou desku na zemině (viz obr. 2.3), pro vytápěné podzemní podlaží s podlahovou deskou pod úrovní zeminy (viz obr. 2.4) a pro části stěny vytápěného podzemního podlaží (viz obr. 2.5).



Obr. 2.3 $U_{equiv,bf}$ – hodnota podzemního podlaží pro podlahovou desku na zemině v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a parametru B'



Obr. 2.4 $U_{equiv,bf}$ – hodnota pro části podlahy vytápěného podzemního podlaží s podlahovou deskou 1,5 m pod úrovní zeminy v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a parametru B'



Obr. 2.5 $U_{equiv,bw}$ – hodnota pro část stěny vytápěného podzemního podlaží v závislosti na součiniteli prostupu tepla podlahou a hloubkou z pod úroveň zeminy

Výpočtové metody popsané v této kapitole byly převzaty z technické normy ČSN EN 12 831 [3].

2.5 ČSN 06 0210

Norma ČSN 06 0210 stanovuje postup výpočtu tepelných ztrát budov prostupem tepla stěnami a větráním za kvazistacionárních podmínek při nepřerušovaném vytápění jako podklad pro dimenzování otopných soustav ústředního vytápění a pro stanovení tepelné charakteristiky budov podle ČSN 73 0540. Norma stanovuje tepelné ztráty v jednotlivých místnostech (prostorách). Při návrhu otopné soustavy ústředního vytápění v těchto místnostech je nutné zohlednit i tepelné zisky např. z oslunění, trvalého pobytu osob, technologie apod.

2.5.1 Výpočtové postupy

Na rozdíl od předchozích norem, kde se metody výpočtu tepelných ztrát prostupem konstrukcí zaměřovaly na stanovení měrných tepelných toků ve Watech na Kelvin, v této normě jsou výsledkem tepelné ztráty ve Watech. Tepelná ztráta místnosti prostupem tepla Q_p se určí podle vztahu

$$Q_p = Q_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) \text{ [W]}, \quad (30)$$

- kde je Q_o základní tepelná ztráta prostupem tepla [W];
 p_1 přírážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí [-];
 p_2 přírážka na urychlení zátopy [-];
 p_3 přírážka na světovou stranu [-].

Základní tepelná ztráta prostupem tepla Q_o se rovná součtu tepelných toků prostupem tepla v ustáleném tepelném stavu jednotlivými konstrukcemi ohraničujícími vytápěnou místnost do venkovního prostředí nebo do sousedních místností.

$$Q_o = \sum_{j=1}^n [U_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_{ej})] \text{ [W]}, \quad (31)$$

- kde je S_j ochlazovaná část stavební konstrukce [m^2];
 U_j součinitel prostupu tepla dané konstrukce [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$];
 t_i výpočtová vnitřní teplota [$^{\circ}\text{C}$];
 t_{ej} výpočtová teplota prostředí na vnější straně dané konstrukce [$^{\circ}\text{C}$].

Přirážkou na vyrovnání vlivu chladných stavebních konstrukcí p_1 se umožňuje zvýšení teploty vnitřního vzduchu tak, aby i při nižší povrchové teplotě ochlazovaných konstrukcí bylo ve vytápěné místnosti dosaženo požadované výpočtové vnitřní teploty t_i , pro kterou se počítá základní tepelná ztráta Q_o .

$$p_1 = 0,15 \cdot \frac{Q_o}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} \text{ [-]}, \quad (32)$$

- kde je $\sum S$ celková plocha všech konstrukcí ohraničující místnost [m^2];
 t_e výpočtová venkovní teplota [$^{\circ}\text{C}$].

S přírážkou na urychlení zátopu p_2 se v bytové výstavbě, nemocnicích apod. uvažuje jen v případech, kde ani při nejnižších venkovních teplotách nelze zajistit nepřerušovaný provoz vytápění. Za normálních okolností se s přírážkou p_2 nepočítá, neboť při výpočtových podmínkách se předpokládá nepřerušovaný provoz vytápění.

O výši přírážky na světovou stranu p_3 rozhoduje poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce místnosti. Při více ochlazovaných konstrukcích, poloha jejich společného rohu. U místnosti se třemi nebo čtyřmi ochlazovanými konstrukcemi se počítá s přírážkou nejvyšší. Hodnota přírážky p_3 viz *tabulka 2.2*.

Tab. 2.2 Přírážka na světovou stranu p_3

Světová strana	J	JZ	Z	SZ	S	SV	V	JV
Přírážka p_3	-0,05	0	0	0,05	0,1	0,05	0,05	0

Při výpočtu tepelné ztráty prostupem nepodsklepených podlah přízemních místností a hal přiléhajících k zemině se uvažuje s průměrnou teplotou zeminy $t_g = +10$ °C. Pro ostatní konstrukce přilehlé k zemině, sklepní místnosti částečně nebo zcela pod úrovní okolního terénu se uvažuje s teplotou přilehlé zeminy podle *tabulky 2.3* a počítá se s ní jako s výpočtovou venkovní teplotou t_e .

Tab. 2.3 Teplota přilehlé zeminy ke stavebním konstrukcím

Podlaha přilehlé zeminy	Teplota přilehlé zeminy t_g [°C] při výpočtové venkovní teplotě t_e			
	-12 °C	-15 °C	-18 °C	-21 °C
Pod podlahou	+5	+5	+5	+5
- do hloubky 1 m	-3	-3	-6	-6
- v hloubce 1 až 2 m	0	0	-3	-3
- v hloubce 2 až 3 m	+3	+3	0	0
- v hloubce přes 3 m	jako pod podlahou			

Výpočtové metody popsané v této kapitole byly převzaty z technické normy ČSN 06 0210 [4].

3. Analýza výsledků matematického modelu

Technické normy popsané v kapitole 2 udávají odlišné postupy a metody výpočtu pro získání hodnot tepelné ztráty prostupem tepla stavební konstrukcí v kontaktu se zeminou. Různé metody vedou k různým výsledkům, proto jsem v tabulkovém procesoru MS Excel (dále jen Excel) vytvořil matematický model, který na základě stejných vstupních údajů a okrajových podmínek porovnává výsledky jednotlivých norem. Model jsem testoval na několika geometriích a umístění uvažované podlahové konstrukce v závislosti na charakteristickém rozměru podlahy B' tak, abych dosáhl největšího vzorku možných výsledků. Zvláště jsem porovnal v současnosti již neplatnou technickou normu ČSN EN 12 831 s aktuálně platnou ČSN EN 12 831-1 a tu pak dále s normami ČSN EN ISO 13 370 a ČSN 06 0210.

3.1 Okrajové podmínky výpočtu

Všechny výpočtové postupy jednotlivých norem vycházejí z předem známých nebo určených okrajových podmínek a vstupních údajů. Jednotlivé hodnoty veličin se dělí na ty, které jsou dány nebo doporučeny normou a na ty, které se stanovují v závislosti na typu a požadavcích projektu. V *tabulce 3.1* jsou uvedeny všechny okrajové podmínky, které jsem do výpočtů v této studii zahrnul.

Tab. 3.1 Okrajové podmínky matematického modelu

Popis	Značení	Hodnota	Jednotky
Vnitřní výpočtová teplota	t_i	20	[°C]
Venkovní výpočtová teplota	t_e	-12	[°C]
Průměrná venkovní teplota za otopné období	$t_{e,m}$	4,3	[°C]
Teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor	t_j	20	[°C]
Tepelná vodivost tepelné izolace	$\lambda_{izolace}$	0,04	[W/m.K]
Celková tloušťka obvodových stěn	w	0,4	[m]
Výška místnosti	h	3	[m]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně podlahy	$R_{si,t}$	0,17	[m ² .K/W]
Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně stěny	$R_{si,w}$	0,13	[m ² .K/W]
Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce	R_{se}	0,04	[m ² .K/W]
Lineární činitel prostupu tepla	Ψ_g	0,04	[W/m.K]
Korekční činitel zahrnující vliv spodní vody	G_w	1	[-]
Tloušťka okrajové izolace	d_n	0,05	[m]
Šířka vodorovné / hloubka svislé okrajové izolace	D	0,5	[m]
Opravný činitel zohledňující vliv změny venkovní teploty	$f_{\theta_{ann}}$	1,45	[-]
Opravný činitel zohledňující vliv spodní vody	$f_{GW,k}$	1	[-]
Opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí	$f_{U,k}$	1	[-]
Teplotní opravný činitel	$f_{ie,k}$	1	[-]
Přirážka na urychlení zátoku	p_2	0	[-]

Každá hodnota lze samozřejmě v Excelu změnit a nastavit podle vlastních požadavků. Souhrnné výstupy prezentované dále v práci však vychází právě z těchto výše uvedených okrajových podmínek. Nejvíce by se na celkovém výsledku tepelné ztráty přilehlou zeminou projevila jiná hodnota vnitřní výpočtové teploty t_i , která se vztahuje ke všem počítaným normám a může se pohybovat ve velkém číselném rozmezí. Naopak změna hodnot jako je například tloušťka obvodových stěn w , tepelné odpory R , venkovní výpočtová teplota t_e , přirážky a různé korekční nebo opravné činitele, se na celkových výsledcích projeví minimálně, v některých případech téměř zanedbatelně. Je důležité si uvědomit, že k porovnání různých metod výpočtu bylo přikročeno zejména pro vzájemnou korelaci vypočtených hodnot, nikoli pro klasifikaci absolutních hodnot tepelné ztráty přilehlou zeminou.

Dále se práce zaměří na veličiny, jejichž hodnoty lze v rámci modelu vybírat z doporučených nebo předem definovaných seznamů. V tabulce 3.2 jsou uvedeny volitelné vstupní parametry využívané v dalších výpočtech. Nejvýznamnější vliv mají hodnoty součinitele prostupu tepla U a u podsklepených budov především hloubka

podlahy suterénu z . Hodnoty součinitele prostupu tepla byly převzaty z normy ČSN 73 0540-2 a hloubky podlah suterénů byly v rámci studie zvoleny. Na *obrázku 3.1* jsou schematicky znázorněny řezy vytápěných prostor, se kterými model počítá. Všechny uvažované místnosti jsou 3 m vysoké a liší se pouze jejich vertikální uložením vůči povrchu zeminy. Podlahy na zemině mají samozřejmě hloubku nulovou. Částečně podsklepené místnosti zasahují spodní polovinou výšky pod povrch zeminy a horní polovinou nad zeminu do venkovního prostředí. Místnosti s hloubkou podlahy suterénu 3 m představují prostor 1. podzemního podlaží, jehož horní část leží ve stejné úrovni jako povrch zeminy. Poslední varianta popisuje 2. podzemní podlaží, tedy místnost, jejíž podlaha se nachází v 6 m pod povrchem zeminy a strop ve 3 m (v místnosti nad se uvažuje stejná vnitřní výpočtová teplota).

Tab. 3.2 Volitelné vstupní parametry

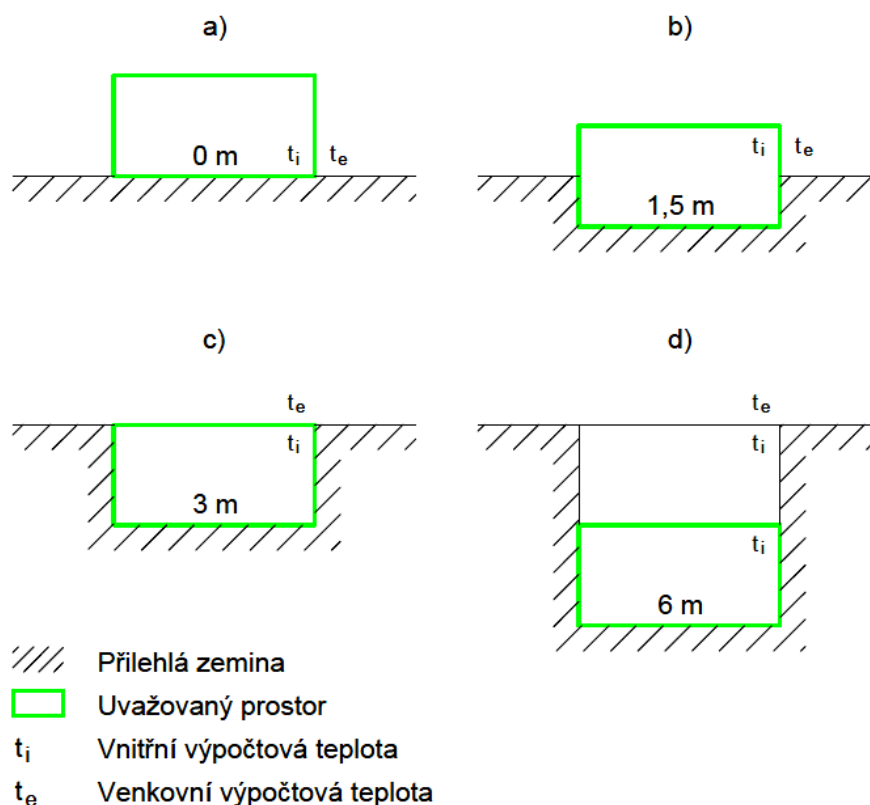
		Součinitel prostupu tepla (dle ČSN 73 0540-2)		
		Požadované	Doporučené	Pasivní budovy
$U_{k, \text{podlaha}}$	[W/m ² .K]	0,45	0,30	0,15
$U_{k, \text{stěna,t}}$		0,30	0,25	0,12
$U_{k, \text{stěna,l}}$		0,30	0,20	0,12
$U_{k, \text{strop}}$		0,24	0,16	0,10
$U_{k, \text{okno}}$		1,10	0,90	0,70
$U_{k, \text{příčka}}$		0,60	0,40	0,20

		Hloubka podlahy suterénu			
		Podlaha na zemině	Částečně podsklepené	1. PP	2. PP
z	[m]	0	1,5	3,0	6,0

		Přirážka na vliv tepelných vazeb (dle ČSN EN 12 831-1)			
		Optimalizované	Typové	Standardní	Zanedbané
ΔU_{TB}	[W/m ² .K]	0,02	0,05	0,10	0,15

		Odpor zeminy (dle ČSN 06 0210)		
		Sypká zemina a písek	Kompaktní skála	Pod hladinou spodní vody
R_{zeminy}	[m ² .K/W]	1,11	0,42	0

		Tepelná vodivost zeminy (dle ČSN EN ISO 13 370)		
		Hlíny a jíly	Písky a šterky	Stejnorodá skála
λ_{zeminy}	[W/m.K]	1,5	2,0	3,5



Obr. 3.1 Modelové situace uvažovaných vytápěných prostor:

- a) Podlaha na zemině; b) hloubka podlahy suterénu v 1,5 m (částečně podsklepené);
 c) hloubka podlahy suterénu ve 3 m (1. PP); d) hloubka podlahy suterénu v 6 m (2.PP)

Na obrázku 3.1 nemají horizontální rozměry jednotlivých situací žádný vliv. Jelikož je ale nutné znát kompletní rozměry místností a hlavně plochy podlahových konstrukcí, vytvořil jsem pro tuto studii několik typových geometrií, na kterých jsem porovnal výsledky jednotlivých normových postupů. Tím se konečně dostávám k nejzásadnější okrajové podmínce této práce, a to je geometrický parametr podlahové desky B' . Rozměry podlahových ploch a jejich umístění v prostoru jsem volil tak, abych pokryl co největší rozsah hodnot B' (viz obr. 3.2 a 3.3) a mohl poukázat na to, jak se v různých situacích chovají výsledky použitých technických norem.

