



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta strojní
Ústav energetiky**

Vyhodnocení tepelné ztráty rodinného domu

Evaluation of heat loss of a family house

Bakalářská práce

Studijní program: Teoretický základ strojního inženýrství

Studijní obor: 2301R000

Vedoucí práce: Ing. Pavel Skopec

Tomáš Brož

Praha 2016

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Vyhodnocení tepelné ztráty rodinného domu vypracoval samostatně a s použitím odborné literatury a zdrojů uvedených na seznamu, který je součástí této práce.

V Praze dne 3. června 2016

.....

Podpis

ANOTAČNÍ LIST

JMÉNO AUTORA:	Tomáš Brož
NÁZEV BP:	Vyhodnocení tepelné ztráty rodinného domu
ANGLICKÝ NÁZEV:	Evaluation of heat loss of a family house
AKADEMICKÝ ROK:	2015/2016
ÚSTAV/ODBOR:	Ústav energetiky
VEDOUCÍ A KONZULTANT BP:	Ing. Pavel Skopec
BIBLIOGRAFICKÉ ÚDAJE:	Počet stran: 54 Počet obrázků: 3 Počet tabulek: 14 Počet příloh: 2
KLÍČOVÁ SLOVA:	Tepelná ztráta, tepelný most, součinitel prostupu tepla, on-line kalkulačka, spotřeba tepla, tepelný výkon
KEY WORDS:	Heat loss, thermal bridge, heat transfer coefficient, online calculator, heat consumption, heating power

ANOTACE:

Hlavním cílem této práce je vyhodnotit tepelné ztráty rodinného domu použitím platné normy ČSN EN 12 831. Součástí je podrobný rozbor výpočtu dle této normy. V další části jsou výsledky porovnány s výsledky volně dostupných on-line kalkulaček tepelných ztrát. Na základě tepelné ztráty domu je spočítána spotřeba tepla pro otopnou sezónu a následně zanalyzováno, zda-li současný topný systém dokáže ve vytápěných prostorech zajistit tepelnou pohodu i při nejnepříznivějších venkovních podmínkách, které mohou v zimním období v dané lokalitě nastat.

ABSTRACT:

The aim of this thesis is to evaluate heat losses of a family house using the ČSN EN 12 831 valid norm. It contains a detailed analysis of calculations according to this norm. In addition it compares the results with those obtained from free online calculators for heat losses. Based upon the heat losses of the house, the heat consumption for the whole season is determined. Furthermore, the thesis analyses whether the heating system is able to provide a comfortable room temperature even in adverse weather conditions in a given locality during the winter season.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Pavlovi Skopcovi za cenné připomínky, objektivní kritiku a konzultace během tvorby. Dále chci poděkovat mé rodině za podporu v průběhu dosavadního studia.

OBSAH

Úvod	8
1 ZÁKLADNÍ TERMÍNY	9
1.1 Tepelná ztráta	9
1.2 Součinitel prostupu tepla U	10
1.3 Tepelné mosty	12
1.4 ČSN EN 12 831	13
1.4.1 Zásady pro výpočtovou metodu	13
2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT DLE ČSN EN 12 831	15
2.1 Potřebné údaje pro výpočet	15
2.2 Popis rodinného domu	16
2.2.1 Údaje o budově	17
2.3 Klimatické údaje	17
2.3.1 Výpočtová vnitřní teplota	18
2.4 Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí	18
2.4.1 Okna a balkónové dveře	18
2.4.2 Vchodové dveře	18
2.4.3 Obvodová zeď	18
2.4.4 Podlaha oddělující přízemí a sklep	20
2.4.5 Příčka oddělující vytápěný prostor od nevytápěného	20
2.4.6 Střecha	21
2.4.7 Podlaha na zemině	22
2.5 Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru	23
2.5.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem	23
2.5.2 Návrhová tepelná ztráta větráním	31
2.6 Zanalyzování celkové tepelné ztráty rodinného domu	35
2.7 Návrh opatření ke snížení energetické náročnosti budovy	37
3 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY S DOSTUPNÝMI ON-LINE KALKULAČKAMI	38
3.1 On-line kalkulačka – Vytápění.cz	38
3.2 On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám	40

4	POTŘEBA TEPLA NA OTOPNOU SEZONU.....	44
4.1	Návrhový tepelný výkon.....	44
4.2	Charakteristika instalovaného kotle	44
4.3	Potřeba tepla na vytápění za otopnou sezonu	44
4.4	Potřeba tepla na ohřev TUV za otopnou sezonu	46
5	ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VYTÁPĚNÍ	48
6	ZÁVĚR.....	50
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	52
8	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

ÚVOD

Pro znalost energetické náročnosti budovy je nutné správné určení tepelné ztráty budovy. V České republice se tepelné ztráty budovy počítají dle normy ČSN EN 12 831, která je jedinou platnou normou. Po zanalyzování, kde dochází k zásadním tepelným ztrátám lze provést efektivní tepelná opatření. Snižování energetické náročnosti budov nabývá v době, která klade na ekologii větší a větší nároky, stále většího významu.

Pro vyhodnocení tepelné ztráty budovy byl vybrán prvorepublikový rodinný dům, jenž byl postaven roku 1937 v Benešově u Prahy. Vzhledem ke stáří budovy lze očekávat velké tepelné ztráty, a je tak vhodnou volbou pro znázornění volby vhodných tepelných úprav.

1 ZÁKLADNÍ TERMÍNY

1.1 Tepelná ztráta

Tepelná ztráta vytápěného objektu je vždy rovna součtu tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním. Tepelná ztráta prostupem tepla je přímo úměrná ploše, přes kterou prochází teplo v důsledku rozdílné teploty mezi vnější a vnitřní stranou konstrukce. Tepelná ztráta větráním je způsobena větráním vytápěného prostoru z hygienického důvodu. Je přímo úměrná objemu místnosti a minimální intenzitě výměny venkovního vzduchu n za hodinu [h^{-1}]. Tato hodnota také závisí na typu místnosti, například pro obývací prostory má hodnotu 0,5, ale pro koupelny a kuchyně 1,5. [1]

Tepelná ztráta větráním nabývá stále většího významu. Je to zapříčiněno tím, že se v současné době daří zvyšovat tepelný odpor obvodových konstrukcí, tím pádem dochází ke snížení součinitele prostupu tepla a to má za následek snížení tepelných ztrát prostupem tepla. [2]

Z tohoto důvodu se do nových větracích soustav obytných budov instalují deskové rekuperační výměníky. To jsou zařízení, která snižují energetickou náročnost tím, že vedou teplý odpadní vzduch přes teplosměnnou plochu výměníku, kde se předává teplo do vzduchu nasávaného z venkovního prostředí. Odpadní teplý vzduch se ochladí, naopak studený venkovní vzduch se předejde. V závislosti na konstrukčním provedení a rychlosti proudícího vzduchu přes výměník se účinnost těchto zařízení pohybuje mezi 50–85 %. [2]

Znalost tepelných ztrát budovy je naprosto nezbytná pro návrh tepelného výkonu vytápěcího zařízení, aby byla zajištěna tepelná pohoda i při těch nejnepříznivějších venkovních podmínkách.

V České republice je výpočet tepelného výkonu, respektive tepelných ztrát určen normou ČSN EN 12 831.

1.2 Součinitel prostupu tepla U

Součinitel prostupu tepla udává, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 a rozdílu teplot 1 K . [3] Tedy čím nižší je jeho hodnota, tím dochází k menšímu tepelným ztrátám. Hodnota součinitele prostupu tepla U dané konstrukce se odvíjí zejména od použitého materiálu. Dalším faktorem je velikost tepelného odporu na vnější a vnitřní straně konstrukce.

Snaha o co největší snižování hodnoty součinitele prostupu tepla je velmi patrná na jednom z nejrozšířenějších stavebních materiálů obytných budov – cihle.

V první polovině 20. století byla plná pálená cihla jakýmsi stavebním etalonem, z něž vycházely hodnoty tepelného odporu stěn. S rostoucími požadavky na hodnotu U se začal měnit tvar cihel. Zásadní změna přichází v období 1949–1960, kdy plná pálená cihla přechází v příčně děrované cihly typu CDm. Na ně navázaly velkoformátové cihelné bloky CDK. V 90. letech se objevila cihla „dnešního“ typu Therm, jenž má suchou styčnou spáru mezi jednotlivými cihelnými bloky, jenž se také značí P+D, neboli pero–drážka. Broušené cihly, mající zbroušené ložné plochy, se v České republice objevují na počátku 21. století. [4]

V současné době je doporučená hodnota dle normy ČSN 73 0540-2 (*Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*) pro těžké obvodové zdi $U = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Vyplní-li se i dutiny tepelně izolačním materiálem, hodnota U se blíží hodnotě $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Norma ČSN 73 0540-2 označuje izolační materiál za ten, jenž má tepelnou vodivost $\lambda < 0,1 \text{ W}/(\text{mK})$. [5]

Tím pádem se pálené cihelné bloky dají označit za izolační materiál, neboť v České republice se začínají čím dál více uplatňovat cihelné bloky o šířce 500 mm o hodnotě součinitele prostupu tepla nižším než $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, což přibližně odpovídá hodnotě tepelné vodivosti $0,085 \text{ W}/(\text{mK})$. [4]

Požadavky na součinitele prostupu tepla se za posledních 50 let zpřísnily přibližně 6krát. U zdiva z pálených cihel za stejnou dobu byla hodnota tepelného odporu navýšena asi 11krát. Cihly si svou oblíbenost zachovávají především pro svou trvanlivost a neměnnost svých parametrů. [4]

Součinitel prostupu tepla se počítá dle normy ČSN EN ISO 6946 [6] (*Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda*):

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad (1-1)$$

kde:

U [$W/(m^2K)$] – součinitel prostupu tepla

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

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

R_n [$(m^2K)/W$] – tepelný odpor n -té stavební konstrukce

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

λ_n [$W/(mK)$] – součinitel tepelné vodivosti n -té stavební konstrukce

Celkový odpor konstrukce R_T při přestupu tepla [6]:

$$R_T = R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se} \quad (1-2)$$

Z rovnic (1-1) a (1-2) plyne, že součinitel prostupu tepla U je převrácenou hodnotou celkového odporu konstrukce R_T při přestupu tepla. Celkový odpor se rovná součtu vnitřního a vnějšího tepelného odporu při přestupu tepla a součtu tepelných odporů n stavebních konstrukcí. Velikost tepelného odporu je přímo úměrná tloušťce stavební konstrukce a nepřímo úměrná jejímu součiniteli tepelné vodivosti.