3.1.1 Geometrický parametr podlahové desky

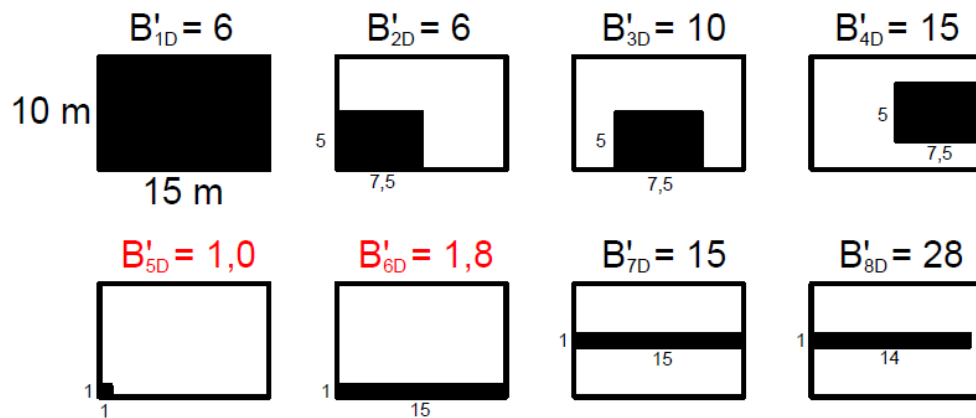
Základním parametrem sloužícím ke stanovení součinitele prostupu tepla stavební konstrukcí ve styku se zeminou a následných tepelných ztrát je charakteristický rozměr podlahy B' . Vztah je definován jako plocha podlahy S dělená polovinou jejího obvodu O , který je v kontaktu s venkovním prostředím ve tvaru

$$B' = \frac{S}{0,5 \cdot O} \text{ [m]}. \quad (33)$$

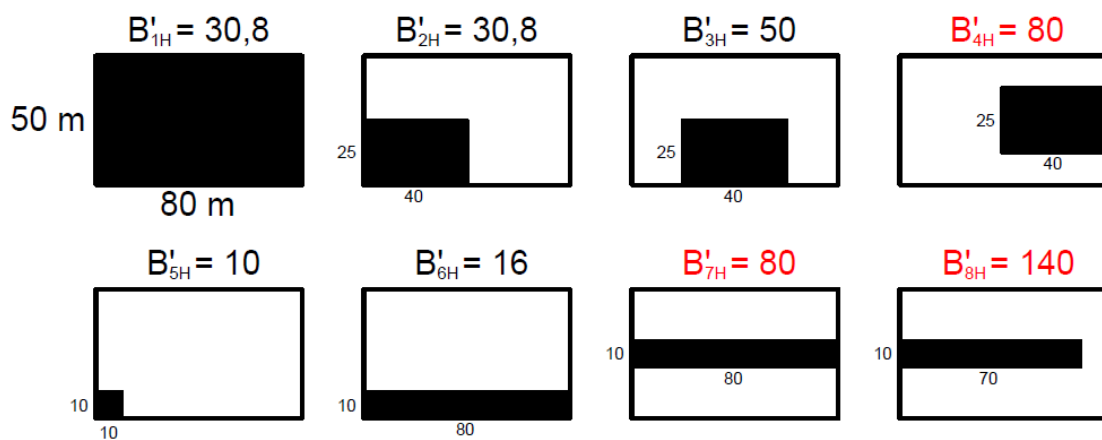
Specifické konstrukce základů, jako je např. okrajová tepelná izolace podlahy, jsou chápány tak, jako by ovlivňovaly tepelný tok na obvodu. Jedná-li se o podlahu v úrovni okolní zeminy, počítá se B' pouze z plochy a obvodu podlahy a nezahrnují se sem stěny suterénu. O vyjadřuje exponovaný obvod podlahy, tedy celkovou délku vnějších stěn, které oddělují vytápěnou místnost od venkovního prostředí nebo od nevytápěného prostoru. S vyjadřuje vždy uvažovanou plochu podlahové konstrukce.

Uvažujeme-li čtvercovou místnost se všemi stěnami v kontaktu s venkovním prostředím, rovná se B' polovině délky jedné strany čtverce. V případě nekonečně dlouhé podlahy se B' rovná šířce podlahy. Výsledné hodnoty charakteristického rozměru podlahy nejvíce ovlivňuje horizontální dispozice uvažovaného objektu a s tím spojená velikost plochy jednotlivých podlahových konstrukcí. Nová evropská norma ČSN EN 12 831-1 využívá pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla typické okrajové podmínky geometrického parametru podlahové desky $2 \text{ m} \leq B' \leq 50 \text{ m}$. Pro běžné plochy podlahových konstrukcí je tento rozsah hodnot dostačující. Zaměříme-li se na rodinný dům o celkových rozměrech maximálně v desítkách metrů, je téměř nemožné přesáhnout hodnotu $B' = 50 \text{ m}$. Může ale nastat situace, kdy se dostaneme s charakteristickým rozměrem pod spodní hranici, tedy $< 2 \text{ m}$ (viz obr. 3.2). V tomto případě by se muselo jednat o plochy minimálních rozměrů (např. sklad potravin), které ale v reálné situaci nebudeme pravděpodobně vůbec vytápět, neboť se většinou nachází uvnitř objektu (tzn. nemají venkovní stěnu), nebo nejsou uvažovány jako vytápěné místnosti. Další možností, jak dosáhnout hodnoty B' menší než 2 m , jsou takové podlahy, u kterých velmi záleží na poměru celkové plochy a nechráněném obvodu. Bude-li uvažovaná plocha ve velkém nepoměru šířky a délky (např. $1 \times 10 \text{ m}$), záleží pak významně na poloze této „místnosti“ v domě. Jestliže bude tato místnost tvořit po celé

její délce okrajovou konstrukci mezi venkovním prostředím, může hodnota B' vycházet menší než 2 m. Pokud ale místnost přesuneme jinam než na okraj domu, hodnota geometrického parametru naroste a okrajové podmínky splní. Bude-li se ovšem jednat o objekt, jehož rozměry nabývají až stovek metrů (např. haly, průmyslové objekty apod.), nastává opačný problém. Pod hranici 2 m se reálně nikdy nedostaneme, naopak přes hodnotu $B' = 50$ m velmi jednoduše (viz obr. 3.3). Na pozici, tvaru a ploše uvažované podlahové konstrukce zaleží mnohem více než u rodinného domu. Pokud bychom např. objekt podélně rozdělili na několik zón, které by představovaly jednotlivé podlahové plochy, tak u krajních zón se do rozsahu hodnot B' vejde, ale u vnitřních můžeme horní hranici 50 m několikrát překročit. Na obrázcích 3.2 a 3.3 jsou pro jednotlivé geometrie místností hodnoty B' číselně uvedeny. Červený text označuje typy podlahových ploch, které se do rozmezí hodnot 2 až 50 m nevešly.



Obr. 3.2 Názorný přehled geometrie různých podlahových ploch a jejich umístění v prostoru
Všechny rozměry a charakteristická čísla v metrech; ■ = uvažovaná podlahová plocha



Obr. 3.3 Názorný přehled geometrie různých podlahových ploch a jejich umístění v prostoru
Všechny rozměry a charakteristická čísla v metrech; ■ = uvažovaná podlahová plocha

3.1.2 Teplota zeminy

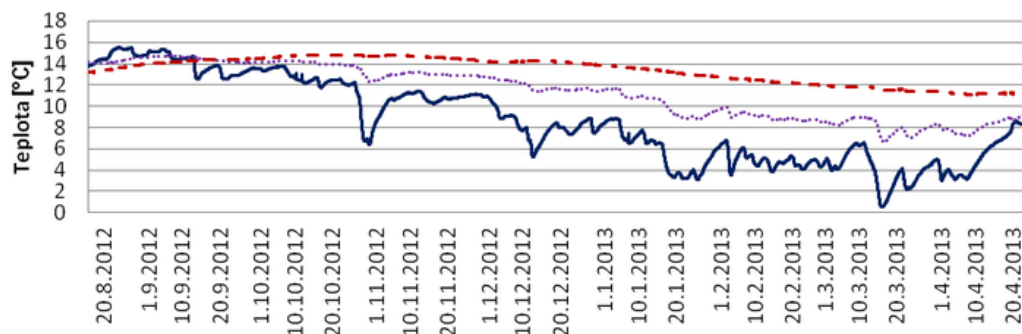
Jednou ze zásadních okrajových podmínek je také teplota zeminy. Pro účely výpočtů tepelných ztrát chybí jednoduchá nebo všeobecná metoda pro stanovení průběhu teplotního pole v zemině pod podlahou. Technická norma ČSN 06 0210 udává pro podlahu na zemině průměrnou teplotu zeminy $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. V tabulce 2.3 už ale norma popisuje, že pod podlahou počítá s $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (shodně pro různé venkovní výpočtové teploty) a v hloubce 1 m je skok až o 11 K dolů na teploty -3 až $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Poté se zvětšující se hloubkou teplota zeminy zase roste a ve 3 m pod povrchem zeminy se dostává opět na hodnotu $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zásadním je pravděpodobně slovo “průměr“, kdy $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ je uvažováno jako průměrná teplota pod celou podlahou, zatímco teploty pohybující se mezi 5 až $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ se vztahují pouze k okraji konstrukce. Otázkou zůstává, jaké jsou průměrné teploty pod podlahou v hloubce např. 3 až 6 m. Československá norma (ČSN 06 0210) pro výpočet tepelných ztrát budov při navrhování ústředního vytápění z poloviny minulého století (tj. v původním vydání) zase počítala s teplotu přilehlé zeminy pod podlahou $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a u venkovní stěny $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro nevytápěné sklepy částečně nad terénem se uvažovalo s vnitřní teplotou $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro sklepy zcela pod terénem se $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, z čehož vyplývá, že teplota zeminy se zvětšující se hloubkou rostla.

Metody uvedené v normě ČSN EN ISO 13 370 jsou z hlediska výpočtu tepelných toků v zemině problematické, protože většinou vedou k matematické simulaci. Přenos tepla je charakterizován tepelným tokem plochou podlahy, tepelným tokem po obvodu podlahy a ročním periodickým tepelným tokem. Bohužel nic z uvedeného nezohledňuje dosud málo popsanou teplotu v zemině, která se v těchto výpočtech zahrnuje jako další vrstva konstrukce, charakterizovaná pouze tepelnou vodivostí a setrvačností [6].

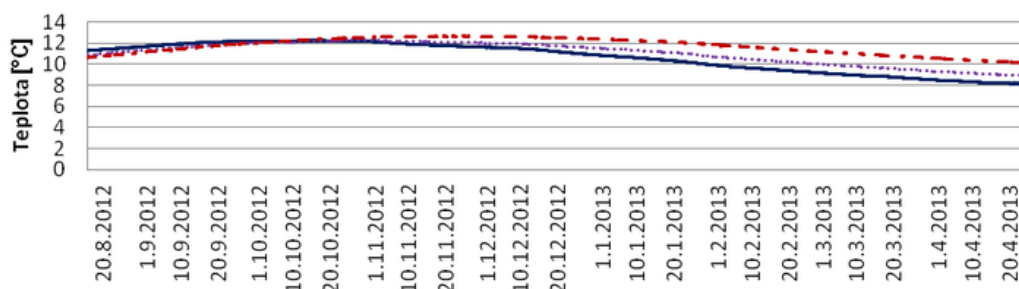
Přesnější popis teplotního pole v zemině pod podlahou musí být podpořen měřením skutečných teplot v zemině v různých hloubkách a vzdálenostech od okraje podlahy. V rámci výstavby budovy Inovačního a výzkumného centra MSDK (Moravskoslezský dřevařský klastr) v areálu stavební fakulty VŠB-TU v Ostravě – Porubě byly pod podlahou zabudovány teplotní čidla ve čtyřech sondách (vždy v hloubce 0,7 m, 1,5 m a 3,0 m pod úrovní terénu), které slouží k trvalému měření a zaznamenávání teplot v zemině. Rozmístění jednotlivých sond a umístění teplotních čidel je patrné z dalších obrázků [6].

Měření probíhala mezi srpnem 2012 a dubnem 2013. Na *obrázku 3.4* je graficky znázorněn průběh teplot v zemině pod podlahou v hloubce 0,7 a 3 m. Tmavě modrá nepřerušovaná křivka popisuje v obou případech kolísání teplot, které zaznamenala sonda na okraji podlahy, zatímco červená přerušovaná křivka znázorňuje teploty naměřené sondou uprostřed místnosti pod podlahou.

Teplota v zemině pod podlahou v hloubce 0,7 m

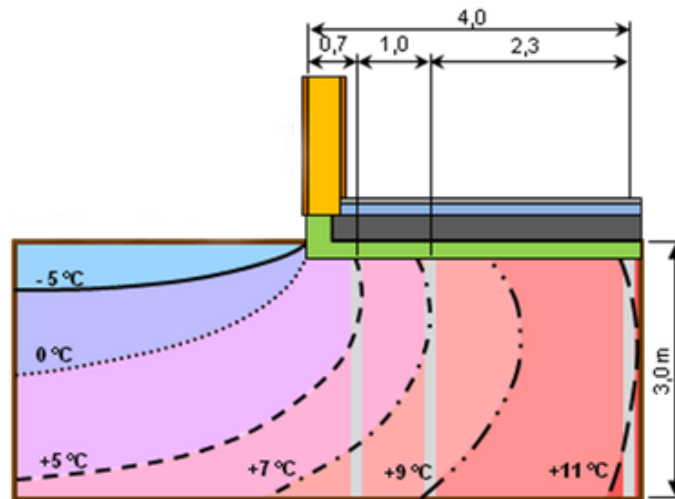


Teplota v zemině pod podlahou v hloubce 3,0 m



Obr. 3.4 Průběh teplot v zemině pod podlahou v hloubce 0,7 a 3 m [6]

Z *obrázku 3.4* je zřejmé, že na okraji konstrukce těsně pod podlahou dochází k největšímu kolísání teplot. Uprostřed místnosti ale k nijak výraznému kolísání nedochází a nemění se zásadně ani s hloubkou. Ve 3 metrech pod podlahou lze z grafu přibližně určit průměrnou teplotu zeminy cca 11 °C. Skutečný průběh izoterm pod podlahovou konstrukcí by tedy mohl vypadat podle následujícího obrázku [6].



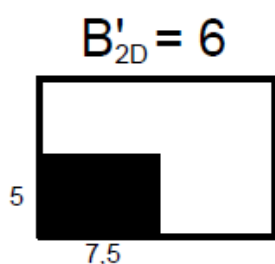
Obr. 3.5 Skutečný průběh izoterm [6]

Z dosavadních výsledků měření teplot v zemině pod podlahou vyplývají následující skutečnosti:

- Teplota v zemině i pod velmi dobře tepelně izolovanou podlahou (mimo její okrajové části) je během celé otopné sezóny relativně vysoká (i více než $+10\text{ °C}$) – to odporuje teoretickým výpočtům (na základě řešení 2D nebo 3D teplotního pole), kdy mohou teploty pod takovým typem podlah vycházet i záporné.
- Podlaha tu spíše než konstrukce, přes kterou dochází k dotaci tepla do zeminy, působí jako tepelný izolant, který brání ochlazování zeminy z venkovního prostředí.
- Nejvýrazněji se projevuje rozdíl mezi teorií a skutečností na modelu podlahy se zeminou s adiabatickou hranicí – u dobře tepelně izolovaných podlah vychází teoretická teplota pod středem podlahy cca -7 °C , zatímco ve skutečnosti je tu teplota cca $+11\text{ °C}$ - to je rozdíl 18 K.
- Na teplotu v zemině pod okrajovými částmi podlahy (cca do vzdálenosti 1,5 m od vnějšího líce stěny a do hloubky 1 m pod terén) se projeví změny teploty venkovního vzduchu trvající v řádu dní (min. 1 až 3 dny) – hodinové změny teplot v rámci 1 dne nemají vzhledem k tepelné setrvačnosti zeminy žádný (anebo jen minimální) vliv [6].

3.2 Příklad výpočtu

Okrajové podmínky jsou již definovány, a proto se nyní zaměřím na postup výpočtu použitý v matematickém modelu. Pro přehlednost popisu jsem z *obrázku 3.2* vybral jednu geometrii místnosti a uvažované podlahové konstrukce, jejíž hodnota charakteristického rozměru $B'_{2D} = 6$ m (viz *obr. 3.6*). V této kapitole popíšu postup výpočtu tepelných ztrát podlahou na zemině, vytápěným suterénem i podíl těchto ztrát na celkové tepelné ztrátě prostupem místnosti a porovnáám výsledky norem ČSN EN ISO 13 370, ČSN EN 12 831-1 a ČSN 06 0210.



Obr. 3.6 Geometrie a umístění uvažované podlahové konstrukce (v metrech)

3.2.1 Podlaha na zemině

Geometrický parametr podlahové desky, viz (33)

$$B' = \frac{S}{0,5 \cdot 0} = \frac{(7,5 \cdot 5)}{0,5 \cdot (7,5 + 5)} = 6 \text{ m.} \quad (34)$$

Tepelný odpor vedením tepla podlahou, viz (3)

$$R_f = \frac{1}{U_{k,podlaha}} - R_{si,t} - R_{se} = \frac{1}{0,3} - 0,17 - 0,04 = 3,123 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (35)$$

kde je $U_{k,podlaha}$ doporučená hodnota součinitele prostupu tepla podlahou dle ČSN 73 0540-2 [W/m².K].

ČSN EN ISO 13 370

Celková ekvivalentní tloušťka podlahy, viz (5)

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si,t} + R_f + R_{se}) = 0,4 + 2 \cdot (0,17 + 3,123 + 0,04) = 7,067 \text{ m}, \quad (36)$$

kde je λ_{zeminy} hodnota tepelné vodivosti zeminy pro písky a šterky [W/m.K].

$d_t \geq B' \Rightarrow$ Dopočítaný součinitel prostupu tepla podlahou, viz (7)

$$U = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2}{0,457 \cdot 6 + 7,067} = 0,204 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}. \quad (37)$$

Přídavná efektivní tloušťka, úpravou vztahů (17) a (18)

$$d' = \lambda_{zeminy} \cdot \left(\frac{d_n}{\lambda_{izolace}} - \frac{d_n}{\lambda_{zeminy}} \right) = 2 \cdot \left(\frac{0,05}{0,04} - \frac{0,05}{2} \right) = 2,450 \text{ m}. \quad (38)$$

Lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv okrajové vodorovné izolace, viz (15)

$$\Psi_{g,ev} = -\frac{\lambda_{zeminy}}{\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right],$$

$$\Psi_{g,ev} = -\frac{2}{\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{0,5}{7,067} + 1 \right) - \ln \left(\frac{0,5}{7,067 + 2,450} + 1 \right) \right] = -0,011 \text{ W/m} \cdot \text{K}. \quad (39)$$

Lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv okrajové svislé izolace, viz (16)

$$\Psi_{g,es} = -\frac{\lambda_{zeminy}}{\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2 \cdot D}{d_t + d'} + 1 \right) \right],$$

$$\Psi_{g,es} = -\frac{2}{\pi} \cdot \left[\ln \left(\frac{2 \cdot 0,5}{7,067} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2 \cdot 0,5}{7,067 + 2,450} + 1 \right) \right] = -0,021 \text{ W/m} \cdot \text{K}, \quad (40)$$

$$\Psi_{g,ev} < \Psi_{g,es} \Rightarrow \Psi_{g,e} = -0,021 \text{ W/m} \cdot \text{K}. \quad (41)$$

Zjednodušený výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou se zanedbáním vlivu napojení stěna/podlaha Ψ_g , viz (4)

$$H_{g,1} = S \cdot U = 37,5 \cdot 0,204 = 7,65 \text{ W/K.} \quad (42)$$

Podrobný výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou, viz (19) a (20)

$$H_{g,2a} = \left[S \cdot \left(U + \frac{2 \cdot \Psi_{g,e}}{B'} \right) + O \cdot (\Psi_g + \Psi_{g,e}) \right] \cdot G_w,$$

$$H_{g,2a} = \left\{ 37,5 \cdot \left[0,204 + \frac{2 \cdot (-0,021)}{6} \right] + 12,5 \cdot [0,04 + (-0,021)] \right\} \cdot 1 = 7,63 \text{ W/K.} \quad (43)$$

Podrobný výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou se zanedbáním vlivu okrajové izolace $\Psi_{g,e}$, viz (43)

$$H_{g,2b} = \left[37,5 \cdot \left(0,204 + \frac{2 \cdot 0}{6} \right) + 12,5 \cdot (0,04 + 0) \right] \cdot 1 = 8,15 \text{ W/K.} \quad (44)$$

Tepelné ztráty prostupem tepla zeminou všech tří variant výsledků, viz (45)

$$Q_g = H_g \cdot (t_i - t_e) \text{ [W]}, \quad (45)$$

$$Q_{g,1} = H_{g,1} \cdot (t_i - t_e) = 7,65 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{244,7 \text{ W}}, \quad (46)$$

$$Q_{g,2a} = H_{g,2a} \cdot (t_i - t_e) = 7,63 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{244,2 \text{ W}}, \quad (47)$$

$$Q_{g,2b} = H_{g,2b} \cdot (t_i - t_e) = 8,15 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{260,7 \text{ W}}. \quad (48)$$

ČSN EN 12 831-1

Výpočet měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru do zeminy s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb ($\Delta U_{TB} = 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$):

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou, viz (27)

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

dosazením parametrů pro podlahu podle *tabulky 2.1*, optimalizované přírážky na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podlahou $U_k = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ podle *tabulky 3.2*, vyjde $U_{equiv,bf,3a} = 0,226 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Teplotní opravný činitel, viz (26)

$$f_{ig,k} = \frac{t_i - t_{e,m}}{t_i - t_e} = \frac{20 - 4,3}{20 - (-12)} = 0,491. \quad (49)$$

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb, viz (25)

$$H_{g,3a} = f_{\theta ann} \cdot S \cdot U_{equiv,bf,3a} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k} = 1,45 \cdot 37,5 \cdot 0,226 \cdot 0,491 \cdot 1 = 6,02 \text{ W/K}. \quad (50)$$

Výpočet měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru do zeminy se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb ($\Delta U_{TB} = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$):

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou, viz (27).

Dosazením parametrů pro podlahu podle *tabulky 2.1*, standardní přírážky na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podlahou $U_k = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ podle *tabulky 3.2*, vyjde $U_{equiv,bf,3b} = 0,259 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Teplotní opravný činitel, viz (49).

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb, viz (25)

$$H_{g,3b} = f_{\theta ann} \cdot S \cdot U_{equiv,bf,3b} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k},$$

$$H_{g,3b} = 1,45 \cdot 37,5 \cdot 0,259 \cdot 0,491 \cdot 1 = 6,91 \text{ W/K}. \quad (51)$$

Tepelné ztráty prostupem tepla zeminou obou variant výsledků, viz (45)

$$Q_{g,3a} = H_{g,3a} \cdot (t_i - t_e) = 6,02 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{192,7 \text{ W}}, \quad (52)$$

$$Q_{g,3b} = H_{g,3b} \cdot (t_i - t_e) = 6,91 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{221,3 \text{ W}}, \quad (53)$$

ČSN 06 0210

Součinitel prostupu tepla konstrukce v kontaktu se zeminou, viz (54)

$$U_{060210} = \frac{1}{R_{s,t} + R_f + R_{zeminy}} = \frac{1}{0,17 + 3,12 + 1,11} = 0,227 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}, \quad (54)$$

kde je R_{zeminy} hodnota odporu zeminy pro sypanou zeminu a písek [$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$].

Základní tepelná ztráta prostupem přilehlou zeminou, viz (31)

$$Q_{g,o} = U_{060210} \cdot S \cdot (t_i - t_g) = 0,227 \cdot 37,5 \cdot (20 - 10) = 85,2 \text{ W}. \quad (55)$$

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí, viz (32)

$$p_1 = 0,15 \cdot \frac{Q_{g,o}}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} = 0,15 \cdot \frac{85,2}{150 \cdot [20 - (-12)]} = 0,0027, \quad (56)$$

$$\sum S = 2 \cdot [(a \cdot b) + (a \cdot h) + (b \cdot h)] = 2 \cdot [(7,5 \cdot 5) + (7,5 \cdot 3) + (5 \cdot 3)] = 150 \text{ m}^2. \quad (57)$$

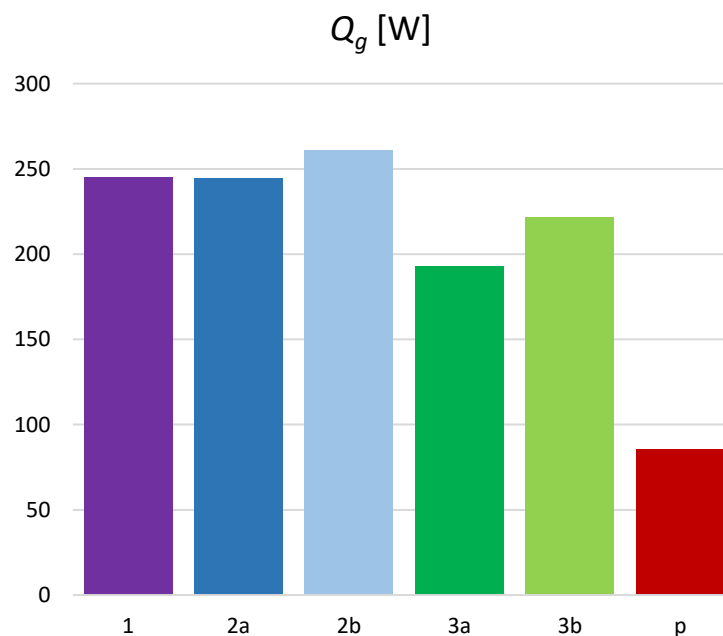
Přirážka na světovou stranu $p_3 = 0$ (zvoleno), viz *tabulka 2.2*.

Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou, viz (30)

$$Q_{g,p} = Q_{g,o} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 85,2 \cdot (1 + 0,0027 + 0 + 0) = \mathbf{85,4 \text{ W}}. \quad (58)$$

Na *obrázku 3.7* jsou graficky porovnány výsledky tepelných ztrát prostupem tepla podlahou na zemině vypočtené podle:

- 1 ČSN EN ISO 13 370 – zjednodušený výpočet se zanedbáním Ψ_g ;
- 2a ČSN EN ISO 13 370 – podrobný výpočet;
- 2b ČSN EN ISO 13 370 – podrobný výpočet se zanedbáním $\Psi_{g,e}$;
- 3a ČSN EN 12 831-1 – výpočet s optimalizovanou přírážkou ΔU_{TB} ;
- 3b ČSN EN 12 831-1 – výpočet se standardní přírážkou ΔU_{TB} ;
- p ČSN 06 0210.

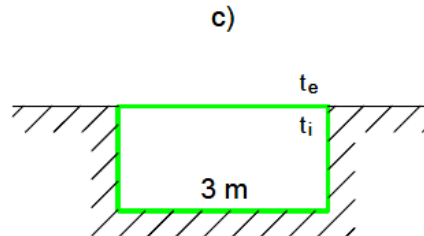


Obr. 3.7 Porovnání různých metod výpočtu tepelných ztrát prostupem tepla podlahou na zemině

Z *obrázku 3.7* je patrné, že výsledky normy ČSN EN ISO 13 370 (ať už se jedná o zjednodušený nebo podrobný výpočet) jsou nejvyšší. Nejvíce se této podrobné normě přibližuje výsledek dle ČSN EN 12 831-1 se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb. Naopak výsledná hodnota tepelné ztráty zeminou podle normy ČSN 06 0210 je méně než poloviční oproti ostatním metodám.

3.2.2 Vytápěný suterén

Pro vzorový výpočet vytápěného suterénu jsem zvolil stejnou geometrii místnosti jako pro podlahu na zemině. Co se ale změní, je hloubka podlahy pod úrovní zeminy. Z obrázku 3.1 jsem vybral variantu c), tedy první podzemní podlaží s hloubkou podlahy suterénu 3 m (viz obr. 3.8).



Obr. 3.8 Hloubka podlahy suterénu ve 3 m (1. PP)

Tepelný odpor vedením tepla podlahou, viz (35).

Tepelný odpor vedením tepla stěnou suterénu, viz (59)

$$R_w = \frac{1}{U_k} - R_{si,w} - R_{se} = \frac{1}{0,3} - 0,13 - 0,04 = 3,163 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}, \quad (59)$$

kde je U_k doporučená hodnota součinitele prostupu tepla konstrukcí v kontaktu se zeminou dle ČSN 73 0540-2 [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$].

ČSN EN ISO 13 370

Celková ekvivalentní tloušťka podlahy, viz (36).

Celková ekvivalentní tloušťka stěny, viz (10)

$$d_w = \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si,w} + R_w + R_{se}) = 2 \cdot (0,13 + 3,163 + 0,04) = 6,667 \text{ m}. \quad (60)$$

$(d_t + 0,5 \cdot z) \geq B' \Rightarrow$ Dopočítaný součinitel prostupu tepla podlahou, viz (9)

$$U_{bf} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} = \frac{2}{0,457 \cdot 6 + 7,067 + 0,5 \cdot 3} = 0,177 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}. \quad (61)$$

$d_w \geq d_t \Rightarrow$ Dopotčítaný součinitel prostupu tepla stěnou, viz (11)

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right),$$

$$U_{bw} = \frac{2 \cdot 2}{\pi \cdot 3} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot 7,067}{7,067 + 3}\right) \cdot \ln\left(\frac{3}{6,667} + 1\right) = 0,212 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}. \quad (62)$$

Přídavná efektivní tloušťka, viz (38).

Lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv okrajové vodorovné izolace, viz (39).

Lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv okrajové svislé izolace, viz (40).

Lineární činitel prostupu tepla zastupující vliv okrajové izolace, viz (41).

Zjednodušený výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou se zanedbáním vlivu napojení stěna/podlaha Ψ_g , viz (4)

$$H_{g,1} = (S \cdot U_{bf}) + (S_{stěn} \cdot U_{bw}) = (37,5 \cdot 0,177) + (37,5 \cdot 0,212) = 14,58 \text{ W/K}, \quad (63)$$

kde je $S_{stěn}$ plocha stěn suterénu v kontaktu se zeminou [m^2],

$$S_{stěn} = O \cdot z = 12,5 \cdot 3 = 37,5 \text{ m}^2.$$

Podrobný výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou, viz (19)

$$H_{g,2a} = \{(S \cdot U_{bf}) + (S_{stěn} \cdot U_{bw}) + [O \cdot (\Psi_g + \Psi_{g,e})]\} \cdot G_w,$$

$$H_{g,2a} = \{(37,5 \cdot 0,177) + (37,5 \cdot 0,212) + [12,5 \cdot (0,04 - 0,021)]\} \cdot 1 = 14,83 \text{ W/K}. \quad (64)$$

Podrobný výpočet součinitele tepelné ztráty prostupem zeminou se zanedbáním vlivu okrajové izolace $\Psi_{g,e}$, viz (64)

$$H_{g,2b} = [(37,5 \cdot 0,177) + (37,5 \cdot 0,212) + (12,5 \cdot 0,04)] \cdot 1 = 15,08 \text{ W/K}. \quad (65)$$

Tepelné ztráty prostupem tepla zeminou všech tří variant výsledků, viz (45)

$$Q_{g,1} = H_{g,1} \cdot (t_i - t_e) = 14,58 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{466,7 \text{ W}}, \quad (66)$$

$$Q_{g,2a} = H_{g,2a} \cdot (t_i - t_e) = 14,83 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{474,5 \text{ W}}, \quad (67)$$

$$Q_{g,2b} = H_{g,2b} \cdot (t_i - t_e) = 15,08 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{482,7 \text{ W}}. \quad (68)$$

ČSN EN 12 831-1

Výpočet měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru do zeminou s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb ($\Delta U_{TB} = 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$):

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou, viz (27)

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

dosazením parametrů pro podlahu podle *tabulky 2.1*, optimalizované přírážky na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podlahou $U_k = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ podle *tabulky 3.2*, vyjde $U_{equiv,bf,3a} = 0,205 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Dosazením parametrů pro stěnu sklepa podle *tabulky 2.1*, optimalizované přírážky na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podlahou $U_k = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ podle *tabulky 3.2*, vyjde $U_{equiv,bw,3a} = 0,256 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Teplotní opravný činitel, viz (49).

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminou s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb, viz (25)

$$H_{g,3a} = f_{\theta ann} \cdot [(S \cdot U_{equiv,bf,3a} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) + (S_{stěn} \cdot U_{equiv,bw,3a} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k})],$$

$$H_{g,3a} = 1,45 \cdot [(37,5 \cdot 0,205 \cdot 0,491 \cdot 1) + (37,5 \cdot 0,256 \cdot 0,491 \cdot 1)] = \mathbf{8,89 \text{ W/K}}. \quad (69)$$

Výpočet měrného tepelného toku prostupem z vytápěného prostoru do zeminy se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb ($\Delta U_{TB} = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$):

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební části v kontaktu se zeminou, viz (27).