Hodnoty vnějšího a vnitřního tepelného odporu neprůsvitné části konstrukce stanovuje norma ČSN EN ISO 6946 [6] a jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v tabulce 1.1.

Tab. 1.1: Závislost tepelného odporu na směru tepelného toku

Tepelný odpor [$W/(m^2K)$]	směr tepelného toku		
	nahoru	vodorovně	dolu
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

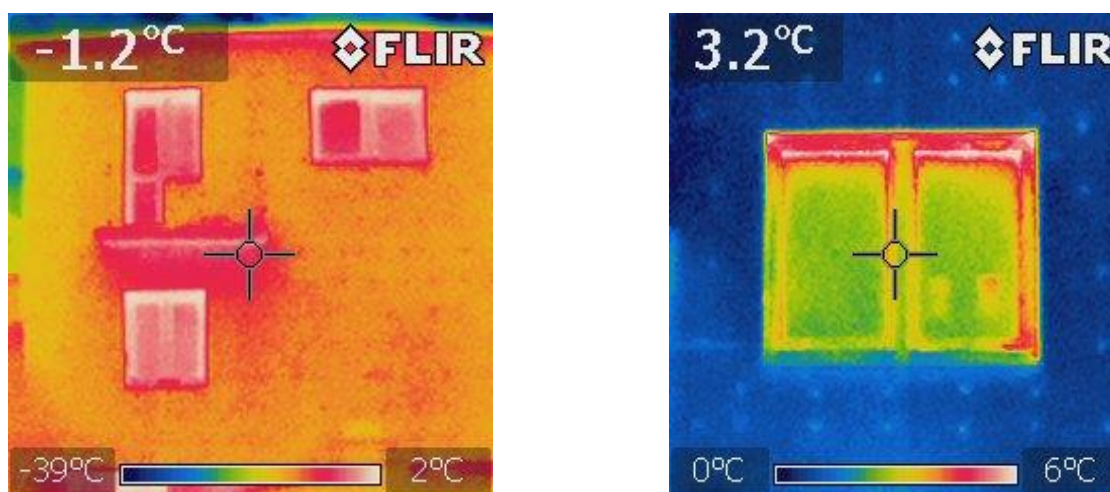
Hodnoty z tabulky lze použít jen pro povrchy přilehlé ke vzduchu.

Součinitel prostupu tepla počítaný dle této normy nebere v potaz tepelné mosty. [6]

1.3 Tepelné mosty

Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k zvýšenému teplotnímu toku. V interiéru má chladnější povrch a v exteriéru má teplejší povrch. [7]

Ukázka tepelných mostů je uvedena na termogramu vyhodnocované budovy (obr. 1.1). Velmi výrazné jsou bodové tepelné mosty způsobené kotevními hmoždinkami zateplovacího systému s kovovými trny. Lineární tepelné mosty jsou patrné kolem oken a v místě napojení balkónové konstrukce do obvodové zdi.



Obr. 1.1 Snímky z termokamery zachycují lineární tepelné mosty popisovaného domu

Tepelné mosty jsou negativní složkou konstrukce jak z pohledu energetického – zvyšují tepelnou ztrátu budovy – tak z hlediska hygienického. Zejména díky tomu, že v interiéru mají chladnější povrch, tudíž může na nich docházet ke kondenzaci páry nebo k lokálnímu zvýšení relativní vlhkosti vzduchu až k 80 %, což vytváří ideální živnou půdu pro tvorbu plísní, které mohou být zdroji alergenů a vytváří se tak nehygienické prostředí pro pobyt lidí. [7]

V dřívější době nehygienická stránka tepelných mostů nenabývala takového významu, neboť díky tomu, že se topilo lokálními kamny a větrání bylo intenzivnější, vzduch byl suchý a nedocházelo k takovému nárůstu vlhkosti či dokonce ke kondenzaci páry na tepelných mostech. V současnosti se naopak snažíme o co největší úsporu energie, tím pádem i větrání bývá omezováno na hygienickou výměnu vzduch nebo ještě méně. Má to za následek ten, že v interiéru je vlhčí vzduch a v místech tepelných mostů dochází ke kondenzaci vodní páry, což s sebou nese již zmíněné negativní hygienické

dopady. Proto je nezbytné dostatečné větrání a snahu o co nejméně energeticky náročnou budovu upřít zejména na volbu materiálu konstrukce a její samotnou stavbu, aby byla ponížena tepelná ztráta prostupem a vznik nežádoucích tepelných mostů.

Problematika tepelných mostů nabývá stále většího významu i proto, že podíl tepelné ztráty tepelnými mosty u domu ze 70. let byla přibližně 7 %. Pokud bude ale dům izolován dle doporučení současné normy, bude se podíl pohybovat kolem 25 %. [7]

Z toho vyplývá, že tepelné mosty nesmí být v současné době opomíjené a musí být brány v potaz při výpočtu tepelné ztráty budovy.

1.4 ČSN EN 12 831

Norma ČSN EN 12 831 se nazývá „*Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu*“ a je aktuální normou s účinností od 1. 4. 2005. Nahrazuje normu ČSN EN 12 831 (06 02010) z července roku 2003. Změna se týká převzetí EN 12 831 do soustavy norem České republiky. Předchozí norma ČSN EN 12 831 z července 2003 normu EN 12831:2003 převzala k přímému používání jako ČSN, tato norma ji přejímá překladem. [1]

Tato norma stanovuje postup výpočtu dodávky tepla nutného k bezpečnému dosažení vnitřní návrhové teploty. Jsou v ní také uvedeny postupy pro výpočet návrhové tepelné ztráty a návrhového tepelného výkonu pro standardní případy při návrhových podmínkách.

Pod termín standardní případy spadají všechny budovy, jejichž místnosti nepřesahují výšku stropu 5 m a mají vytápění do ustáleného stavu při návrhových podmínkách. Norma obsahuje i přílohy s informacemi týkající se budov s vysokou výškou stropu nebo halové stavby.

1.4.1 Zásady pro výpočtovou metodu

Aby bylo možné výpočtovou metodu použít, musí být splněny tyto požadavky [1]:

- rozložení teplot (teploty vzduchu a výpočtové teploty) je rovnoměrné
- tepelné ztráty se počítají pro ustálený stav za předpokladu konstantních vlastností, jako jsou hodnoty teplot, vlastnosti stavebních částí,...

Postup výpočtu lze použít pro budovy s výškou místností menší než 5 m a pro budovy, které se vytápí na stanovený trvalý teplotní stav a u nichž se předpokládají stejné hodnoty teploty vzduchu a výsledné teploty. [1]

Pro stanovení návrhového tepelného výkonu se použijí výsledky výpočtu návrhových tepelných ztrát. Návrhové tepelné ztráty se člení na návrhové tepelné ztráty prostupem a návrhové tepelné ztráty větráním.

2 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT DLE ČSN EN 12 831

Kapitola 2 vychází z údajů obsažených v normě ČSN EN 12 831 [1], pokud by tomu bylo v některých případech jinak, bude uvedena citace daného zdroje.

2.1 Potřebné údaje pro výpočet

Norma obsahuje přílohu D, která zahrnuje základní hodnoty pro výpočet návrhového tepelného výkonu. Pokud neexistuje národní příloha k této normě poskytující národní údaje, je možné použít základní hodnoty z přílohy D.

Následující informace jsou označovány jako potřebné:

- *klimatické údaje*
 - nutné stanovit výpočtovou venkovní teplotu T_e pro výpočet návrhových tepelných ztrát do vnějšího prostředí
 - pro výpočet tepelné ztráty do přilehlé zeminy je nutné použít průměrnou roční venkovní teplotu T_{me}
- *výpočtová vnitřní teplota*
 - vnitřní výpočtová teplota T_i je vnitřní teplota užitá pro výpočet návrhových tepelných ztrát
- *údaje o budově*
 - $V_i [m^3]$ – vnitřní objem vzduchu každé místnosti
 - $A_k [m^2]$ – plocha každé stavební části
 - $U_k [W/(m^2K)]$ – součinitel prostupu tepla pro každou stavební část
 - $\psi_l [W/(mK)]$ – lineární činitel prostupu tepla pro každý lineární tepelný most
 - $l_l [m]$ – délka každého lineárního tepelného mostu

Před výpočtem tepelných ztrát budovy je nutné stanovit výběr rozměrů budovy. Lze použít rozměry vnější, vnitřní nebo celkové vnitřní rozměry dle normy EN ISO 13 789. Volba rozměrů musí být jasně stanovena a být dodržena v celém výpočtu. Pro výpočet byly vybrány vnitřní rozměry.