Dosazením parametrů pro podlahu podle *tabulky 2.1*, standardní přírážky na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podlahou $U_k = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ podle *tabulky 3.2*, vyjde $U_{equiv,bf,3b} = 0,233 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Dosazením parametrů pro stěnu sklepa podle *tabulky 2.1*, standardní přírážky na vliv tepelných vazeb $\Delta U_{TB} = 0,10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla podlahou $U_k = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ podle *tabulky 3.2*, vyjde $U_{equiv,bw,3b} = 0,306 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Teplotní opravný činitel, viz (49).

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb, viz (25)

$$H_{g,3b} = f_{\theta ann} \cdot [(S \cdot U_{equiv,bf,3b} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k}) + (S_{stěn} \cdot U_{equiv,bw,3b} \cdot f_{ig,k} \cdot f_{GW,k})],$$

$$H_{g,3b} = 1,45 \cdot [(37,5 \cdot 0,233 \cdot 0,491 \cdot 1) + (37,5 \cdot 0,306 \cdot 0,491 \cdot 1)] = 10,30 \text{ W/K.}$$

(70)

Tepelné ztráty prostupem tepla zeminou obou variant výsledků, viz (45)

$$Q_{g,3a} = H_{g,3a} \cdot (t_i - t_e) = 8,89 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{284,4 \text{ W}}, \quad (71)$$

$$Q_{g,3b} = H_{g,3b} \cdot (t_i - t_e) = 10,30 \cdot [20 - (-12)] = \mathbf{329,6 \text{ W}}, \quad (72)$$

ČSN 06 0210

Součinitel prostupu tepla konstrukce v kontaktu se zeminou, viz (54).

Základní tepelná ztráta prostupem přilehlou zeminou, viz (31)

$$Q_{g,o} = [U_{060210} \cdot S \cdot (t_i - t_{g,p})] + [U_{060210} \cdot S_{stěn} \cdot (t_i - t_{g,s})],$$

$$Q_{g,o} = [0,227 \cdot 37,5 \cdot (20 - 3)] + [0,227 \cdot 37,5 \cdot (20 - 0)] = 315,1 \text{ W.} \quad (73)$$

kde je $t_{g,p}$ teplota zeminy pod podlahou suterénu dle *tabulky 2.3* [°C];

$t_{g,s}$ průměrná teplota zeminy u stěny suterénu dle *tabulky 2.3* [°C].

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí viz (32), ΣS viz (57),

$$p_1 = 0,15 \cdot \frac{Q_{g,o}}{\Sigma S \cdot (t_i - t_e)} = 0,15 \cdot \frac{315,1}{150 \cdot [20 - (-12)]} = 0,0098. \quad (74)$$

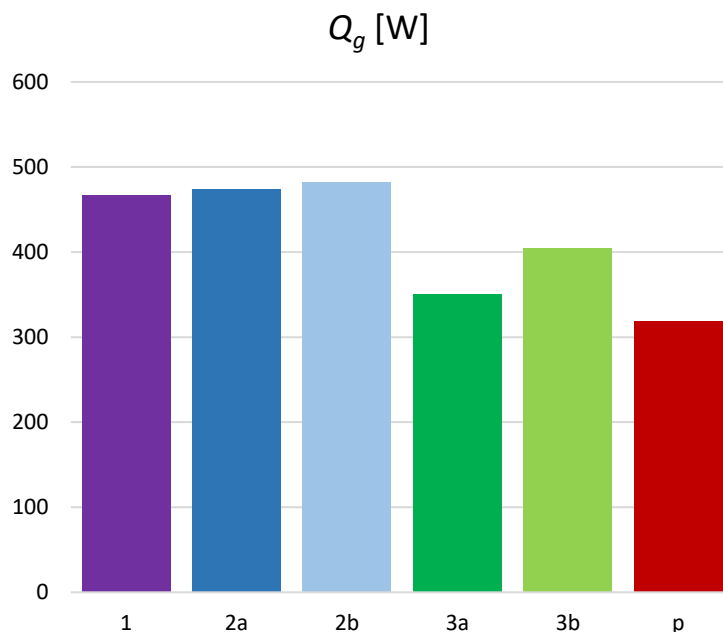
Přirážka na světovou stranu $p_3 = 0$ (zvoleno), viz *tabulka 2.2*.

Tepelná ztráta prostupem tepla zeminou, viz (30)

$$Q_{g,p} = Q_{g,o} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 315,1 \cdot (1 + 0,0098 + 0 + 0) = \mathbf{318,2 \text{ W.}} \quad (75)$$

Na *obrázku 3.9* jsou graficky porovnány výsledky tepelných ztrát prostupem tepla vytápěným suterénem vypočtené podle:

- 1 ČSN EN ISO 13 370 – zjednodušený výpočet se zanedbáním Ψ_g ;
- 2a ČSN EN ISO 13 370 – podrobný výpočet;
- 2b ČSN EN ISO 13 370 – podrobný výpočet se zanedbáním $\Psi_{g,e}$;
- 3a ČSN EN 12 831-1 – výpočet s optimalizovanou přirážkou ΔU_{TB} ;
- 3b ČSN EN 12 831-1 – výpočet se standardní přirážkou ΔU_{TB} ;
- p ČSN 06 0210.



Obr. 3.9 Porovnání různých metod výpočtu tepelných ztrát prostupem tepla vytápěným suterénem

Stejně jako u podlahy na zemině, i zde je patrné, že výsledky normy ČSN EN ISO 13 370 jsou nejvyšší. ČSN EN 12 831-1 se standardní přírážkou se podrobné normě přibližují nejvíce. Výsledná hodnota tepelné ztráty prostupem zeminou podle ČSN 06 0210 je nejnižší, ale už se téměř shoduje s hodnotou dle nové evropské normy se zahrnutím optimalizované přírážky na vliv tepelných vazeb. Výsledky podlahy na zemině i vytápěného suterénu však popisují pouze jednu danou geometrii místnosti s danou hloubkou. Komplexnějším porovnáním výsledků jednotlivých normových postupů se práce zabývá v kapitole 3.4.

3.2.3 Podíl TZ zeminou vůči celkovým TZ místnosti

V této kapitole porovnáme vypočtené tepelné ztráty přílehlou zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám prostupem tepla celé místnosti. Geometrie i hloubka uvažované místnosti zůstane pro přehlednost stejná jako v předchozích kapitolách. Jelikož je v okrajových podmínkách stanoveno, že teplota sousedních prostor je stejná jako v uvažované místnosti, odpadá tepelná ztráta prostupem tepla do sousedních prostor. Pro podlahy na zemině, tedy místnosti s obvodovými stěnami v kontaktu s venkovním prostředím, jsem zahrnul vliv zasklení (konkrétně vždy 20 % z celkové plochy vnějších stěn). Daný případ vytápěného suterénu (hloubka podlahy 3 m) obsahuje tepelnou ztrátu stěnami už ve výpočtu pro ztráty zeminou (viz 3.2.2). Stejně tak to v modelu platí i pro hloubky podlah suterénu 6 m. Výpočet částečně podsklepených místností už model

rozlišuje pro části stěn v kontaktu se zeminou a části stěn v kontaktu s venkovním prostředím. Pro stanovení celkové tepelné ztráty prostupem je tedy zapotřebí dopočítat tepelné ztráty z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí a sečíst je s již známými tepelnými ztrátami přilehlou zeminou. Výpočty vychází z norem ČSN EN 12 831-1 viz (21) a (22) a ČSN 06 0210 viz (30) a (31).

Podlaha na zemině podle ČSN EN 12 831-1 s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb

$$H_{T,ie} = [S_{stěn} \cdot (U_{k,stěna,t} + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] + [S_{oken} \cdot (U_{k,okno} + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}] + [S_{strop} \cdot (U_{k,strop} + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}],$$

$$H_{T,ie} = [30 \cdot (0,25 + 0,02) \cdot 1 \cdot 1] + [7,5 \cdot (0,9 + 0,02) \cdot 1 \cdot 1] + [37,5 \cdot (0,16 + 0,02) \cdot 1 \cdot 1] = 21,75 \text{ W/K.} \quad (76)$$

$$Q_c = (H_g + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e), \quad (77)$$

$$Q_{c,1} = (H_{g,1} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (7,65 + 21,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{940,7 \text{ W}}, \quad (78)$$

$$Q_{c,2a} = (H_{g,2a} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (7,63 + 21,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{940,2 \text{ W}}, \quad (79)$$

$$Q_{c,2b} = (H_{g,2b} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (8,15 + 21,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{956,7 \text{ W}}, \quad (80)$$

$$Q_{c,3a} = (H_{g,3a} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (6,02 + 21,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{888,7 \text{ W}}, \quad (81)$$

Podlaha na zemině podle ČSN EN 12 831-1 se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb viz (76), změna pouze v hodnotě $\Delta U_{TB} = 0,10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

$$H_{T,ie} = [30 \cdot (0,25 + 0,10) \cdot 1 \cdot 1] + [7,5 \cdot (0,9 + 0,10) \cdot 1 \cdot 1] + [37,5 \cdot (0,16 + 0,10) \cdot 1 \cdot 1] = 27,75 \text{ W/K.} \quad (82)$$

$$Q_{c,3b} = (H_{g,3b} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (6,91 + 27,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{1109,3 \text{ W}}, \quad (83)$$

Podlaha na zemině podle ČSN 06 0210

$$Q_{ie,o} = [U_{k,stěna,t} \cdot S_{stěn} \cdot (t_i - t_e)] + [U_{k,okno} \cdot S_{oken} \cdot (t_i - t_e)] + [U_{k,strop} \cdot S_{strop} \cdot (t_i - t_e)],$$

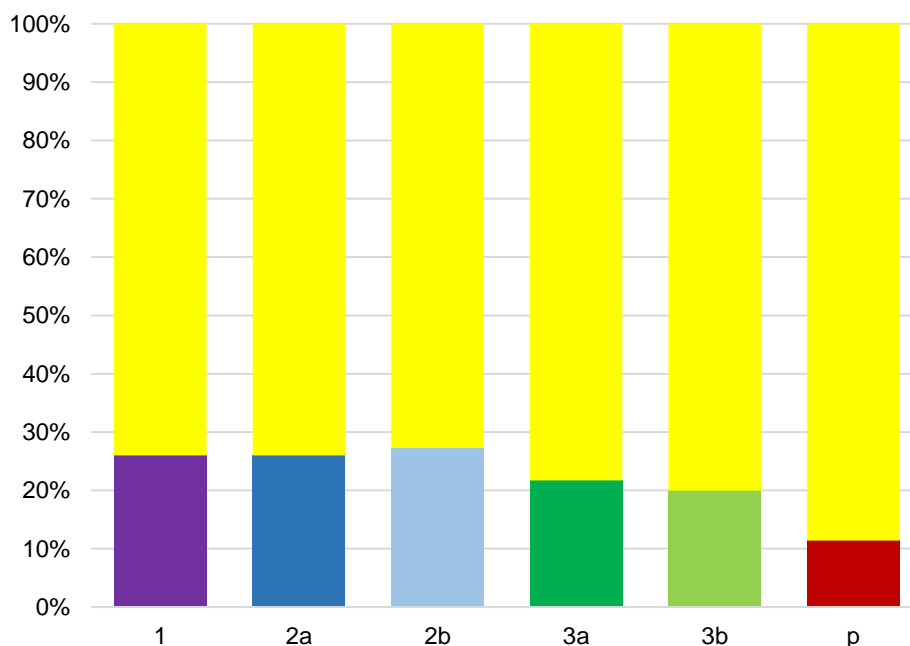
$$Q_{ie,o} = [0,25 \cdot 30 \cdot (20 + 12)] + [0,9 \cdot 7,5 \cdot (20 + 12)] + [0,16 \cdot 37,5 \cdot (20 + 12)] = 648,0 \text{ W}, \quad (84)$$

$$Q_{o,c} = Q_{g,o} + Q_{ie,o} = 85,2 + 648 = 733,2 \text{ W}, \quad (85)$$

$$Q_{p,c} = Q_{o,c} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 733,2 \cdot (1 + 0,0229 + 0 + 0) = \mathbf{750,0 \text{ W}}, \quad (86)$$

$$p_1 = 0,15 \cdot \frac{Q_{o,c}}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} = 0,15 \cdot \frac{733,2}{150 \cdot (20 + 12)} = 0,0229. \quad (87)$$

Na *obrázku 3.10* je znázorněn podíl tepelných ztrát zeminou vypočtených v kapitole 3.2.1 vůči celkovým tepelným ztrátám prostupem tepla místnosti.



Obr. 3.10 Podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkové tepelné ztrátě prostupem místnosti (podlaha na zemině)

Vytápěný suterén podle ČSN EN 12 831-1 s optimalizovanou přírážkou na vliv tepelných vazeb

$$H_{T,ie} = [S_{strop} \cdot (U_{k,strop} + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}],$$

$$H_{T,ie} = [37,5 \cdot (0,16 + 0,02) \cdot 1 \cdot 1] = 6,75 \text{ W/K.} \quad (88)$$

$$Q_{c,1} = (H_{g,1} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (14,58 + 6,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{682,7 \text{ W}}, \quad (89)$$

$$Q_{c,2a} = (H_{g,2a} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (14,83 + 6,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{690,5 \text{ W}}, \quad (90)$$

$$Q_{c,2b} = (H_{g,2b} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (15,08 + 6,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{698,7 \text{ W}}, \quad (91)$$

$$Q_{c,3a} = (H_{g,3a} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (10,96 + 6,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{566,6 \text{ W}}, \quad (92)$$

Vytápěný suterén podle ČSN EN 12 831-1 se standardní přírážkou na vliv tepelných vazeb viz (88), změna pouze v hodnotě $\Delta U_{TB} = 0,10 \text{ W/m}^2\text{.K}$.

$$H_{T,ie} = [37,5 \cdot (0,16 + 0,10) \cdot 1 \cdot 1] = 9,75 \text{ W/K.} \quad (93)$$

$$Q_{c,3b} = (H_{g,3b} + H_{T,ie}) \cdot (t_i - t_e) = (12,65 + 9,75) \cdot (20 + 12) = \mathbf{716,7 \text{ W}}, \quad (94)$$

Vytápěný suterén podle ČSN 06 0210

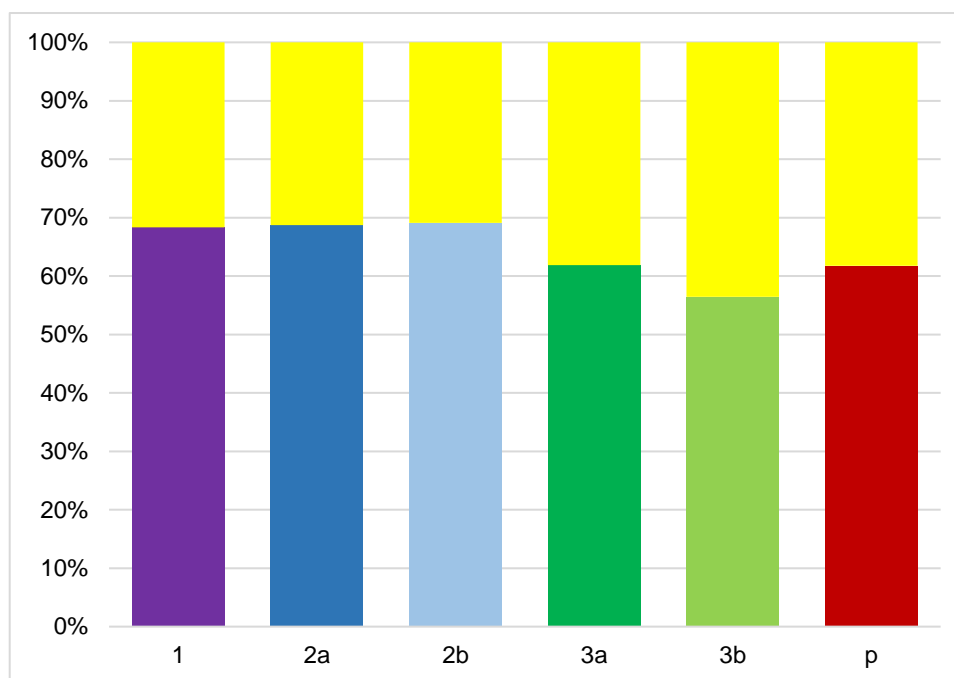
$$Q_{ie,o} = [U_{k,strop} \cdot S_{strop} \cdot (t_i - t_e)] = [0,16 \cdot 37,5 \cdot (20 + 12)] = 192,0 \text{ W}, \quad (95)$$

$$Q_{o,c} = Q_{g,o} + Q_{ie,o} = 315,1 + 192 = 507,1 \text{ W}, \quad (96)$$

$$Q_{p,c} = Q_{o,c} \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3) = 507,1 \cdot (1 + 0,0158 + 0 + 0) = \mathbf{515,1 \text{ W}}, \quad (97)$$

$$p_1 = 0,15 \cdot \frac{Q_{o,c}}{\sum S \cdot (t_i - t_e)} = 0,15 \cdot \frac{507,1}{150 \cdot (20 + 12)} = 0,0158. \quad (98)$$

Na obrázku 3.11 je znázorněn podíl tepelných ztrát zeminou vypočtených v kapitole 3.2.2 vůči celkovým tepelným ztrátám prostupem tepla místnosti.



Obr. 3.11 Podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkové tepelné ztrátě prostupem místnosti (vytápěný suterén)

Pro danou geometrii místnosti na podlaze mají jednotlivé tepelné ztráty zeminou cca 20% až 27% podíl vůči celkové tepelné ztrátě místnosti. Pouze z výsledků normy ČSN 06 0210 vychází podíl cca 11 % (viz obr 3.10). Pro vytápěný suterén s hloubkou podlahy 3 m vychází podíl tepelných ztrát podlahou a stěnami vůči celkovým tepelným ztrátám místnosti cca 55 až 70 %. Přičemž výsledky normy ČSN 06 0210 jsou na stejné úrovni jako ČSN EN 12 831-1 s optimalizovanými přírážkami na vliv tepelných vazeb (viz obr 3.11).

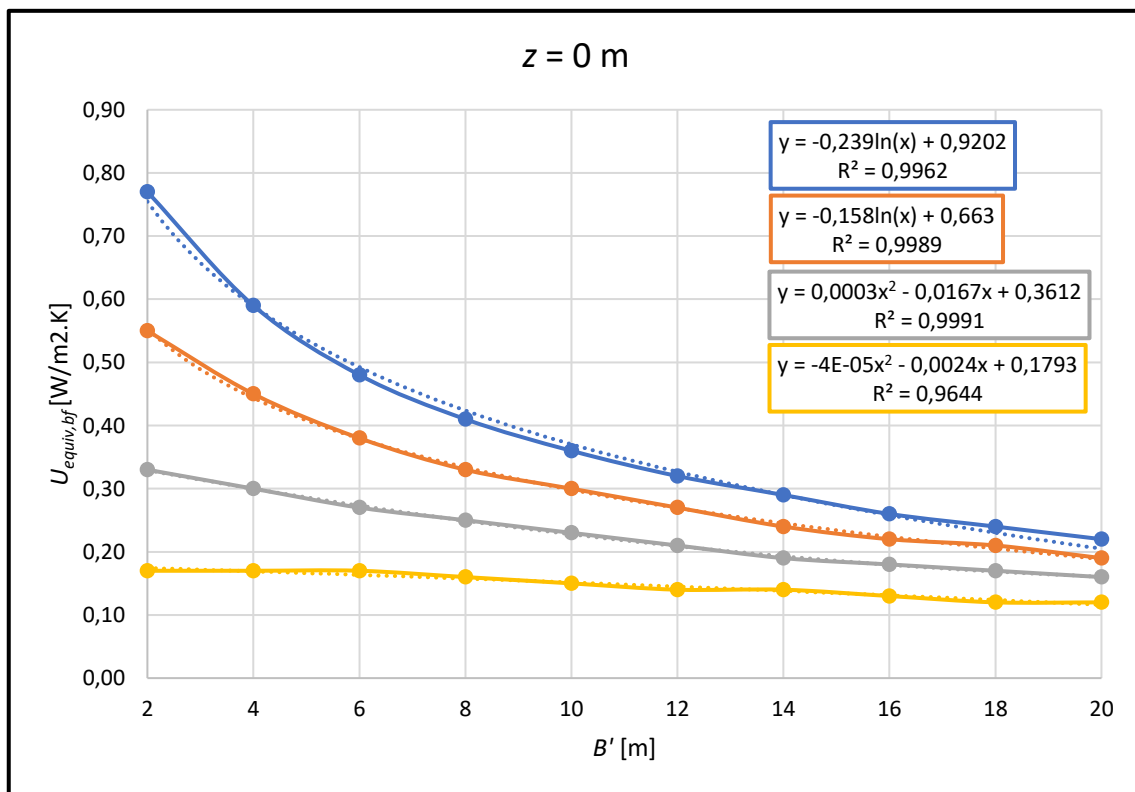
3.3 Porovnání ČSN EN 12 831 a ČSN EN 12831-1

V kapitole 3.2 nebyla zmíněna norma ČSN EN 12 831, přestože jsem ji v rešerši popisoval. V této kapitole ji porovnám s novou normou ČSN EN 12 831-1. Tepelné ztráty přílehlou zeminou se stejně jako v nové normě určují z ekvivalentních hodnot součinitele prostupu tepla. Stanovení těchto součinitelů je ale komplikovanější, protože nevyhází přímo z daného vztahu a konstant, jako je tomu ve vztahu (27), ale z grafických závislostí geometrického parametru podlahy, hloubky a návrhových součinitelů prostupu tepla. Rozsah hodnot těchto veličin je značně omezen. Pro stanovení ekvivalentního součinitele prostupu tepla podlahou jsou k dispozici charakteristický parametr podlahy B' nabývající hodnot 2 až 20 m a návrhové součinitele prostupu tepla $U = 2; 1; 0,5$ a $0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Pro ekvivalentní součinitel prostupu tepla stěnami je výpočet omezen hloubkami $z = 0$; 1; 2 a 3 m. Abych mohl co nejpřesněji porovnat výsledky obou norem, sestavil jsem si jednotlivé závislosti v Excelu a ekvivalentní součinitele prostupu tepla jsem stanovil z vygenerovaných rovnic křivek s dostatečnou spolehlivostí regrese.

Tab. 3.3 Ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahou pro podlahu na zemině [3]

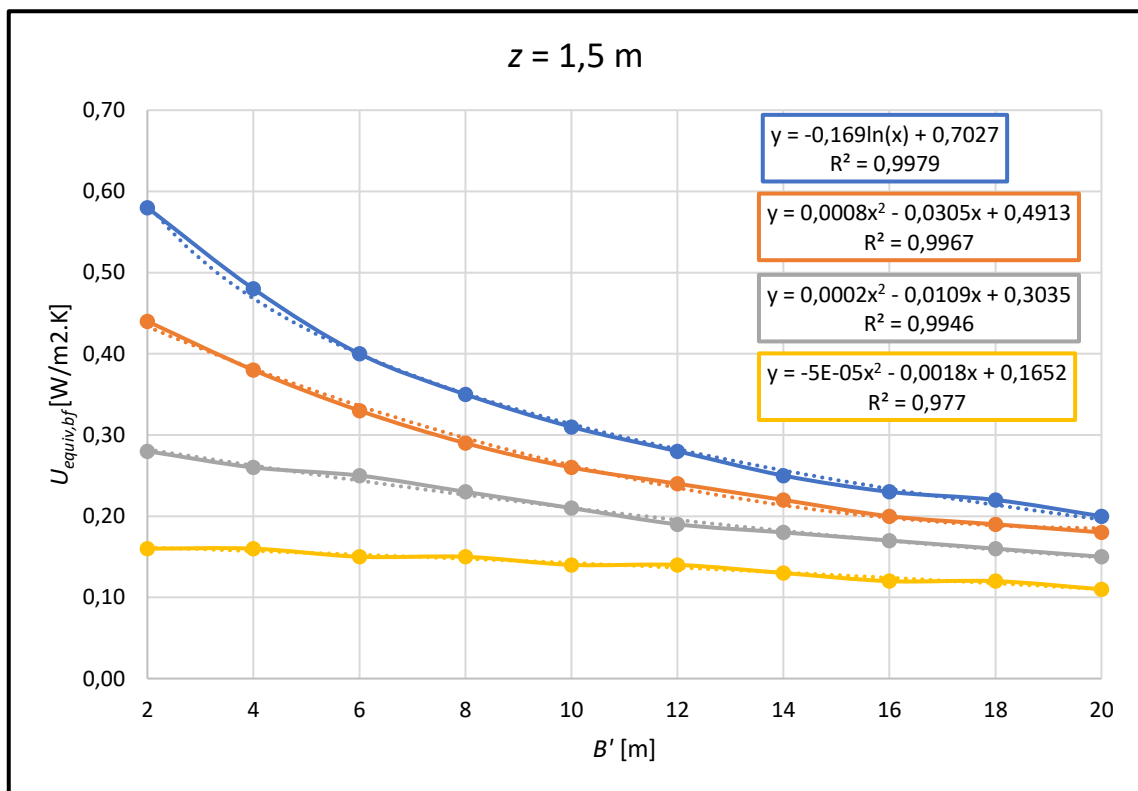
B' [m]	$U_{equiv,bf}$ [W/m ² .K] (pro $z = 0$ m)			
	$U_{k,podlaha}$ 2,0 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 1,0 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 0,5 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 0,25 W/m ² .K
2	0,77	0,55	0,33	0,17
4	0,59	0,45	0,30	0,17
6	0,48	0,38	0,27	0,17
8	0,41	0,33	0,25	0,16
10	0,36	0,30	0,23	0,15
12	0,32	0,27	0,21	0,14
14	0,29	0,24	0,19	0,14
16	0,26	0,22	0,18	0,13
18	0,24	0,21	0,17	0,12
20	0,22	0,19	0,16	0,12



Obr. 3.12 Grafická závislost U a B' podle tabulky 3.3 pro podlahu na zemině

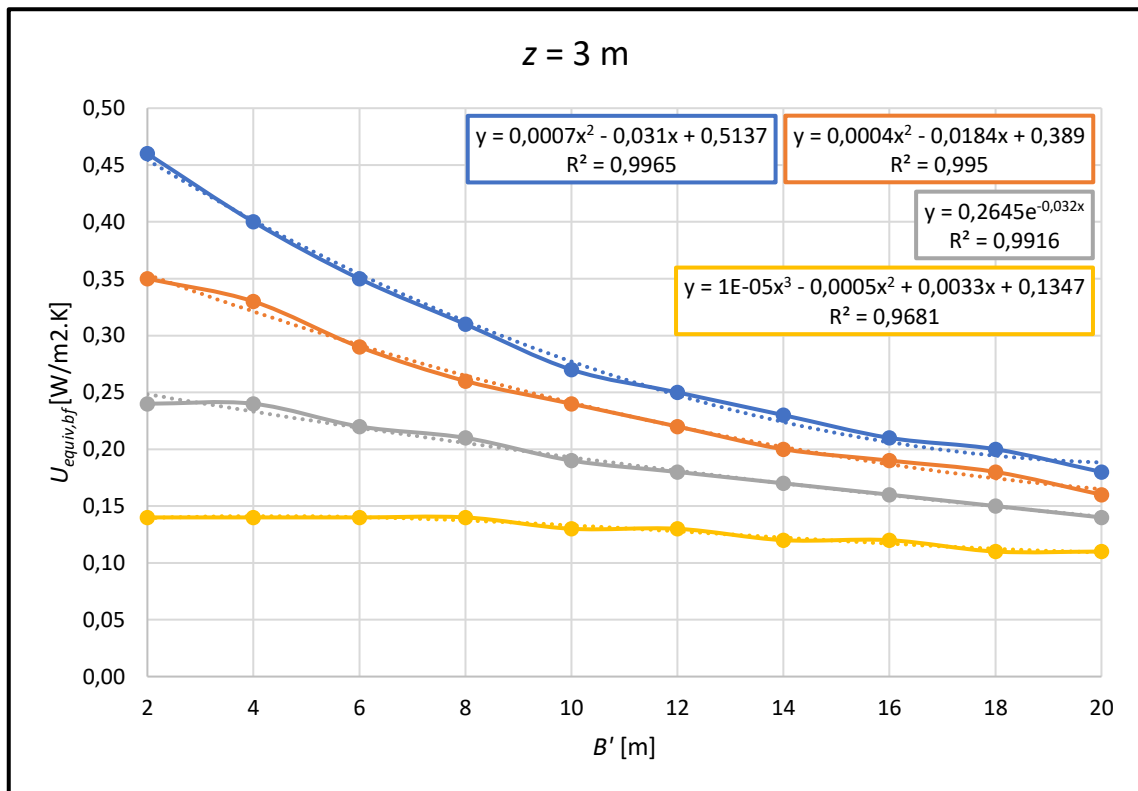
Tab. 3.4 Ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahou vytápěného suterénu v hloubce 1,5 m [3]

B' [m]	$U_{equiv,bf}$ [W/m ² .K] (pro $z = 1,5$ m)			
	$U_{k,podlaha}$ 2,0 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 1,0 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 0,5 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 0,25 W/m ² .K
2	0,58	0,44	0,28	0,16
4	0,48	0,38	0,26	0,16
6	0,40	0,33	0,25	0,15
8	0,35	0,29	0,23	0,15
10	0,31	0,26	0,21	0,14
12	0,28	0,24	0,19	0,14
14	0,25	0,22	0,18	0,13
16	0,23	0,20	0,17	0,12
18	0,22	0,19	0,16	0,12
20	0,20	0,18	0,15	0,11

Obr. 3.13 Grafická závislost U a B' podle tabulky 3.4 pro vytápěný suterén s hloubkou podlahy 1,5 m

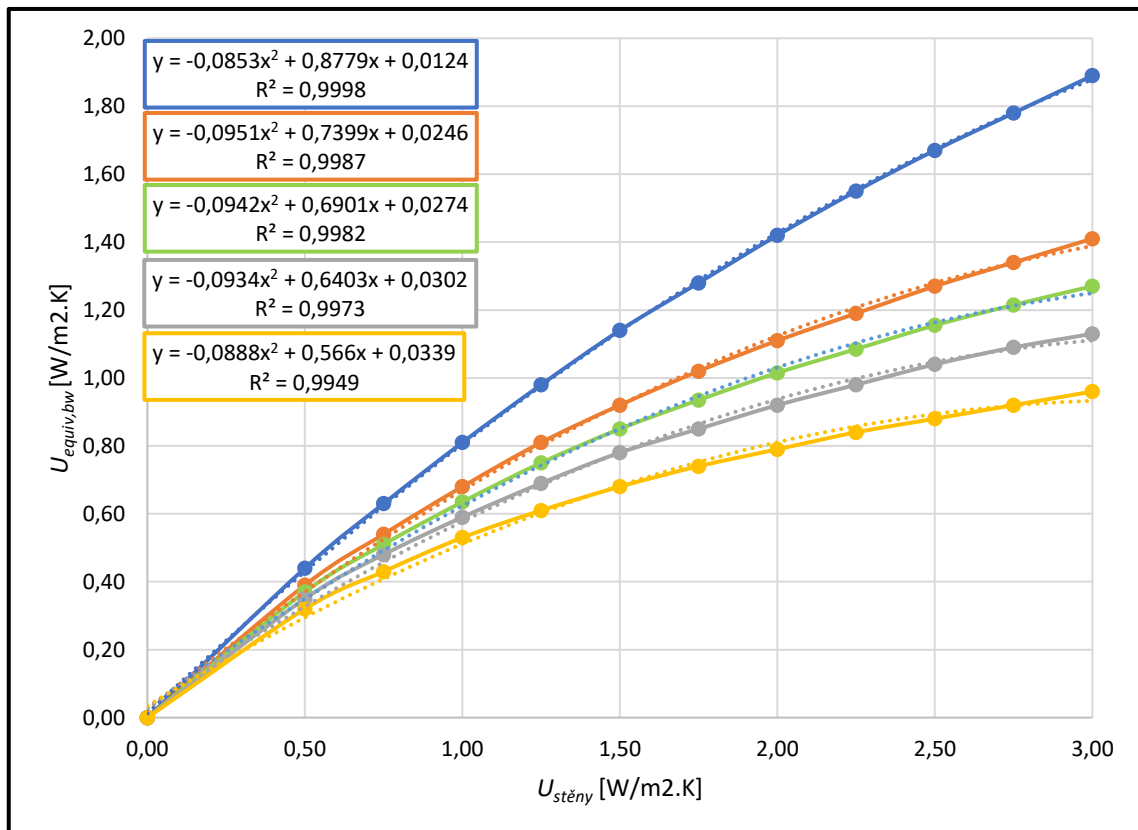
Tab. 3.5 Ekvivalentní součinitel prostupu tepla podlahou vytápěného suterénu v hloubce 3 m [3]