2.2 Popis rodinného domu

Pro vyhodnocení tepelných ztrát rodinného domu byl vybrán prvorepublikový dvougenerační dům, jenž byl postaven roku 1937. Je situován uprostřed městské zástavby. Na základě předchozí, již neplatné normy ČSN 06 0210, lze říci, že poloha domu je chráněná. [8]

Jedná se o dvoupodlažní dům, který má charakteristické rysy architektury z období První republiky. Světlá výška místností byla 290 cm, ale z energetických důvodů byla sádkartonovými podhledy snížena na 270 cm. Minimální světlá výška místností je stanovena ve vyhlášce č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. Její hodnota je 2600 mm. Jedná-li se o místnosti se šikmým stropem, musí být minimální světlá výška dodržena alespoň nad polovinou podlahové plochy. [9]

Obvodové zdi jsou postaveny z pálených cihel tloušťky 45 cm. Hodnota součinitele prostupu tepla pálených cihel prošla obrovským vývojem, i přes to, že U současných pálených cihel se pohybuje i v rozmezí 0,11–0,16 W/(m²K), tak hodnota součinitele pálených cihel se v první polovině dvacátého století byla přibližně 1,4 W/(m²K). [4] Ke snížení tepelné ztráty prostupem tepla bylo obvodové zdivo roku 2008 zatepleno polystyrenem tloušťky 7 cm.

Dům je více než z 80 % podsklepený.

2.2.1 Údaje o budově

V následující tabulce 2.1 jsou uvedeny základní údaje o jednotlivých místnostech. Jedná se o objem místnosti V_i , plochu místnosti S_i , plochu obvodového zdiva $S_{obvodzed}$, plochu oken v dané místnosti S_{okno} a pro místnosti v prvním patře platí, že plocha místnosti se rovná ploše dané části střechy.

Tab. 2.1: Základní údaje o jednotlivých místnostech

	S_i [m ²]	V_i [m ³]	$S_{obvodzed}$ [m ²]	S_{okno} [m ²]
	[m ²]	[m ³]	[m ²]	[m ²]
Kuchyň	11,7	31,6	24,5	2
Jídelna	11,7	31,6	22	3,2
Obývací pokoj	20	54	20,2	4,1
Ložnice	14,1	38	22,9	3,5
Koupelna 1	5,7	15,3	6,2	1,8
Chodba 1	14,7	39,6	56,3	1,3
Dětský pokoj 1	14,1	38	22	4,5
Dětský pokoj 2	20	54	20,2	4,1
Dětský pokoj 3	11,7	31,6	24	2,5
Šatna	12,5	33,7	22,9	2,3
Koupelna 2	4,3	11,7	7,1	1
Chodba 2	12,5	33,7	5,2	2,6

2.3 Klimatické údaje

Dům se nachází v Benešově u Prahy a pro tuto lokalitu je délka otopné sezony 280 dní, je-li stanovena mezní venkovní teplota $T_{mezní}$ na 13°C.

Tato hodnota určuje, kdy dodávka tepelné energie začíná a končí. Dodávka tepelné energie začíná, klesne-li průměrná denní teplota pod 13°C ve dvou po sobě jdoucích dnech a předpověď počasí nepředpokládá zvýšení teploty nad tuto hranici pro následující den. Naopak k omezení či dokonce k přerušení vytápění v otopném období dochází tehdy, pokud průměrná denní teplota je vyšší než 13 °C ve dvou po sobě jdoucích dnech a předpověď počasí nenaznačuje pokles teploty pod 13 °C pro následující den. Dojde-li k poklesu průměrné denní teploty pod 13 °C, vytápění se obnoví. Dle vyhlášky Ministerstva obchodu a průmyslu je otopné období stanoveno od 1. září do 31. května. [10]

Průměrná venkovní teplota T_{me} otopného období v této lokalitě je 5,2 °C. Výpočtová venkovní teplota T_e má hodnotu -15 °C.

2.3.1 Výpočtová vnitřní teplota

Výpočtová vnitřní teplota T_i je vnitřní teplota užitá pro výpočet návrhových tepelných ztrát. Její hodnota se liší v závislosti na účelu využití dané místnosti či budovy. V tomto konkrétním případě je z důvodu požadovaného tepelného komfortu obyvatel domu zvolena vnitřní výpočtová teplota T_i ve všech vytápěných prostorech shodná a má hodnotu 23 °C, tím pádem nedochází k prostupu tepla přes příčky mezi jednotlivými vytápěnými místnostmi, jelikož teplotní spád je nulový.

2.4 Součinitel prostupu tepla jednotlivých konstrukcí

2.4.1 Okna a balkónové dveře

Okna a balkónové dveře jsou plastového provedení a součinitel prostupu tepla uváděný výrobcem má hodnotu 1,2 W/(m²K). Okna a dveře jsou tvořeny dvojskly a dvojitým těsněním. Mají 4 vzduchové komory uvnitř rámu. V dřívější době platilo, že čím více má rám komor, tím menší je součinitel prostupu tepla rámu. V současnosti už to doslova neplatí, neboť velké množství výrobců začíná preferovat menší počet komor, které opatřují tepelnou izolací (vypěněním), což vede k tomu, že součinitel prostupu tepla rámy se ještě více sníží.

2.4.2 Vchodové dveře

Jedná se o dřevěné dubové dveře se skleněnou výplní. Pro tento typ dveří udává norma ČSN 730540-3 (*Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*) hodnotu $U = 4,7$ W/(m²K). [12]

2.4.3 Obvodová zeď

Obvodové zdi domu jsou složeny ze čtyř vrstev. Základem je pálená cihla tloušťky 45 cm z 30. let minulého století. Pro lepší tepelně-izolační vlastnosti zdi je použitý pěnový polystyren o tloušťce 7 cm. Vnitřní povrch obvodové zdi je z vápenné omítky a vnější strana je pokryta perlitovou omítkou.

Pro výpočet součinitele prostupu tepla zdiva je nezbytné uvažovat také vnější (R_{se}) a vnitřní (R_{si}) tepelný odpor při přestupu tepla. Směr tepelného toku vzhledem

k obvodovým zdem je vodorovný, proto na základě normy ČSN EN ISO 6946 [5] je zvoleno:

- $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$
- $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

Základní parametry jednotlivých vrstev jsou uvedeny v tabulce 2.2 – tloušťka a součinitel tepelné vodivosti. Hodnoty tepelných vodivostí jednotlivých vrstev jsou převzaty z TZB-info. [13]

Z těchto hodnot je poté vypočten jejich tepelný odpor dle vztahu [5]:

$$R_n = \frac{s_n}{\lambda_n} \quad (2-1)$$

Tab. 2.2: Skladba obvodové zdi

Materiál	$s_n [m]$	$\lambda_n [W/(m.K)]$	$R [m^2K/W]$
Vápenná omítka	0,015	0,88	0,017
Pálená cihla	0,45	0,63	0,714
Pěnový polystyren	0,07	0,04	1,75
Perlitová omítka	0,015	0,1	0,15

Celková hodnota součinitele prostupu tepla se určí dle již uvedeného vzorce (1-2):

$$U_{obvodzed} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^4 R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^4 \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,015}{0,88} + \frac{0,45}{0,63} + \frac{0,07}{0,04} + \frac{0,015}{0,1} + 0,04} \quad (2-2)$$

$$U_{obvodzed} = 0,36 \text{ W}/(m^2K)$$

Dle současné normy ČSN 730540-2 je doporučená hodnota vnější stěny $U = 0,25 \text{ W}/(m^2K)$ [5], tudíž současné zdivo z tohoto hlediska není dostatečné. Například jednou z možností, jak dosáhnout doporučené hodnoty, by bylo použití silnějšího pěnového polystyrenu. Použitím polystyrenu o tloušťce 15 cm, se dosáhne hodnoty $U = 0,21 \text{ W}/(m^2K)$ a splnění normy.

Zajímavostí je, že již současné broušené cihly o tloušťce 38 cm, jejichž součinitel tepelné vodivosti se pohybuje kolem hodnot $0,089 \text{ W}/(mK)$ [4] splňují normu, že $U_{obvodovázed} < 0,25 \text{ W}/(m^2K)$.

To je jen potvrzení toho, jak obrovským vývojem pálené cihly prošly.

2.4.4 Podlaha oddělující přízemí a sklep

Skladba podlahy oddělující přízemí a sklep je patrná z tab. 2.3.

Tab. 2.3: Skladba podlahy oddělující přízemí a sklep

Materiál	s_n [m]	λ_n [W/(mK)]
Vinyl	0,005	0,033
Sádrová stěrka	0,01	0,3
Beton	0,08	1,3
Pěnový polystyren	0,08	0,04
železobeton	0,12	1,43
Vápenná omítka	0,015	0,88

Jelikož směr tepelného toku vůči podlaze je dolů, na základě normy ČSN EN ISO 6946 [5] je vnitřní a vnější tepelný odpor při přestupu tepla:

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

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

Celková hodnota součinitele prostupu tepla podlahy $U_{podlaha}$:

$$\begin{aligned} U_{podlaha} &= \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^6 R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^6 \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \\ &= \frac{1}{0,17 + \frac{0,005}{0,033} + \frac{0,01}{0,3} + \frac{0,08}{1,3} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,12}{1,43} + \frac{0,015}{0,88} + 0,04} = 0,39 \text{ W/(m}^2\text{K)} \end{aligned} \quad (2-3)$$

$$U_{podlaha} = 0,39 \text{ W/(m}^2\text{K)}$$

2.4.5 Příčka oddělující vytápěný prostor od nevytápěného

Vzhledem k tomu, že v tomto domě jsou vnitřní výpočtové teploty nastaveny tak, že mezi obytnými místnostmi a chodbami není teplotní rozdíl, tak není uvažován přestup tepla mezi nimi.

Přestup tepla mezi vytápěným a nevytápěným prostorem je zejména přes podlahu oddělující přízemí a sklep a přes příčku oddělující chodbu a koupelnu od sklepa.

Složení příčky a její základní parametry jsou uvedeny v tab. 2.4.