B' [m]	$U_{equiv,bf}$ [W/m ² .K] (pro $z = 3$ m)			
	$U_{k,podlaha}$ 2,0 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 1,0 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 0,5 W/m ² .K	$U_{k,podlaha}$ 0,25 W/m ² .K
2	0,46	0,35	0,24	0,14
4	0,40	0,33	0,24	0,14
6	0,35	0,29	0,22	0,14
8	0,31	0,26	0,21	0,14
10	0,27	0,24	0,19	0,13
12	0,25	0,22	0,18	0,13
14	0,23	0,20	0,17	0,12
16	0,21	0,19	0,16	0,12
18	0,20	0,18	0,15	0,11
20	0,18	0,16	0,14	0,11

Obr. 3.14 Grafická závislost U a B' podle tabulky 3.5 pro vytápěný suterén s hloubkou podlahy 3 m

Tab. 3.6 Ekvivalentní součinitel prostupu tepla stěnou vytápěného suterénu [3]

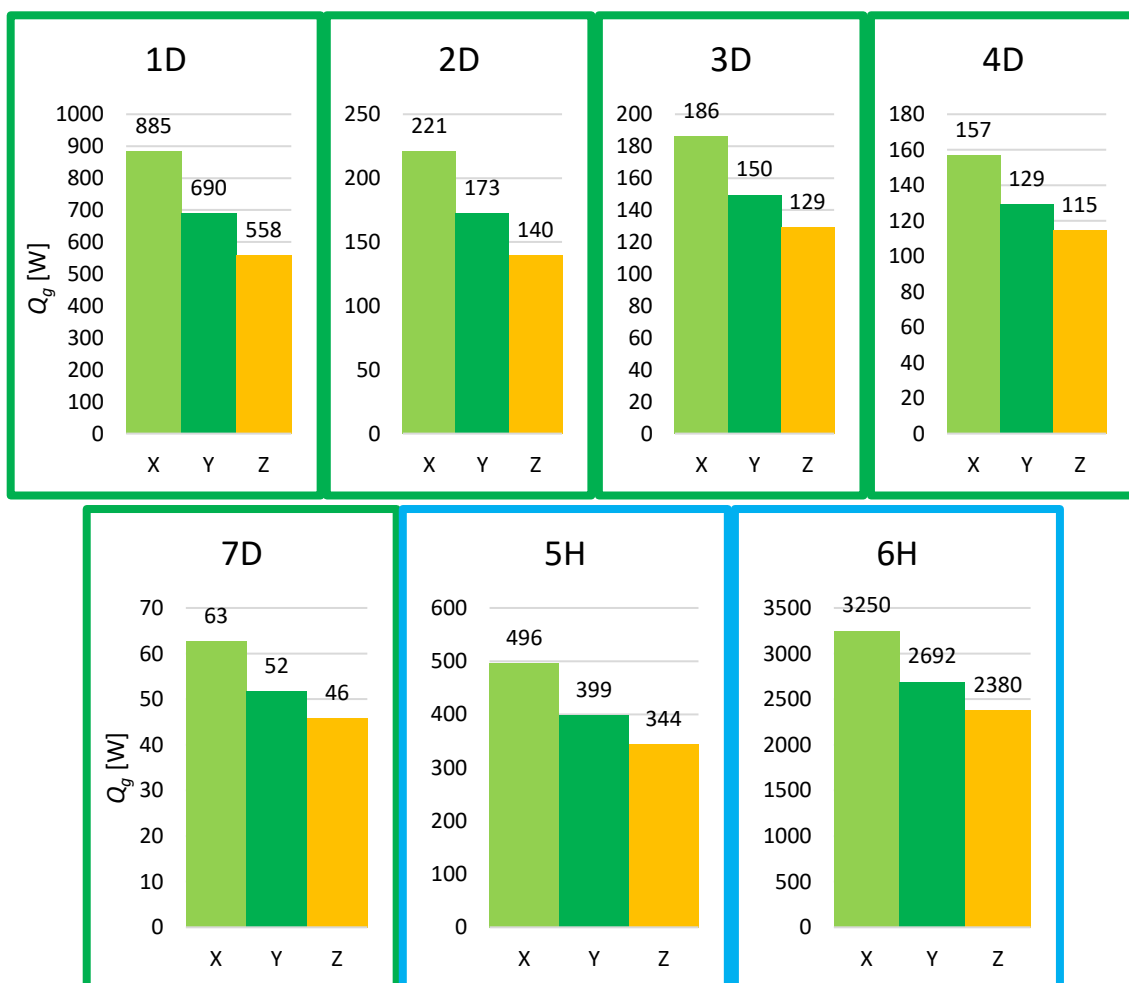
$U_{k, stěna}$ [W/m ² .K]	$U_{equiv, bw}$ [W/m ² .K]				
	z [m] 0	z [m] 1	z [m] 1,5	z [m] 2	z [m] 3
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,44	0,39	0,37	0,35	0,32
0,75	0,63	0,54	0,51	0,48	0,43
1,00	0,81	0,68	0,64	0,59	0,53
1,25	0,98	0,81	0,75	0,69	0,61
1,50	1,14	0,92	0,85	0,78	0,68
1,75	1,28	1,02	0,94	0,85	0,74
2,00	1,42	1,11	1,02	0,92	0,79
2,25	1,55	1,19	1,09	0,98	0,84
2,50	1,67	1,27	1,16	1,04	0,88
2,75	1,78	1,34	1,22	1,09	0,92
3,00	1,89	1,41	1,27	1,13	0,96

Obr. 3.15 Grafická závislost U a z podle tabulky 3.6 pro vytápěný suterén

Pro dostatečně vypovídající porovnání obou norem jsem vycházel zejména z okrajových podmínek normy ČSN EN 12 831, jejíž hodnoty charakteristického parametru podlahy B' umožňují výpočet nejvýše do 20 m. Z obrázků 3.2 a 3.3 jsem vybral takové typy místností, které tyto okrajové podmínky splňují (konkrétně 1D; 2D; 3D; 4D; 7D; 5H a 6H). Návrhový součinitel prostupu tepla konstrukcí v kontaktu se zemínou jsem zvolil také podle ČSN EN 12 831 (konkrétně $0,25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Co se týče vytápěného suterénu, porovnání budu demonstrovat na hloubce podlahy ve 3 m, stejně jako v kapitole 3.2. V případě potřeby komplexnějšího porovnání, například částečně podsklepených podlaží, které umožňuje matematický model počítat, jsem pro hloubku podlahy suterénu 1,5 m aproximoval hodnoty v tabulce 3.6 (zelený sloupec).

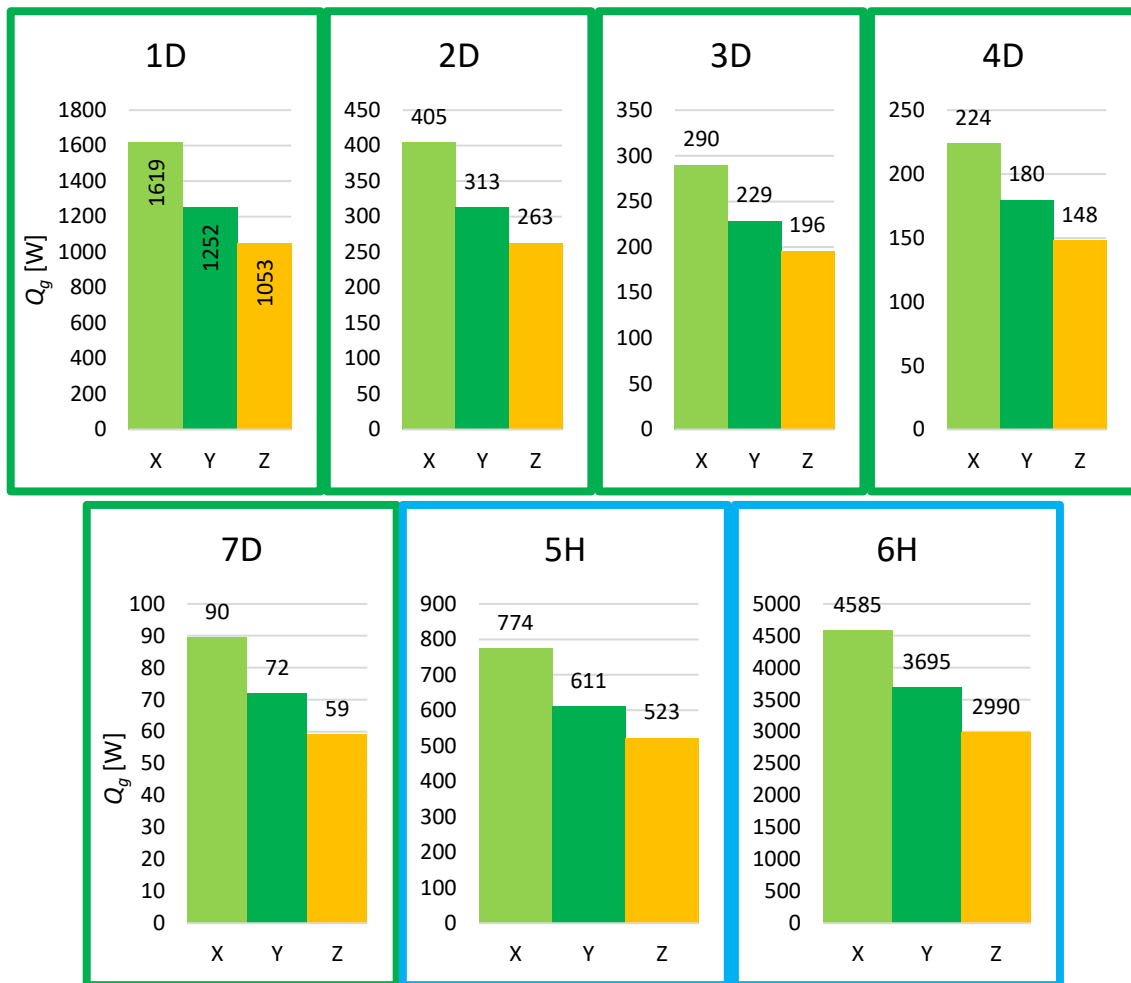
3.3.1 Grafické porovnání a vyhodnocení

Podlaha na zemině



Obr. 3.16 Porovnání tepelných ztrát prostupem tepla podlahou na zemině podle ČSN EN 12 831-1 (X,Y) a ČSN EN 12 831 (Z)

Vytápěný suterén (hloubka podlahy 3 m)



Obr. 3.17 Porovnání tepelných ztrát prostupem tepla podlahou a stěnami vytápěného suterénu podle ČSN EN 12 831-1 (X,Y) a ČSN EN 12 831 (Z)

Na obrázku 3.16 a 3.17 jsou porovnány výsledky tepelných ztrát prostupem tepla zemínou. Sloupce X a Y znázorňují výsledky normy ČSN EN 12 831-1, přičemž X jsou hodnoty se zanedbanou přírážkou na vliv tepelných vazeb a hodnoty Y zohledňují optimalizované přírážky. Sloupec Z znázorňuje výsledky normy ČSN EN 12 831.

Z dosažených výsledků je patrné, že ve všech případech je hodnota tepelné ztráty prostupem tepla zemínou, vypočítaná podle ČSN EN 12 831, nižší než výsledky dle nové normy. Pro podlahu na zemině platí nepřímá úměrnost velikosti rozdílu výsledků a velikosti geometrického parametru podlahy B' . Čím nižších hodnot parametr B' dosáhne, tím větší rozdíl mezi jednotlivými výsledky norem vznikne. Pro zvětšující se hloubku suterénu už ale toto pravidlo neplatí. Bude-li uvažováno, že výsledky normy

ČSN EN 12 831 jsou 100 % (Z), bude procentuální nárůst výsledků ČSN EN 12 831-1 následující:

Podlaha na zemině se zanedbanými přírážkami 137 až 159 % (X);

Podlaha na zemině s optimalizovanými přírážkami 113 až 124 % (Y);

Vytápěný suterén ($z = 3$ m) se zanedbanými přírážkami 148 až 154 % (X);

Vytápěný suterén ($z = 3$ m) s optimalizovanými přírážkami 117 až 124 % (Y).

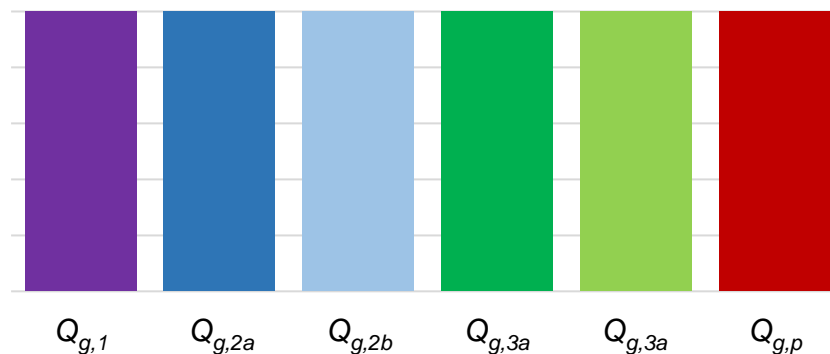
Nová aktuálně platná norma ČSN EN 12 831-1 je tedy, co se týče výsledků tepelných ztrát prostupem tepla přilehlou zeminou, přísnější než její starší verze ČSN EN 12 831. Je to znatelné už podle okrajových podmínek normy ČSN EN 12 831, kde například stanovení ekvivalentního součinitele prostupu tepla stěnou vychází z návrhových součinitelů až do $3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (viz *tab. 3.6*), což je v dnešní době naprosto nereálná a nepoužitelná hodnota. To samé platí i pro křivky, které popisují závislost charakteristického rozměru podlah a součinitele prostupu tepla podlahou o hodnotě 1 nebo $2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (viz *tab. 3.3 až 3.5*). Nároky na konstrukční materiály se zvyšují, a proto jsou výsledky nové normy přísnější a okrajové podmínky dovolují zajít do větších extrémů. Jak si nová evropská norma ČSN EN 12 831-1 stojí v porovnání s ČSN EN ISO 13 370 a ČSN 06 0210 se práce zabývá v kapitole 3.4.

3.4 Kompletní porovnání

V této kapitole se pokusím mezi sebou porovnat výsledky, které jsem získal na základě vytvořeného matematického modelu pro stanovení tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí v kontaktu se zeminou. Stejně jako v kapitole 3.2 budou porovnány normy ČSN EN ISO 13 370, ČSN EN 12 831-1 a ČSN 06 0210. Porovnání bude zahrnovat podlahy na zemině, vytápěné suterény a vliv tepelných ztrát zeminou na celkových tepelných ztrátách. Graficky znázorním výsledky všech norem pro všechny modelové situace na *obrázku 3.2 a 3.3* a v rámci modelu popíšu, jak se výsledky mění v závislosti na změně některých vstupních parametrů (viz *tab. 3.2*).

Všechna porovnání, která budu popisovat, jsou v přílohách č. 2 až 22. V příloze č. 1 jsou pro přehlednost a lepší orientaci vyobrazeny geometrie podlahových ploch, které jsou obsaženy v grafických výstupech. Na *obrázku 3.18* je znázorněna legenda podle

jejichž barev jsou ve všech grafech rozlišeny výsledky tepelných ztrát zeminou dle různých postupů a norem.