Tab. 2.4: Skladba příčky, jež rozděluje vytápěný prostor od nevytápěného

Materiál	s_n [m]	λ_n [W/(mK)]
Vápenná omítka	0,015	0,88
Pálená cihla	0,15	0,63
Vápenná omítka	0,015	0,88

Směr tepelného toku vůči svislé příčce je vodorovný, tudíž jsou koeficienty R_{si} , R_{se} dle normy ČSN EN ISO 6946 [5] zvoleny následujícím způsobem:

- $R_{si} = 0,13$ (m²K)/W
- $R_{se} = 0,04$ (m²K)/W

$$U_{příčka} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^3 R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^3 \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \frac{0,015}{0,88} + \frac{0,15}{0,63} + \frac{0,015}{0,88} + 0,04} \quad (2-4)$$

$$U_{příčka} = 1,73 \text{ W}/(m^2K)$$

Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro konstrukce typu strop nebo stěna vnitřní oddělující vytápěný prostor od nevytápěného dle normy ČSN 730540-2 je 0,4 W/(m²K) [5]. Tato příčka je dle současné normy nevyhovující.

2.4.6 Střecha

Součinitel prostupu tepla střechy domu nelze přesně určit, neboť asi před 30-ti lety proběhla rekonstrukce střechy a nejsou k ní dostupné technické údaje ani výkresová dokumentace. Pro přesné určení součinitele přestupu tepla by bylo nutné provést zkušební sondu do střechy, aby byla přesně známa skladba a tloušťky jednotlivých vrstev.

Přibližná hodnota součinitele prostupu tepla je určena z On-line kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám, z níž je převzata hodnota U tak, aby byla více na straně „bezpečnosti“, a nedošlo k neočekávaným tepelným ztrátám a následně k výpočtu nedostatečného tepelného výkonu pro zajištění tepelného komfortu vytápěných místností i za těch nejnepříznivějších podmínek.

Na základě těchto předpokladů je uvažována střecha s tepelnou izolací 10 cm mezi krovy. Pro tento typ střechy je stanovena hodnota [14]:

$$U_{střecha} = 0,44 \text{ W}/(m^2K) \quad (2-5)$$

2.4.7 Podlaha na zemině

Součinitel prostupu tepla podlahy, k níž je přilehlá zemina, se počítá dle normy ČSN EN ISO 13 370 (*Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*). [15]

Pro určení U je nezbytné stanovit B' , což je charakteristický parametr.

$$B' = \frac{A_g}{P} \quad (2-6)$$

Jednotlivé členy představují:

A_g [m] – plocha uvažované podlahové konstrukce. Pro určení charakteristického parametru budovy se A_g stanoví jako celková plocha podlahové konstrukce

P [m] – délka obvodových stěn oddělující vytápěný prostor uvažované části budovy od venkovního prostředí. Hodnota P pro celou budovu se rovná celkovému obvodu budovy. Přestože podlaha je ve styku se zeminou jen v jídelně, je nutné počítat charakteristický parametr B' pro celou budovu, neboť pokud platí, že $U_{podlaha} < 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, nelze uvažovat B' jen pro danou místnost.

$$B' = \frac{A_g}{P} = \frac{77,74}{43,75} \cong 1,77 \quad (2-7)$$

Dále je nutné stanovit ekvivalentní tloušťku podlahy d_t , která je funkcí tepelného odporu podlahy, tepelné vodivosti zeminy λ a tloušťky obvodových zdí w .

$$d_t = w + \lambda_{zemina} \cdot (R_{si} + \sum_1^7 \frac{S_n}{\lambda_n} + R_{se}) \quad (2-8)$$

Tepelný odpor podlahy ležící na zemině se liší od tepelného odporu podlahy nad nevytápěným sklepem. Podlaha ležící na zemině je složena navíc z hydroizolace ve formě asfaltové lepenky o tloušťce 5 mm a součiniteli tepelné vodivosti $\lambda = 0,21 \text{ W}/(\text{mK})$. [13]

Pro zeminu, která je složena zejména z hlíny, jílu a písku, se nejčastěji volí $\lambda = 2 \text{ W}/(\text{mK})$. [1]

$$d_t = 0,45 + 2 \cdot (0,17 + \frac{0,005}{0,033} + \frac{0,01}{0,3} + \frac{0,08}{1,3} + \frac{0,08}{0,04} + \frac{0,005}{0,21} + \frac{0,12}{1,43} + \frac{0,015}{0,88} + 0,04)$$
$$d_t = 5,6 \text{ m} \quad (2-9)$$

Pro následující výpočet $U_{podlaha \text{ nad zeminou}}$ se porovná hodnota charakteristické tloušťky podlahy d_t s parametrem budovy B' .

Pokud $d_t < B'$, platí:

$$U_{\text{podlahanadzeminou}} = \frac{2 \cdot \lambda_{\text{zemina}}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right) \quad (2-10)$$

Pokud $d_t \geq B'$, platí:

$$U_{\text{podlahanadzeminou}} = \frac{\lambda_{\text{zemina}}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad (2-11)$$

Pro analyzovanou budovu platí: $5,6 \geq 1,77 \rightarrow d_t \geq B'$ a součinitel prostupu tepla podlahy nad zemínou se rovná:

$$U_{\text{podlahanadzeminou}} = \frac{\lambda_{\text{zemina}}}{0,457 \cdot B' + d_t} = \frac{2}{0,457 \cdot 1,77 + 5,6} = 0,31 \frac{W}{m^2K} \quad (2-12)$$

2.5 Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru

Postup výpočtu celkové návrhové tepelné ztráty vytápěných prostorů rodinného domu dle normy ČSN EN 12 831 je podrobně vysvětlen na výpočtu návrhové tepelné ztráty modelové místnosti. Tuto místnost představuje obývací pokoj. Postup výpočtu zbývajících místností je analogický a výsledky tepelných ztrát jsou uvedeny ve shrnujících tabulkách. Pokud ale modelová místnost díky své stavební dispozici neumožní názorný výpočet nějaké problematiky, bude pro daný případ vybrána jiná místnost, na níž lze výpočet provést.

Jak již bylo zmíněno, celková tepelná ztráta vytápěného prostoru Φ_i [W] je dána součtem tepelné ztráty prostupem tepla $\Phi_{T,i}$ [W] a tepelné ztráty větráním $\Phi_{V,i}$ [W]:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad (2-13)$$

2.5.1 Návrhová tepelná ztráta prostupem

Návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru se vypočítá dle rovnice (2-14):

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (T_i + T_e) \quad (2-14)$$

kde jednotlivé členy rovnice představují:

$H_{T,ie}$ [W/K] – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes plášť budovy

$H_{T,iue}$ [W/K] – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor

$H_{T,ig}$ [W/K] – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do zeminy

$H_{T,ij}$ [W/K] – součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do vytápěného prostoru s výrazně odlišnou teplotou

T_i [°C] – vnitřní výpočtová teplota

T_e [°C] – venkovní výpočtová teplota

Součinitel tepelné ztráty prostupem modelové místnosti z vytápěného prostředí do venkovního prostředí

$$H_{T,ie} = \sum_K A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \Psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad (2-15)$$

kde:

A_k [m²] – plocha stavební části

U_k [W/(m²K)] – součinitel prostupu tepla stavební části počítaný dle normy ČSN EN ISO 6946 (pro okna a dveře byly zvoleny hodnoty udávány výrobcem a pro vchodové dveře byl součinitel prostupu tepla vybrán dle normy ČSN 730540-3)

e_k, e_l [-] – korekční činitel zastupující povětrnostní vlivy při uvažování klimatických vlivů. Jsou použity základní hodnoty, které jsou uvedeny v příloze D.4.1 normy ČSN EN 12 831, tj. $e_k, e_l = 1$.

l_l [m] – délka lineární tepelných mostů mezi vnitřním a venkovním prostředím

Ψ_l [W/(mK)] – činitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu

Hodnota Ψ_l se stanovuje následovně:

- tabelární hodnoty uvedené v EN ISO 14686
- výpočet dle EN ISO 10211-2 – doporučeno

Při výpočtu tepelné ztráty prostupem neuvažujeme nelineární tepelné mosty.

Vzhledem k tomu, že analyzovaný dům pochází z 30. let minulého století, tak podíl tepelné ztráty lineárními mosty bude téměř zanedbatelný. Vezme-li se v úvahu, že podíl tepelné ztráty lineárními mosty u domu ze 70. let 20. století činí přibližně 7 % [7], tak v tomto případě bude ještě nižší, neboť ještě větší část tepelné ztráty zaujímá tepelná ztráta prostupem přes obvodový plášť budovy, protože použité materiály neměly ještě tak výhodné vlastnosti.

Lze tedy využít zjednodušenou metodu dle normy ČSN EN 12 831 zahrnující vliv lineárních tepelných mostů pomocí korigovaného součinitele prostupu tepla U_{kc} :

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} \quad (2-16)$$

kde:

$U_{kc} [W/(m^2K)]$ – korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části zahrnující lineární tepelné mosty

$U_k [W/(m^2K)]$ – součinitel prostupu tepla stavební části

$\Delta U_{tb} [W/(m^2K)]$ – korekční součinitel – závisí na druhu stavební části. Základní údaje jsou uvedeny v normě ČSN EN 12 831, příloha D.4.1

Pro zjednodušení výpočtu je pro všechny svislé a vodorovné stavební části zvolena hodnota $\Delta U_{tb} = 0,05 W/(m^2K)$. Touto hodnotou bývají také označovány konstrukce s mírnými tepelnými mosty. [14]

Pro otvorové výplně (okna, dveře) závisí hodnota ΔU_{tb} na ploše stavební části. Viz následující tabulka 2.5:

Tab. 2.5: Velikost korekčního součinitele ΔU_{tb} pro otvorové výplně dle plochy výplně

Plocha stavební části [m ²]	$\Delta U_{tb} [W/(m^2K)]$
0 – 2	0,5
> 2 až 4	0,4
> 4 až 9	0,3
> 9 až 20	0,2
> 20	0,1

Zjednodušený vztah (2-17) pro výpočet tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí:

$$H_{T,ie} = \sum_K A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k = A_{Kobv.zed} \cdot (U_{Kobv.zed} + \Delta U_{tb}) \cdot e_k + A_{Kokna} \cdot (U_{Kokna} + \Delta U_{tb}) \cdot e_k \quad (2-17)$$

$$H_{T,ie} = (20,24) \cdot (0,36 + 0,05) \cdot 1 + 4,05 \cdot (1,2 + 0,3) \cdot 1 = 14,37 W/K \quad (2-18)$$

Tepelná ztráta prostupem modelové místnosti do venkovního prostředí

$$\Phi_{T,ie} = H_{T,ie} \cdot (T_i - T_e) = 14,37 \cdot (23 - (-15)) = 546,19 W \quad (2-19)$$

Tepelné ztráty modelové místnosti nevytápěným prostorem – součinitel tepelné ztráty $H_{T,iue}$

K této tepelné ztrátě dochází v případě, je-li mezi vytápěným prostorem a venkovním prostředím nevytápěný prostor.

Návrhový součinitel prostupu tepla se vypočte následovně:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_k \Psi_l \cdot l_l \cdot b_u \quad (2-20)$$

Stejně jako v předchozím případě je zvolena zjednodušená metoda dle normy ČSN EN 12 831, která zahrnuje vliv lineárních tepelných mostů do korigovaného součinitele prostupu tepla U_{kc} :

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u \quad (2-21)$$

kde:

b_u [-] – redukční teplotní činitel zahrnující rozdíl teplot mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovní návrhovou teplotou. Dle zkušeností a dlouhodobému pozorování majitelky domu je známa průměrná teplota nevytápěného prostředí T_u v otopném období $T_u = 5$ °C. Tím pádem lze hodnotu b_u spočítat dle:

$$b_u = \frac{T_i - T_u}{T_i - T_e} = \frac{23 - 5}{23 - (-15)} = 0,47 \quad (2-22)$$

Nyní lze spočítat návrhový součinitel prostupu mezi vytápěným a nevytápěným prostorem pro modelovou místnost:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u = 20 \cdot (0,39 + 0,05) \cdot 0,47 = 4,136 \text{ W/K} \quad (2-23)$$

Tepelná ztráta prostupem přes nevytápěný prostor do venkovního prostředí modelové místnosti:

$$\Phi_{T,iue} = H_{T,iue} \cdot (T_i - T_e) = 4,136 \cdot (23 - (-15)) = 157,17 \text{ W} \quad (2-24)$$

Tepelná ztráta prostupem do přilehlé zeminy

Tepelná ztráta podlahami či základovými stěnami do přilehlé zeminy závisí na mnoha faktorech. Jednotlivé faktory vyplývají z rovnice pro součinitele tepelné ztráty do přilehlé zeminy $H_{T,ig}$.

Norma ČSN EN 12 831 se řídí při výpočtu tepelné ztráty do zeminy normou ČSN EN ISO 13 370. V této normě je popsán jak podrobný, tak i zjednodušený výpočet, který je dále uveden.

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv}) \cdot G_w \quad (2-25)$$

Kde:

f_{g1} [-] – korekční činitel, jenž bere v potaz vliv ročních změn venkovní teploty

f_{g2} [-] – teplotní redukční činitel, jenž zohledňuje rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou T_{me} a výpočtovou venkovní teplotou T_e , se určí dle následující rovnice [1]:

$$f_{g2} = \frac{T_i - T_{me}}{T_i - T_e} \quad (2-26)$$

A_k [m^2] – plocha stavebních částí, jež se dotýkají zeminy

U_{equiv} [$W/(m^2K)$] – ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavebních částí. Hodnota je určena výpočtem dle normy ČSN EN ISO 13 370

G_w [-] – korekční činitel zohledňující vliv podzemní vody. Tento vliv je nutno brát v potaz v případě, je-li hladina podzemní vody vůči podlahové desce menší než 1 m.

Vzhledem k tomu, že modelová místnost není v kontaktu se zeminou, tak byla pro názornost výpočtu vybrána jídelna. Tato místnost jako jediná není podsklepená a její podlaha je v přímém kontaktu se zeminou.

Plocha jídelny je $11,7 m^2$ a po celé této ploše je v kontaktu se zeminou. Hodnota f_{g1} je dle normy ČSN EN 12 831 standardně na 1,45. Jelikož vzdálenost mezi podlahovou deskou a hladinou podzemní vody je větší než 1 m, je hodnota $G_w = 1$.

Teplotní redukční činitel f_{g2} lze vypočítat dle uvedeného vztahu (2-27). Roční průměrná venkovní teplota T_{me} v Benešově, je-li uvažována výpočtová venkovní teplota $T_e = -15$ °C, je 5,2 °C.

$$f_{g2} = \frac{T_i - T_{me}}{T_i - T_e} = \frac{23 - 5,2}{23 - (-15)} = 0,47 \quad (2-27)$$

U_{equiv} byl již vypočítán v podkapitole 2.4.7 dle normy ČSN EN ISO 13 370, neboť U_{equiv} se rovná $U_{podlahanadzeminou}$. Čili $U_{equiv} = 0,31 W/(m^2K)$.

Součinitel tepelné ztráty jídelny prostupem tepla do zeminy:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv}) \cdot G_w = 1,45 \cdot 0,47 \cdot (11,7 \cdot 0,31) \cdot 1 = 2,47 \text{ W/K} \quad (2-28)$$

Tepelná ztráta jídelny prostupem tepla do zeminy:

$$\Phi_{T,ig} = H_{T,ig} \cdot (T_i - T_e) = 2,47 \cdot (23 - (-15)) = 93,92 \text{ W} \quad (2-29)$$

Tepelné ztráty v rámci vytápěných prostorů o různé teplotě – součinitel tepelné ztráty $H_{T,ij}$

Vzhledem k tomu, že v dané budově jsou všechny vytápěné místnosti vytápěny přibližně na stejnou teplotu (23°C) a jelikož poloha domu se dá označit za osamělou, nikoli řadovou, tím pádem ani nedochází k prostupu tepla do okolní budovy, která by byla vytápěna na rozdílnou teplotu, nedochází k tepelné ztrátě prostupem tepla mezi místnostmi o různé teplotě. Což vede k tomu, že pro danou dispozici člen $H_{T,ij}$ z rovnice (2-14) odpadá a rovnice pro návrhovou tepelnou ztrátu prostupem má tvar:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig}) \cdot (T_i + T_e) \quad (2-30)$$

Celková tepelná ztráta prostupem modelové místnosti

Tabulka 2.6 shrnuje výpočet tepelné ztráty prostupem modelové místnosti

Tab. 2.6: Tepelná ztráta prostupem modelové místnosti

Modelová místnost				
<i>Součinitel tepelné ztráty přímo do venkovního prostředí</i>				
Stavební část	A_k [m ²]	U_{kc} [W/(m ² K)]	e_k [-]	$A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$ [W/K]
Obvodová zeď	20,24	0,41	1,00	8,30
Okno	4,05	1,50	1,00	6,08
Dveře	0,00	0,00	0,00	0,00
$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k$			[W/K]	14,37
<i>Součinitel tepelné ztráty přes nevytápěný prostor</i>				
Stavební část	A_k [m ²]	U_{kc} [W/(m ² K)]	b_u [-]	$A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$ [W/K]
Podlahová deska	20,00	0,44	0,47	4,14
$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u$			[W/K]	4,14
<i>Součinitel epelné ztráty do přilehlé zeminy</i>				
f_{g1} [-]				1,45
f_{g2} [-]				0,47
G_w [-]				1,00
Stavební část	A_k [m ²]	U_{equiv} [W/(m ² K)]	$f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv}) \cdot G_w$ [W/K]	
Žádná	0,00	0,31	0,00	
$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv}) \cdot G_w$			[W/K]	0,00
Venkovní výpočtová teplota			T_e [°C]	-15,00
Vnitřní výpočtová teplota			T_i [°C]	23,00
<i>Tepelná ztráta přímo do venkovního prostředí</i>				
$\Phi_{T,ie} = H_{T,ie} \cdot (T_i - T_e)$			[W]	546,19
<i>Tepelná ztráta přes nevytápěný prostor</i>				
$\Phi_{T,iue} = H_{T,iue} \cdot (T_i - T_e)$			[W]	157,17
<i>Tepelná ztráta do přilehlé zeminy</i>				
$\Phi_{T,ig} = H_{T,ig} \cdot (T_i - T_e)$			[W]	0,00
Celková tepelná ztráta prostupem modelové místnosti				
$\Phi_{T,i} = \Phi_{T,ie} + \Phi_{T,iue} + \Phi_{T,ig}$			[W]	703,36

Tepelná ztráta prostupem jednotlivých místností

V následující tabulce 2.7 jsou uvedeny tepelné ztráty prostupem všech místností rodinného domu.