Obr. 3.18 Legenda k přílohám č. 2 až 22

$Q_{g,1}$	ČSN EN ISO 13 370 – zjednodušený výpočet se zanedbáním Ψ_g ;
$Q_{g,2a}$	ČSN EN ISO 13 370 – podrobný výpočet;
$Q_{g,2b}$	ČSN EN ISO 13 370 – podrobný výpočet se zanedbáním $\Psi_{g,e}$;
$Q_{g,3a}$	ČSN EN 12 831-1 – výpočet s optimalizovanou přírážkou ΔU_{TB} ;
$Q_{g,3b}$	ČSN EN 12 831-1 – výpočet se standardní přírážkou ΔU_{TB} ;
$Q_{g,p}$	ČSN 06 0210.

Příloha č. 2 až 6 – Podlaha na zemině

Obecně ve většině výsledcích platí, že podrobná norma ČSN EN ISO 13 370 dosahuje nejvyšších hodnot a ČSN 06 0210 nejnižších. Jsou ale případy, kdy to neplatí. V přílohách 2, 3 a 4 se mění hodnota součinitele prostupu tepla podlahou. V případě požadovaných hodnot ($0,45 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) dosahují všechny postupy nejvyšších číselných výsledků. Zajímavé je sledovat výsledky normy ČSN 06 0210, které se v případech 1H až 8H, tedy u více rozměrných geometrií, přibližují ostatním normám a v některých případech je dokonce výrazně převyšují. Norma ČSN 06 0210 jako jediná nepracuje ve výpočtech s geometrickým parametrem podlahové konstrukce B' , proto v případech 3H, 4H, 7H a 8H, kde je podlaha v kontaktu s venkovním prostředím pouze malou částí, převyšuje výsledky ostatních norem. V případě použití hodnot součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy ($0,15 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) se výsledky ČSN EN 12 831-1 ve všech případech velmi přibližují výsledkům podrobné normy. Konkrétně $Q_{g,3b}$ je v případě 1D a 2D úplně nejvyšší.

To je zapříčiněno malou hodnotou B' a velkým rozdílem ekvivalentních součinitelů prostupu tepla jednotlivých norem. Obecně pro normu ČSN EN 12 831-1 a její výpočet ekvivalentního součinitele prostupu platí okrajová podmínka $2 \text{ m} \leq B' \leq 50 \text{ m}$, proto se musí výsledky případů 5D, 6D, 4H, 7H a 8H brát pouze jako postupově správné, nikoli však normě vyhovující hodnoty. Porovnáním přílohy 2 a 5, kde se mění teplota zeminy z $10 \text{ }^\circ\text{C}$ na $5 \text{ }^\circ\text{C}$ se výsledky norem ČSN EN ISO 13 370 a ČSN EN 12 831-1 nemění, protože s touto teplotou přímo nepočítají. Naopak výsledky ČSN 06 0210 změna teploty zeminy změní výrazně. Čím nižších hodnot teplota dosáhne, tím vyšší budou tepelné ztráty zeminou. Porovnáním přílohy 2 a 6, kde se budova pomyslně přemístí ze sypké zeminy a písku na kompaktní skálu, se všechny výsledky navýší cca o pětinu.

Příloha č. 7 až 12 – Vytápěný suterén

Absolutní výsledky jsou samozřejmě oproti podlaze na zemině vyšší, ale vzájemné poměrové rozdíly jednotlivých norem jsou si celkem podobné. Zaměřím se tedy na nejvýraznější výchyly ve výsledcích. Extrémy nastávají opět u normy ČSN 06 0210, konkrétně v příloze 8 a 10, kde v některých případech převyšují ostatní výsledky až dvojnásobně. Vliv na to má vysoký součinitel prostupu tepla, hloubka podlahy suterénu a velké rozměry geometrií. V případě přílohy 10 je hloubka podlahy v 1,5 m a v této hloubce jsou dle normy ČSN 06 0210 nižší teploty zeminy než v hloubkách 3 a 6 m. Na rozdíl od podlahy na zemině jsou ve všech přílohách vytápěného suterénu poměrně vysoké výsledky geometrie 6D a 6H. To je dáno vlivem umístění podlahy na okraji místnosti v závislosti na celkové ploše podlahy. Výsledky normy ČSN EN ISO 13 370 a ČSN EN 12 831-1 se s měnící se hloubkou poměrově téměř neliší. Nejvyšších absolutních hodnot tepelné ztráty zeminou je dosaženo v hloubce 3 m, neboť v 6 m je teplota vyšší a v 1,5 m se jedná pouze o částečně podsklepenou místnost a do ztrát zeminou se tedy započítá jen polovina celkové plochy stěn. Přesuneme-li suterén s hloubkou podlahy 3 m opět do prostředí stejnorodé skály, dojde cca k 10% navýšení všech absolutních hodnot tepelné ztráty zeminou.

Příloha č. 13 až 17 – Podlaha na zemině (vliv na celkové tepelné ztráty prostupem)

Celkové tepelné ztráty prostupem byly vypočteny podle normy ČSN EN 12 831-1 a ČSN 06 0210 a porovnány s příslušnými hodnotami tepelné ztráty zeminou. Výsledky normy ČSN EN ISO 13 370 byly porovnány rovněž s celkovými tepelnými ztrátami vypočtenými podle ČSN EN 12 831-1. Z grafů v příloze 13 až 16 je patrné, že se výsledky

nijak zásadně nemění. Podíl tepelných ztrát zeminou podle ČSN EN ISO 13 370 se pohybuje okolo 30 %, podle ČSN EN 12 831-1 cca o 5 % méně. Výjimka nastává u geometrie 5D a 6D, kde vychází nízký charakteristický rozměr podlahy. Výsledný podíl zde dosahuje pouze cca 10 %. Norma ČSN 06 0210 vychází pro teplotu zeminy 10 °C v průměru o 10 % méně než pro teplotu 5 °C. Její vliv tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám se pohybuje v rozmezí 10 až 35 %. Čím vyšší je charakteristický rozměr podlahy, tím je podíl významnější. Obecně se ale průměrný vliv všech výsledků pohybuje kolem ¼ celkové tepelné ztráty. Pro skalnaté podloží se všechny hodnoty navýší cca o 5 %.

Příloha č. 18 až 22 – Vytápěný suterén (vliv na celkové tepelné ztráty prostupem)

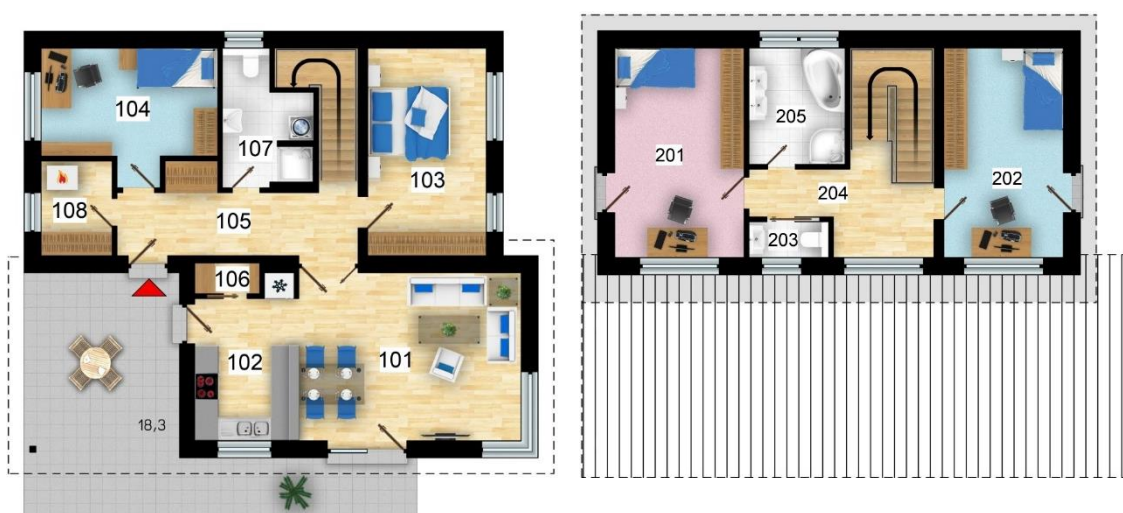
Podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám je pro vytápěný suterén vyšší a platí přímá úměrnost čím větší hloubka, tím větší podíl. Pro částečně podsklepenou místnost s hloubkou podlahy 1,5 m (pro 1D až 8D) vychází podle normy ČSN EN ISO 13 370 cca 50% podíl, podle ČSN EN 12 831-1 cca 40% podíl a podle ČSN 06 0210 cca 45% podíl. Pro případy 1H až 8H vychází kromě ČSN 06 0210 podíl menší. V příloze 18 se oproti příloze 21 (pro 1D až 8D) vliv tepelných ztrát zeminou zvýší cca o 20 %. Nejvýraznější skok až na 90 % nastává pro 5D a 6D, což je stejně jako u podlahy na zemině dáno malým charakteristickým parametrem podlahy ku celkově malému objemu místnosti. V tomto případě, ale většinu prostoru obklopuje zemina, a ne venkovní prostor. Pokud by se uvažovalo druhé podzemní podlaží s hloubkou podlahy 6 m, vycházel by podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkovým ve všech případech 100 %, protože jiné ztráty, než ztráty přilehlou zeminou, v tomto případě nenastanou. Hodnoty součinitele prostupu tepla nemají na podíl tepelných ztrát téměř žádný vliv. Obecně u vytápěných suterénů je vliv tepelných ztrát zeminou vyšší pro menší rozměry místností a naopak.

4. Aplikování metod na reálné objekty

V této části práce aplikuji použité metody jednotlivých norem na reálné objekty, konkrétně na tři rodinné domy s různými parametry geometrie. Pro každý dům jsem stanovil podíl tepelné ztráty prostupem tepla zeminou na celkové tepelné ztrátě rodinného domu (včetně tepelné ztráty větráním) podle ČSN EN 12 831, ČSN EN 12 831-1 a ČSN 06 0210. Od roku 2018 platná norma ČSN EN 12 831-1 i její starší verze umožňují provést výpočet tepelných ztrát zeminou podle ČSN EN ISO 13 370, proto jsem porovnal její vliv na celkové tepelné ztrátě i pro tyto případy. Vybrané domy splňují požadavky normy ČSN 73 0540-2 pro doporučené hodnoty součinitelů prostupu tepla konstrukcí. Na *obrázcích 4.1 až 4.3* představím projekty rodinných domů zvolené pro tuto studii z portálu GSERVIS [7].



Obr. 4.1 (RD 1): pohled na dům, 1. nadzemní podlaží, 2. nadzemní podlaží [7]



Obr. 4.2 (RD 2): pohled na dům, 1. nadzemní podlaží, 2. nadzemní podlaží [7]

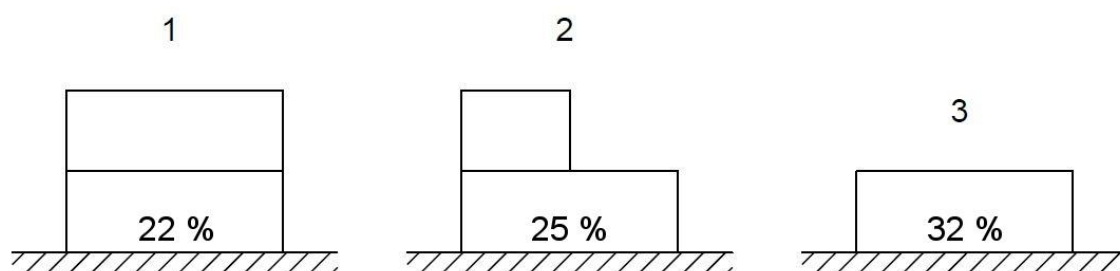


Obr. 4.3 (RD 3): pohled na dům, pokračování na další straně [7]



Obr. 4.3 (RD 3): pokračování z předchozí strany, 1. nadzemní podlaží [7]

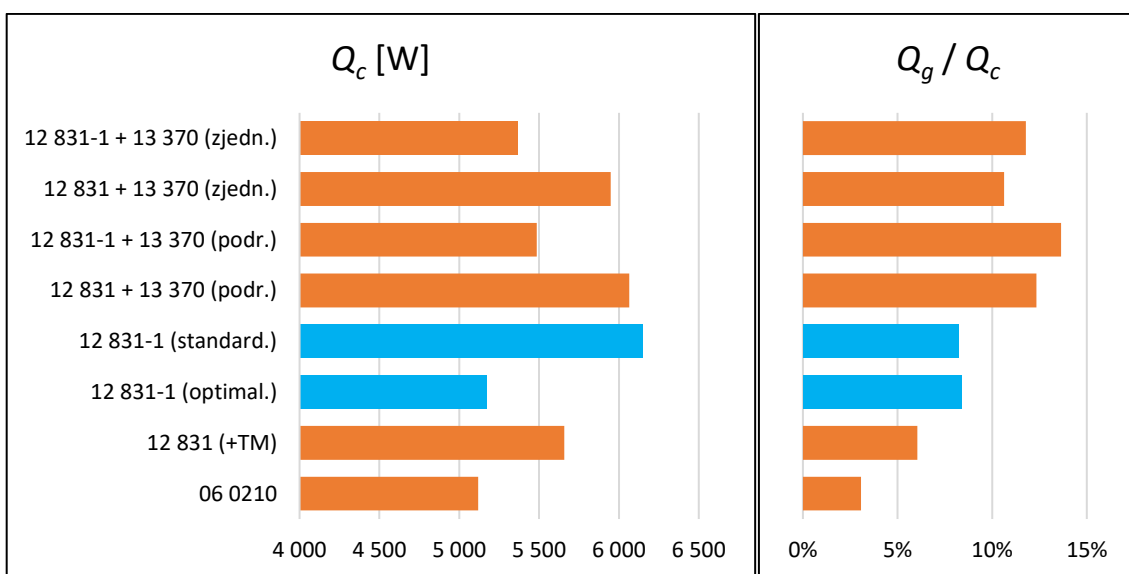
Výběr obsahuje klasický dvoupodlažní dům (1), jednopodlažní bungalov (3) a dům s částečným 2. nadzemním podlažím (2), viz názorné piktogramy na obrázku 4.4. V tabulkách 4.1 až 4.3 jsou zvlášť uvedeny hodnoty tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí v kontaktu se zemí Q_g a hodnoty celkových tepelných ztrát řešených domů Q_c . Z těchto hodnot je pak stanoven celkový podíl podle jednotlivých normových metod.