Tab. 2.7: Tepelná ztráta prostupem všech místností

Tepelná ztráta prostupem jednotlivých místností				
	<i>Přímo do venkovního prostředí [W]</i>	<i>Přes nevytápěný prostor [W]</i>	<i>Do zeminy [W]</i>	<i>Celková tepelná ztráta prostupem [W]</i>
<i>Kuchyň</i>	554,49	91,94	0	646,43
<i>Jídelna</i>	533,89	0	93,61	627,5
<i>Obývací pokoj (modelová místnost)</i>	546,15	157,17	0	703,32
<i>Ložnice</i>	571,73	110,65	0	682,38
<i>Koupelna (přízemí)</i>	213,5	147,74	0	361,24
<i>Chodba (přízemí)</i>	1503,55	494,63	0	1998,18
<i>Dětský pokoj 1</i>	859,02	0	0	859,02
<i>Dětský pokoj 2</i>	918,55	0	0	918,55
<i>Dětský pokoje 3</i>	742,78	0	0	742,78
<i>Šatna</i>	726,93	0	0	726,93
<i>Koupelna (1. patro)</i>	252,76	0	0	252,76
<i>Chodba (1. patro)</i>	473,89	0	0	473,89
<i>Celková tepelná ztráta prostupem rodinného domu [W]</i>				8992,98

Z tabulky 2.7 vyplývá, že k největší tepelné ztrátě prostupem dochází v chodbě v přízemí. Je to způsobené tím, že tato část budovy zaujímá velkou část obvodového zdiva (56,32 m²) a také to, že tato místnost má největší tepelnou ztrátu prostupem přes nevytápěný prostor. K této tepelné ztrátě dochází jak přes podlahovou desku, tak i přes vnitřní příčku o ploše přibližně 9 m² s vysokým součinitelem prostupu tepla ($U_k = 1,73 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Do této stěny jsou vsazené dveře, které slouží jako vchod do sklepa a vzhledem k vysoké hodnotě U_k ($U_k = 3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) se jedná o další příčinu, která způsobuje vysoké tepelné ztráty prostupem přes nevytápěný prostor.

Podstatný je také vliv vchodových dveří, které se nachází právě v této místnosti. Jedná se o dubové dveře s prosklením a součinitelem prostupu tepla U_k o hodnotě 4,7 W/(m²K). Tato hodnota byla vybrána dle normy ČSN EN 730540-3, která stanovuje hodnoty součinitele prostupu tepla oken a dveří. [12]

Tepelná ztráta přes vchodové dveře činí 543,4 W a vezme-li se v potaz, že moderní sendvičové vchodové dveře mají hodnotu U_k v rozmezí 0,8–1 W/(m²K) [16], tak by to mohla být jedna z mnoha alternativ, jak snížit energetickou náročnost budovy.

Hlavním důvodem výměny vchodových dveří může také být snaha o získání dotací na nově zateplené budovy. Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla pro vchodové dveře dle normy ČSN EN 730540-2 z roku 2007 činí 1,2 W/(m²K). [5]

Celková tepelná ztráta prostupem rodinného domu je přibližně 9 kW.

2.5.2 Návrhová tepelná ztráta větráním

Návrhová tepelná ztráta větráním je počítána dle následujícího vzorce:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (T_i - T_e) \quad (2-31)$$

kde:

$H_{V,i}$ [W/K] – součinitel návrhové tepelné ztráty větráním

T_i [°C] – vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru

T_e [°C] – venkovní výpočtová teplota

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním závisí na výměně vzduchu, na hustotě vzduchu a na jeho měrné tepelné kapacitě dle následujícího vztahu:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot \dot{V}_i \quad (2-32)$$

kde:

\dot{V}_i [m³/s] – výměna vzduchu ve vytápěném prostoru

Koeficient 0,34 je dán součinem hustoty a měrné tepelné kapacity vzduchu.

Výpočtový postup jak stanovit \dot{V}_i se odvíjí od uvažovaného řešení – např. je-li nainstalována větrací soustava či nikoli.

Vzhledem k tomu, že rodinný dům v Benešově větrací soustavu nemá nainstalovanou, bude dále rozebráno právě toto řešení.

V tomto případě lze tedy předpokládat, že teplota přiváděného vzduchu se rovná venkovní výpočtové teplotě. Jedná se tedy o přirozené větrání.

Hodnota výměny vzduchu vytápěného prostoru \dot{V}_i jež je užitá pro výpočet součinitele návrhové tepelné ztráty větráním, se určí jako maximální hodnota z výměny vzduchu infiltrací \dot{V}_{inf} spárami a styky obvodového pláště budovy a z minimální výměny vzduchu \dot{V}_{min} , která je nezbytná z hygienických důvodů:

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf}; \dot{V}_{min}) \quad (2-33)$$

Hygienické množství vzduchu \dot{V}_{min}

Minimální množství vzduchu je požadováno z hygienických důvodů a dle normy ČSN EN 12 831 je jej možné vypočítat dle vztahu:

$$\dot{V}_{min} = n_{min} \cdot V_i \quad (2-34)$$

kde:

$n_{min} [h^{-1}]$ – minimální intenzita výměny vzduchu za hodinu

Základní hodnoty n_{min} jsou v příloze D.5.1 normy ČSN EN 12 831 a z níž plyne, že pro běžné obytné prostory se n_{min} volí $0,5 h^{-1}$ a pro koupelny s okny nebo kuchyně se n_{min} volí $1,5 h^{-1}$.

$V_i [m^3]$ – objem vytápěné místnosti

Infiltrace obvodovým pláštěm budovy \dot{V}_{inf}

Množství vzduchu infiltrací vytápěného prostoru, jenž je způsobeno účinkem větru a vzlaku na plášť budovy, lze spočítat následovně:

$$\dot{V}_{inf} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (2-35)$$

kde:

$V_i [m^3]$ – objem vytápěné místnosti

$n_{50} [h^{-1}]$ – intenzita výměny vzduchu, je-li rozdíl tlaků mezi vnitřkem a vnějškem budovy 50 Pa a zahrnující účinky přívodů vzduchu

- Závisí na stupni těsnosti obvodového pláště budovy a zda-li se jedná o dům či bytové domy
- na základě charakteristiky budovy zvoleno: $n_{50} = 7 h^{-1}$

$e_i [-]$ – stínící činitel, základní hodnoty uvedeny v příloze D.5.3 normy ČSN EN 12 831

- zvolené hodnoty uvedeny v tab. 2.9

$\varepsilon_i [-]$ – korekční výškový činitel zohledňující zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země. Základní hodnoty uvedeny v příloze D.5.4 normy ČSN EN 12831

- Střed vytápěných místností v prvním patře je 5,6 m, tedy $\varepsilon_i = 1$.

V rovnici (2-37) je člen 2, neboť hodnota n_{50} je určena pro celou budovu a výpočet musí obsáhnout nejhorší případ, kdy veškerý infiltrovaný vzduch vstupuje na jedné straně budovy.

V tabulce 2.8 je uveden výpočet tepelné ztráty rodinného domu přirozeným větráním.

Tab. 2.8: Výpočet tepelné ztráty větráním

Výpočet tepelné ztráty rodinného domu přirozeným větráním												
Místnost	Kuchyně	Jídelna	Obývací pokoj	Ložnice	Koupelna (přízemí)	Chodba (přízemí)	Dětský pokoj 1	Dětský pokoj 2	Dětský pokoj 3	Šatna	Koupelna (1. patro)	Chodba (1. patro)
Objem místnosti [m ³]	31,59	31,59	54,00	38,02	15,29	73,20	38,02	54,00	33,70	31,59	11,66	35,70
Vnitřní teplota T _i [°C]	23,00											
Venkovní teplota T _e [°C]	-15,00											
n _{min} [h ⁻¹]	1,50	0,50	0,50	0,50	1,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	1,50	0,50
V _{min} [m ³ /h]	47,39	15,80	27,00	19,01	22,94	36,60	19,01	27,00	16,85	15,80	17,50	17,85
n ₅₀ [h ⁻¹]	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
e _l [-]	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
e _l [-]	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
V _{int} [m ³ /h]	8,85	8,85	22,68	15,97	4,28	20,50	15,97	22,68	9,43	8,85	3,27	10,00
V _i = max(V _{min} ; V _{int})	47,39	15,80	27,00	19,01	22,94	36,60	19,01	27,00	16,85	15,80	17,50	17,85
H _{v,i} (W/K)	16,11	5,37	9,18	6,46	7,80	12,44	6,46	9,18	5,73	5,37	5,95	6,07
Φ _{v,i} [W]	612,21	204,07	348,84	245,58	296,37	472,87	245,58	348,84	217,68	204,07	226,05	230,62
Celková návrhová tepelná ztráta větráním [W]	3652,80											

2.6 Zanalyzování celkové tepelné ztráty rodinného domu

Výpočet celkové návrhové tepelné ztráty rodinného

Celková návrhová tepelná ztráta se vypočte dle rovnice (2-36):

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} = 8992,98 + 3652,80 = 12645,78 \text{ W} \cong 12,7 \text{ kW} \quad (2-36)$$

Z hlediska snížení energetické náročnosti budovy je nezbytné celkovou návrhovou tepelnou ztrátu rozdělit do několika skupin, aby bylo možné zanalyzovat, která opatření sníží co nejúčinněji celkovou tepelnou ztrátu. Jak již bylo uvedeno, celková tepelná ztráta se skládá z tepelné ztráty prostupem a z tepelné ztráty větráním, což je také základní rozdělení tepelné ztráty.

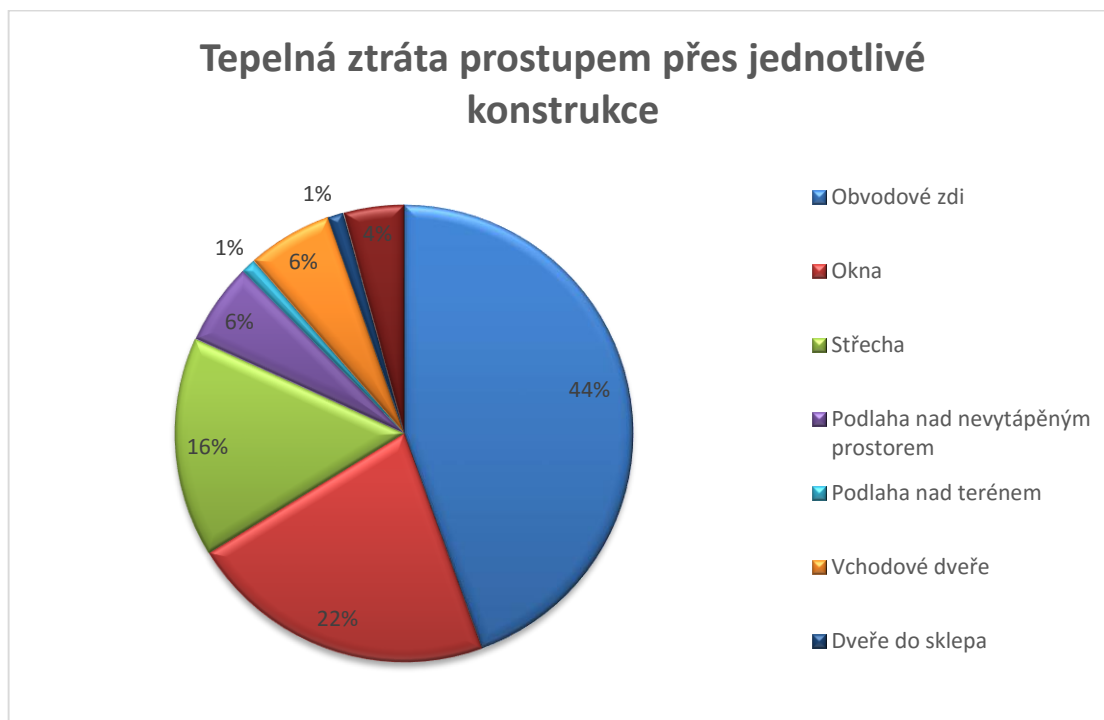
V popisovaném rodinném domě tepelná ztráta prostupem zaujímá 70,8 % a tepelná ztráta přirozeným větráním 29,2 % z celkové návrhové tepelné ztráty rodinného domu. Pokud nebude do domu nainstalována větrací soustava a přirozené větrání se nezmění v nucené, není možné prakticky tuto tepelnou ztrátu eliminovat. Jedná se totiž o větrání, jež má umožnit hygienické prostředí uvnitř budovy. Bylo počítáno s minimální intenzitou výměny vzduchu n_{min} , tudíž větrání nelze ve výpočtové části více omezit. Tudíž jedinou možností, ne moc praktickou, je snížení objemu vytápěných místností. V případě tohoto domu by to bylo proveditelné (současná světlá výška je 2,7m), protože minimální světlá výška dle vyhlášky č.268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby je 2,6 m [9], ale vedlo by to pouze k zanedbatelnému snížení tepelné ztráty větráním. (Přibližně o 3 %, tj. 110 W).

Z toho je více než patrné, že v tomto případě je nutné zaměřit se na tepelnou ztrátu prostupem. Je důležité tepelnou ztrátu prostupem rozdělit podle toho, přes jakou stavební konstrukci k tepelné ztrátě dochází. Tepelné ztráty přes jednotlivé konstrukce jsou znázorněny v tabulce 2.9.

Tab. 2.9: Tepelná ztráta prostupem přes jednotlivé konstrukce

Tepelná ztráta prostupem přes jednotlivé konstrukce	
<i>Typ konstrukce</i>	<i>Tepelná ztráta prostupem [W]</i>
<i>Obvodové zdi</i>	3997,26
<i>Okna</i>	1958,96
<i>Střecha</i>	1397,62
<i>Podlaha nad nevytápěným prostorem</i>	519,63
<i>Podlaha nad terénem</i>	93,61
<i>Vchodové dveře</i>	543,40
<i>Dveře do sklepa</i>	100,02
<i>Vnitřní příčka</i>	382,48

Podíly tepelných ztrát jednotlivých konstrukcí jsou znázorněny na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Procentuální vyjádření tepelné ztráty prostupem přes jednotlivé konstrukce

Dle očekávání největší tepelné ztráty se uskutečňují přes konstrukce, jež mají velkou plochu a dochází k tepelné ztrátě přímo do venkovního prostředí.

2.7 Návrh opatření ke snížení energetické náročnosti budovy

Největší část prostupu tepla se odehrává přes obvodové zdivo, což je důsledek velké hodnoty součinitele prostupu tepla U_k této konstrukce, jejímž základem je stará plná pálená cihla. V kapitole 2.4.3 byl proveden výpočet U_k a jelikož hodnota součinitele prostupu tepla byla vyšší než doporučená hodnota dle normy ČSN 730540-2, byl proveden návrh, jehož aplikace povede ke snížení součinitele prostupu tepla obvodové zdi pod doporučenou hodnotu.

Rekonstrukce střechy a výměna oken bude mít díky svému velkému podílu z celkové tepelné ztráty budovy také velký vliv na snížení energetické náročnosti budovy.

Jak již bylo řečeno, okna prošla obrovským vývojem, a i když v rodinném domě byla před osmi lety měněna dřevěná špaletová okna za plastová se součinitelem prostupu tepla $U_k = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, lze nyní zvolit plastová okna se součinitelem prostupu tepla $U_k = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. [11]

Zrekonstruovaná střecha je zvolena tak, aby její součinitel prostupu tepla odpovídal hodnotě pro nejlépe tepelně zaizolovanou střechu dle On-line kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám na internetovém portálu TZB–info, tj. $0,11 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. [14]

Následující tabulka 2.10 vypovídá o tom, jak by se změnila tepelná ztráta prostupem rodinného domu po aplikování těchto návrhů.

Tab. 2.10: Tepelná ztráta prostupem po návrhu opatření ke snížení energetické náročnosti budovy

Tepelná ztráta prostupem přes jednotlivé konstrukce		
<i>Typ konstrukce</i>	<i>TZ po návrhu opatření [W]</i>	<i>TZ před návrhem [W]</i>
<i>Obvodové zdi</i>	2551,89	3997,26
<i>Okna</i>	1338,99	1958,96
<i>Střecha</i>	456,36	1397,62
<i>Podlaha nad nevytápěným prostorem</i>	519,63	519,63
<i>Podlaha nad terénem</i>	93,61	93,61
<i>Vchodové dveře</i>	543,40	543,4
<i>Dveře do sklepa</i>	100,02	100,02
<i>Vnitřní příčka</i>	382,48	382,48
<i>Celková tepelná ztráta prostupem [W]</i>	5986,38	8992,98

Z výsledků je patrné, že opatření ke snížení tepelné ztráty budovy by vedla ke snížení tepelné ztráty prostupem o 33,4 %.

3 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TEPELNÉ ZTRÁTY BUDOVY S DOSTUPNÝMI ON-LINE KALKULAČKAMI

Na internetu lze nalézt velké množství návodů a rad pro spočítání tepelné ztráty budovy, nejčastěji rodinného domu. Dokonce některé firmy či internetové portály mají na svých stránkách dostupné on-line kalkulačky tepelných ztrát. Je jich k nalezení poměrně velké množství, avšak způsobem výpočtu a výsledky se od sebe diametrálně liší.

Většina z nich je založena na zjednodušeném přístupu, kdy stačí zadat jen ty nejzákladnější údaje. Tento typ asi nejlépe prezentuje kalkulačka na stránkách Vytápění.cz. [17]

3.1 On-line kalkulačka – Vytápění.cz

Tato kalkulačka je dokonce uvedena jako odhadová. A právem, protože jedinými vstupy, jež může uživatel volit, jsou:

- Lokalita budovy
- Vnitřní výpočtová teplota
- Vnější výpočtová teplota
- Průměrná venkovní teplota otopného období (lze zadávat pouze celá čísla, nikoli desetinná)
- Chránění objektu
- Prosklení objektu – poměrem vůči fasádě
- Celková vytápěná plocha objektu
- Průměrná konstrukční výška

Po zadání počtu dnů otopného období lze také zjistit přibližnou hodnotu roční potřeby tepla na vytápění.

Výsledkem této on-line kalkulačky je odhad tepelné ztráty budovy či roční potřeby tepla v závislosti na tepelných vlastnostech budovy, pro niž jsou hodnoty zjišťovány.

Tato on-line kalkulačka dělí domy do pěti skupin dle tepelných vlastností:

1. Pasivní dům
2. Nízkoenergetický dům
3. Dům splňující současné požadavky na tepelné vlastnosti
4. Dům s tepelnými vlastnostmi, které odpovídají letem 1993–2003
5. Dům s tepelnými vlastnostmi, které odpovídají před rokem 1993

A pro každý typ domu přiřadí výsledky. Dům v Benešově u Prahy je velmi specifický tím, že obsahuje konstrukce, které mají tepelné vlastnosti odpovídající době hluboko před rokem 1993 – např. plná pálená cihla tvořící obvodový plášť budovy, ale také tepelné vlastnosti střechy nejsou poplatné současným nárokům, vezme-li se v potaz, že doporučená hodnota U_k střechy dle normy ČSN 730540-2 je $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ [5] a součinitel prostupu tepla současné střechy byl odhadnut na $0,44 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. [14] Tím pádem i tepelné vlastnosti střechy spíše odpovídají období před rokem 1993. Na druhou stranu aktuální plastová okna, jež byla zakoupena v roce 2007, stále splňují současné požadavky.

Shrnutí výsledků on-line kalkulačky internetové stránky Vytápění.cz pro jednotlivé typy domů je uvedeno v tabulce 3.1.

Tab. 3.1: Výsledky z on-line kalkulačky – Vytápění.cz

On-line kalkulačka - Vytápění.cz	
Typ budovy	Tepelné ztráty [kW]
<i>Pasivní dům</i>	1,5
<i>Nízkoenergetický dům</i>	4,6
<i>Dům splňující současné požadavky</i>	12
<i>Dům odpovídající letem 1993-2003</i>	14,1
<i>Dům s vlastnostmi před 1993</i>	16,8

Vzhledem k tomu, že tato kalkulačka dává uživateli pouze orientační představu o tepelných ztrátách budovy – není možno zadat, aby bylo počítáno s prostupem tepla přes nevytápěný prostor, nebo nelze zvolit vliv lineárních tepelných mostů, ba ani dokonce tepelné vlastnosti hlavních stavebních konstrukcí – je třeba i k výsledku přistoupit odhadem. I přes to, že dům obsahuje stavební konstrukce splňující současné požadavky na materiály, je popisovaný dům zařazen do kategorie s tepelnými vlastnostmi před rokem 1993. Čili celková tepelná ztráta dle on-line kalkulačky činí 16,8 kW. Porovná-li se tato hodnota s vypočítanou hodnotou dle normy ČSN EN 12 831, liší se o 32,3 %. V případě, že bychom uvažovali kategorii domu odpovídajícího letům 1993 až 2003, lišila by se tepelná ztráta o 10 %.