Obr. 4.4 Piktogramy řešených rodinných domů s procentuálním zastoupením podlahové plochy na celkové ploše obálky budovy

Tab. 4.1 (RD 1) podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám domu

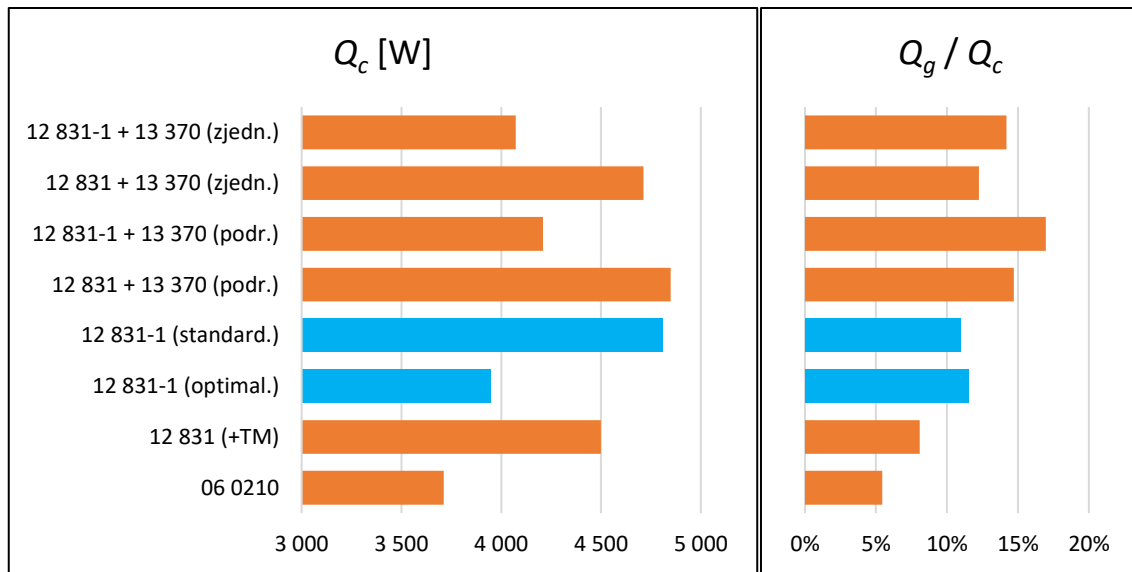
Technická norma		Q_g [W]	Q_c [W]	Q_g / Q_c
06 0210		157	5 118	3,1 %
12 831 (+TM)		342	5 657	6,0 %
12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		434	5171	8,4 %
12 831-1 (ΔU_{TB} standard.)		504	6149	8,2 %
13 370 (podrobný)	12 831 (+TM)	749	6064	12,3 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		5485	13,6 %
13 370 (zjednodušený)	12 831 (+TM)	632	5948	10,6 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		5369	11,8 %



Obr. 4.5 Grafické výstupy tabulky 4.1

Tab. 4.2 (RD 2) podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám domu

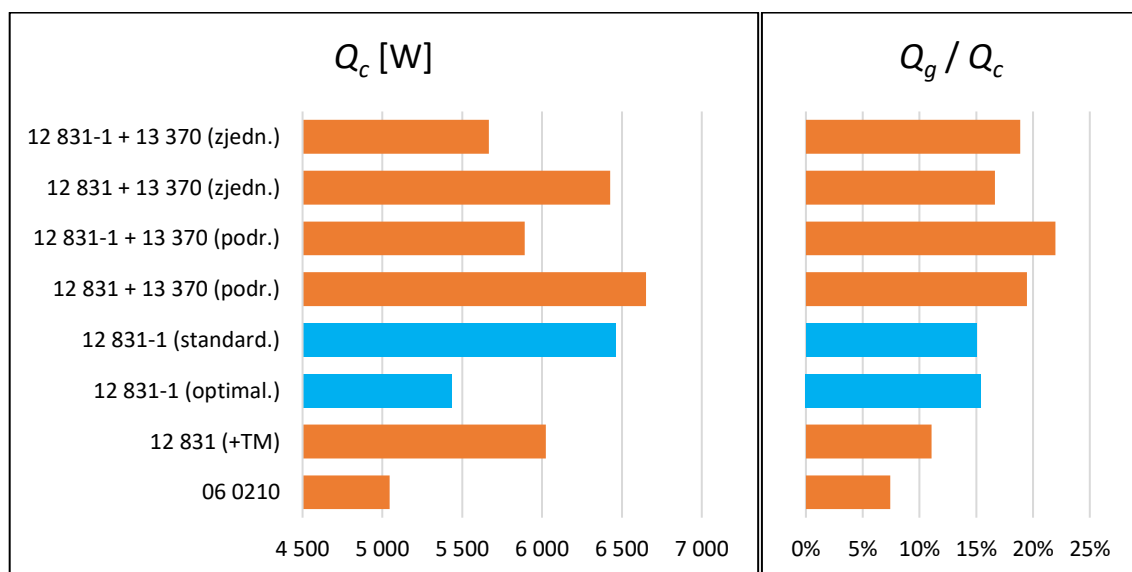
Technická norma		Q_g [W]	Q_c [W]	Q_g / Q_c
06 0210		202	3 712	5,5 %
12 831 (+TM)		364	4 499	8,1 %
12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		456	3950	11,5 %
12 831-1 (ΔU_{TB} standard.)		527	4810	11,0 %
13 370 (podrobný)	12 831 (+TM)	714	4849	14,7 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		4208	17,0 %
13 370 (zjednodušený)	12 831 (+TM)	578	4713	12,3 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		4072	14,2 %



Obr. 4.6 Grafické výstupy tabulky 4.2

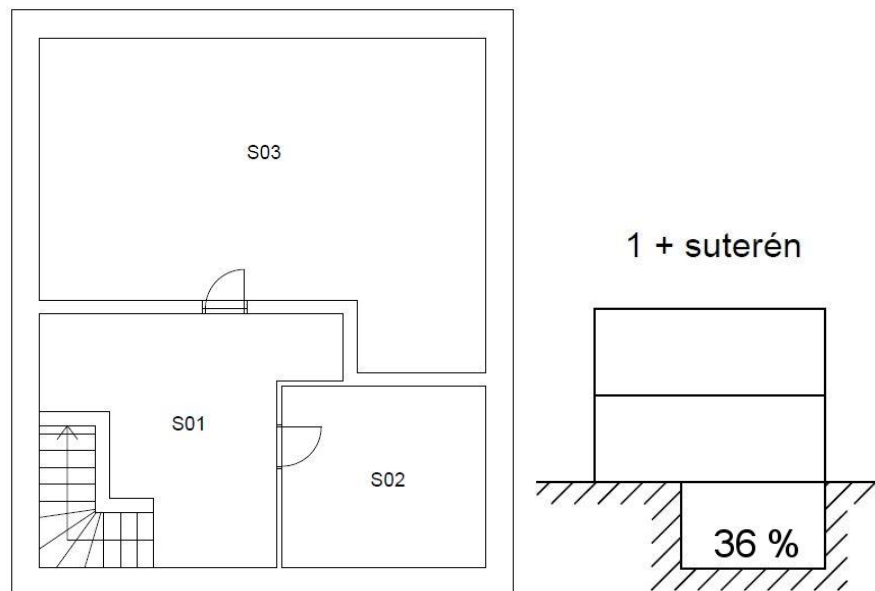
Tab. 4.3 (RD 3) podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám domu

Technická norma		Q_g [W]	Q_c [W]	Q_g / Q_c
06 0210		375	5 045	7,4 %
12 831 (+TM)		667	6 024	11,1 %
12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		838	5435	15,4 %
12 831-1 (ΔU_{TB} standard.)		970	6463	15,0 %
13 370 (podrobný)	12 831 (+TM)	1295	6652	19,5 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		5892	22,0 %
13 370 (zjednodušený)	12 831 (+TM)	1070	6427	16,6 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		5667	18,9 %



Obr. 4.7 Grafické výstupy tabulky 4.3

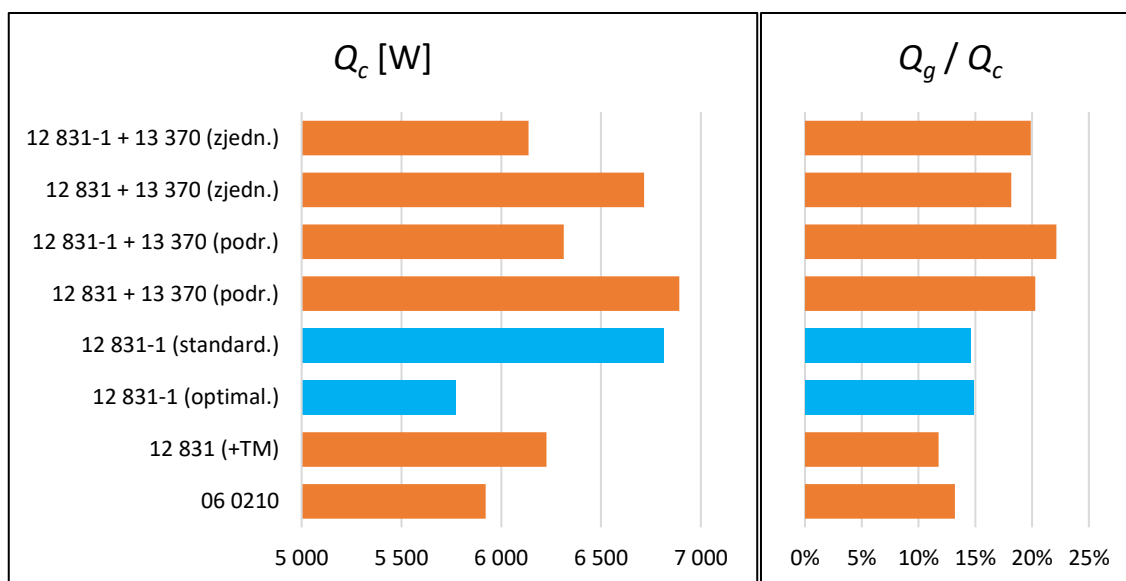
Pro úplné zhodnocení chybí ve výběru dům s vytápěným suterénem, proto jsem jeden takový vytvořil. Pod obytnou část prvního podlaží rodinného domu (1) jsem umístil sklep se třemi vytápěnými místnostmi, tj. prostory kde dochází k úpravě vnitřního prostředí (viz obr. 4.9) a stejným způsobem jako v přechozích případech jsem výsledky shrnul v tabulce 4.4.



Obr. 4.9 (RD 1 + suterén) půdorys vytápěného suterénu a piktogram řešeného domu s procentuálním zastoupením podlahové plochy na celkové ploše obálky budovy

Tab. 4.4 (RD 1 + suterén) podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám domu

Technická norma		Q_g [W]	Q_c [W]	Q_g / Q_c
06 0210		783	5 922	13,2 %
12 831 (+TM)		732	6 227	11,8 %
12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		857	5773	14,8 %
12 831-1 (ΔU_{TB} standard.)		991	6814	14,5 %
13 370 (podrobný)	12 831 (+TM)	1398	6893	20,3 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		6314	22,1 %
13 370 (zjednodušený)	12 831 (+TM)	1221	6716	18,2 %
	12 831-1 (ΔU_{TB} optimal.)		6137	19,9 %



Obr. 4.8 Grafické výstupy tabulky 4.4

4.1 Vyhodnocení

Z výsledků získaných v tabulkách 4.1 až 4.4 je patrné, že s rostoucím podílem plochy v kontaktu se zemínou se zvyšuje i vliv tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám budovy. V případě jednopodlažního rodinného domu (3) může podíl tepelných ztrát přilehlou zeminou tvořit až pětinu celkové tepelné ztráty. Přidáním vytápěného suterénu ke dvoupodlažnímu rodinnému domu (1) se procentuální zastoupení podlahové plochy zvýší cca o třetinu. Vliv tepelných ztrát přilehlou zeminou se ale na celkových tepelných ztrátách navýší téměř o polovinu. Pokud bychom počítali s vytápěným suterénem i v případech (2) a hlavně (1) mohly by se výsledky tepelných ztrát zeminou vyšplhat až ke 30 % z celkové tepelné ztráty domu. V přílohách 23 až 26 jsou výsledky tepelných ztrát všech řešených rodinných domů uvedeny po jednotlivých místnostech.

Otázkou zůstává, které výsledky, resp. které postupy, lze považovat za referenční, a které výsledky reálné hodnoty tepelných ztrát snižují nebo navyšují. Ke zjištění nominálních hodnot by bylo zapotřebí dlouhodobé měření a sledování několika typů budov. V tuto chvíli si za nominál volím nově platnou normu ČSN EN 12 831-1, podle které by se nyní měly řídit všechny nové projekty. Z obrázků 4.5 až 4.8 vychází dle této normy celková tepelná ztráta v určitém rozsahu hodnot, který je dán různou přírážkou na vliv tepelných vazeb. Až na pár výjimek (zejména výsledky dle ČSN 06 0210) se ostatní hodnoty do tohoto rozsahu vejdou. Co ale toto pravidlo nesplňuje, je tepelná ztráta

přílehlou zeminou. Ohlédneme-li se na výsledky normy ČSN EN 12 831 a ČSN 06 0210 dostaneme mnohem nižší hodnoty, a to má za důsledek menší podíl tepelných ztrát zeminou vůči celkovým tepelným ztrátám. Na druhou stranu, pokud do výpočtů zahrneme podrobnou normu ČSN EN ISO 13 370, dostaneme vyšší hodnoty tepelných ztrát zeminou, a to pro podrobný i zjednodušený výpočet. Přístupy pro stanovení tepelných ztrát konstrukcí, a to nejen těch přílehlých k zemině, se postupem času mění a zesložit'ují, od určování teploty sousedních prostor, teploty zeminy, dále přes grafické a matematické zjišťování ekvivalentních součinitelů prostupu tepla, až po 2D a 3D simulace tepelných mostů. Výpočty tak již někdy nelze provést jednoduše sestavením základního modelu, např. v pracovním listu MS Excel, ale je nutné použít složitější software. Na druhou stranu je na výpočtáři, aby použitému postupu výpočtu rozuměl a dokázal správně vyhodnocovat dosažené výsledky.

5. Závěr

Cílem diplomové práce bylo vytvoření matematického modelu pro výpočet tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcí v kontaktu se zemínou. V modelu byly porovnány výsledky technických norem ČSN EN 12 831-1, ČSN EN ISO 13 370 se současně již neplatnými normami ČSN EN 12 831 a ČSN 06 0210. Model řešil jak konstrukce přilehlé k zemině u přízemních budov, tak i podsklepené budovy s různou hloubkou obvodové konstrukce pod povrchem.

V teoretické části jsem se zabýval rešerší technických norem použitých v této práci. Popsal jsem základní vztahy pro stanovení součinitele prostupu tepla a představil metody výpočtů norem ČSN EN 12 831-1, ČSN EN 12 831, ČSN EN ISO 13 370 a ČSN 06 0210, které jsem použil v matematickém modelu.

Analytická část práce se skládá ze dvou kapitol. V té první jsem nejdříve stanovil okrajové podmínky matematického modelu, vytvořil modelové geometrie v závislosti na charakteristickém parametru podlahy, popsal metody výpočtů na jedné geometrii, a nakonec porovnal získané výsledky. Kompletní výsledky matematického modelu jsou v přílohách č. 1 až 22. Podkapitolou této části bylo porovnání normy ČSN EN 12 831-1 s ČSN EN 12 831. Ve druhé kapitole praktické části jsem aplikoval použité metody na několik typových rodinných domů, abych zjistil, jak se výsledky projeví na reálných objektech. Výsledky tohoto porovnání jsou v přílohách č. 23 až 26. Zhodnocení dosažených výsledků je součástí jednotlivých kapitol analytické části práce. Ze získaných výstupů (trendů) matematického modelu v kapitole 3. lze konstatovat, že se shodují s výsledky kapitoly 4. pro reálné objekty. A na základě této verifikace lze tvrdit, že byl model navržen správně. Ve všech 26 přílohách je obsaženo velké množství výstupů, které mezi sebou lze porovnávat, ale zdaleka to nejsou všechny možné kombinace, kterých lze dosáhnout. K individuálnímu porovnání jakéhokoli parametru v závislosti na dosaženém nebo požadovaném výsledku slouží právě vytvořený model. Všechny soubory vytvořené v rámci matematického modelu jsou na přiloženém CD a mohou sloužit jako nástroj pro snadnější získání hodnot tepelných ztrát prostupem tepla konstrukcemi v kontaktu se zemínou.

Literatura

Normy

- [1] ČSN EN ISO 13 370 *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. 3. vyd. Praha: ÚNMZ, březen 2018.
- [2] ČSN EN 12 831-1 *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, září 2018.
- [3] ČSN EN 12 831 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, březen 2005.
- [4] ČSN 06 0210 *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: ÚNMZ, květen 1994.
- [5] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, říjen 2011.

Webové stránky

- [6] *Tepelné pole v zemině pod podlahou – teorie a skutečnost* [online]. TZB-INFO. [vid. 29. 7. 2013]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/10182-teplotni-pole-v-zemine-pod-podlahou-teorie-a-skutecnost>
- [7] *Projekty rodinných domů | GSERVIS* [online]. G SERVIS, s.r.o.,2019. Dostupné z: <https://www.gservis.cz/>

Přílohy

Příloha č. 1 – Geometrie podlahových ploch

Přílohy č. 2 až 22 – Výstupy matematického modelu

Přílohy č. 23 až 26 – Výsledky výpočtů tepelných ztrát rodinných domů

Přílohy na přiloženém CD

1. MM Podlaha na zemině (Excel)
2. MM Vytápěný suterén (Excel)
3. MM Podlaha na zemině + celk TZ (Excel)
4. MM Vytápěný suterén + celk TZ (Excel)
5. MM Vytápěný suterén + celk TZ (pro 6m) (Excel)
6. 12 831 vs 12 831-1 (podlaha na zemině) (Excel)
7. 12 831 vs 12 831-1 (vytápěný suterén) (Excel)
8. Projekty rodinných domů (Excel)
9. Přílohy č. 1 až 26
10. Diplomová práce – elektronická podoba