Uváží-li se, že uživateli stačí vyplnit jen několik nejzákladnějších hodnot a odpadá veškerá náročnost na uživatele z hlediska znalosti výpočtu tepelných ztrát a stavebních konstrukcí, lze tuto kalkulačku označit za dobrého pomocníka při odhadnutí tepelné ztráty budovy. Trochu problematické ovšem může být určení správně kategorie domu, kde může docházet k poměrně velkým nepřesnostem.

Volně přístupné on-line kalkulačky s nejširším uživatelským rozhraním lze nalézt na internetovém portálu TZB-info. Výpočet tepelné ztráty budovy lze provést pomocí kalkulačky založené na normě ČSN 06 0210 [8], ale jelikož tato norma je již zrušena, lze využít kalkulačku, jež se nazývá On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám. [14]

3.2 On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám

Jedná se o zjednodušený výpočet potřeby tepla na vytápění a tepelných ztrát obálkou budovy. V porovnání s kalkulačkou na Vytápění.cz má mnohem více vstupů, které uživatel může ovlivnit a tím pádem co nejvíce přizpůsobit budově, jejíž tepelnou ztrátu potřebuje znát.

Nejdříve se určí poloha, kde se budova nachází. Kalkulačka na to zareaguje tím, že sama zvolí venkovní výpočtovou teplotu, průměrnou venkovní teplotu a délku otopného období.

Poté je nutné zadat základní charakteristiky budovy, tj. objem budovy a celkovou podlahovou plochu vytápěných místností. Oproti výpočtu dle normy ČSN EN 12 831 bere v potaz tepelné zisky budovy. Rozděluje je na trvalé a solární. Trvalé tepelné zisky uvažují

teplo od spotřebičů a od lidí. Dle nápovědy lze počítat, že spotřebiče dodají 100 W/byt a každý obyvatel domu 70 W. Tedy pro domácnost, ve které žije 5 osob, z toho vyplývá, že trvalý tepelný zisk budovy je 450 W. Solární tepelné zisky generuje kalkulačka na základě zadaných hodnot. Pro stavební parametry domu v Benešově jsou solární tepelné zisky 1441 kWh/rok.

Hlavním rozdílem této kalkulačky oproti většině jiným volně dostupným on-line kalkulačkám je tabulka, do které uživatel blíže specifikuje parametry jednotlivých ochlazovaných konstrukcí. Jelikož tato kalkulačka má zejména za úkol spočítat energetickou úsporu při zateplení budovy, vždy se zadávají hodnoty před a po rekonstrukci – např. součinitel prostupu tepla starých oken k součiniteli prostupu tepla nových oken. Oproti kalkulačce na Vytápění.cz uživatel může zvolit vliv lineárních tepelných mostů. Kalkulačka zohledňuje vliv přirozeného větrání, ale intenzitu výměny vzduchu počítá odlišným způsobem, než stanovuje norma ČSN EN 12 831, a to pomocí vzorce:

$$n = \frac{25 \cdot p \cdot k}{V} \quad (3-1)$$

kde:

p [-] počet osob využívající interiér

k [-] – koeficient přítomnosti osob

V [m^3] – objem budovy

Číslo 25 představuje pro účely větrání výměnu 25 m^3 čerstvého vzduchu za hodinu na jednu přítomnou osobu.

Po vložení parametrů jednotlivých ochlazovaných konstrukcí kalkulačka vygenerovala výsledky, jež jsou uvedeny v tabulce 3.2 a graf, který zobrazuje, jak se jednotlivé konstrukce podílí na celkové tepelné ztrátě budovy.

Tab. 3.2: On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám – výsledky

On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám	
Typ konstrukce + přirozené větrání	Tepelná ztráta [W]
Obvodový plášť	4884
Podlaha	494
Střecha	1332
Okna, dveře	1999
Tepelné mosty	883
Přirozené větrání	3662
Celková tepelná ztráta [W]	13254

Z tabulky 3.2 vyplývá, že celková tepelná ztráta budovy je přibližně 13,3 kW, což se liší od vypočítané hodnoty dle normy ČSN EN 12 831 o 4,5 %.

To, že tato kalkulačka měla mnohem více vstupů než kalkulačka uvedena na Vytápění.cz, se projevilo výsledkem, který více odpovídá vypočtené hodnotě. Malá odchylka oproti vypočítané hodnotě má více důvodů. Jedním z nich je, že tato kalkulačka pracuje s výpočtovým modelem, který se podobá současné platné normě. Avšak má několik odchylek – např. uvažuje tepelné zisky budovy, odlišný výpočet intenzity výměny vzduchu. Dalším důvodem může být také ten, že tato kalkulačka nepočítá s konkrétními činiteli lineárního prostupu tepla lineárními tepelnými mosty, ale uvažuje korekční součinitel ΔU_{tb} . Ten se v kalkulačce nevolí v závislosti na druhu stavební konstrukce, ale pro celou budovu. Pro uvažovanou budovu byla zvolena hodnota 0,05 W/(m²K), která představuje konstrukci s mírnými tepelnými mosty.

Při pohledu do výsledkové tabulky 3.2 se potvrdil předpoklad, že u domů původem ze 70. let minulého století a starší, se podíl tepelných ztrát přes lineární tepelné mosty pohybuje kolem 7 %. [7] Dle této kalkulačky je podíl této tepelné ztráty 6,7 % vzhledem k celkové tepelné ztrátě analyzovaného domu. Je to také potvrzení, že dané zjednodušení bylo možné provést.

On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám umožňuje uživateli větší volbu vstupů než většina volně dostupných on-line kalkulaček a je vhodnou volbou pro přibližný výpočet tepelné ztráty budovy. Na druhou stranu klade větší nároky na uživatele, neboť je nutné znát základní pojmy jako je např. součinitel prostupu tepla, intenzita větrání, lineární tepelný most a také rozměry jednotlivých stavebních konstrukcí.

4 POTŘEBA TEPLA NA OTOPNOU SEZONU

4.1 Návrhový tepelný výkon

Správně stanovený návrhový tepelný výkon je zásadní pro stanovení tepelného výkonu, jež slouží pro dimenzování otopných těles, zdroje tepla, atd.

Návrhový tepelný výkon popisovaného domu je tedy roven součtu tepelných ztrát prostupem tepla a větráním jednotlivých místností [1]:

$$\Phi_{H,l} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} = 8992,98 + 3652,80 = 12645,78 \text{ W} \cong 12,7 \text{ kW} \quad (4-1)$$

Jinými slovy, aby byla zajištěna tepelná pohoda domácnosti, musí být zdroj tepla schopný dodat takové množství tepla, které odpovídá tepelné ztrátě budovy.

4.2 Charakteristika instalovaného kotle

Topný systém domu byl kompletně předělán na podzim roku 2015 a jako zdroj tepla byl zvolen automatický litinový kotel na tuhá paliva Hercules Duo o výkonu 16 kW od firmy Viadrus, který je určen pro spalování hnědého uhlí – ořech 2. [18]

Tepelný výměník je vyroben z litiny, jejíž hlavní předností je dlouhá životnost. Výrobce udává účinnost kotle je 89 % a z pohledu ekologického hlediska splňuje emisní třídu 4 dle ČSN EN 303–5. [18]

Tepelný výkon je řízen regulací Siemens Climatix Standart, jež moduluje výkon kotle a ovládá jeho účinnost. Dokáže řídit ohřev TUV, ohřev akumulční nádrže, 2x směšovací topný okruh, 1x nesměšovací topný okruh. [18]

4.3 Potřeba tepla na vytápění za otopnou sezonu

Pro výpočet potřeby tepla na vytápění se nejčastěji používá tzv. DENOSTUPŇOVÁ METODA, která je založena na výpočtu, jenž závisí na počtu dnů otopné sezony d , venkovní průměrné teploty v otopném období T_{me} a na vnitřní výpočtové teplotě T_i . [19]

Pro výpočet počtu denostupňů lze použít vztah [19]:

$$D = d \cdot (T_i - T_{me}) \quad (4-2)$$

Dosadí-li se konkrétní hodnoty pro analyzovaný dům, vychází počet stupňů následovně:

$$D = 280 \cdot (23 - 5,2) = 4984 \quad (4-3)$$

Teoretická potřeba tepla v MJ za otopnou sezonu [20]:

$$Q_{VYT,r} = 24.3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_r \cdot \eta_o} \cdot \frac{\Phi_i \cdot D}{T_i - T_e} \quad (4-4)$$

kde:

$\varepsilon [-]$ – opravný součinitel

Lze ho spočítat dle vzorce (4-5) [19]:

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad (4-5)$$

kde:

$e_i [-]$ – součinitel nesoučasnosti tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem; (0,8–0,9)

$e_t [-]$ – součinitel zahrnující snížení vnitřní teploty během dne

$e_d [-]$ – součinitel zahrnující zkrácení doby vytápění u objektu s přerušovaným vytápěním

Součinitel ε lze také dohledat v odborné literatuře nebo lze jej určit dle vlastních zkušeností na základě typu stavby a jejího provozu: např. pro nepřetržité vytápění se $\varepsilon = 1$

$\eta_o [-]$ – účinnost obsluhy a možnost regulace soustavy

např.: kotelna na tuhá paliva bez rozdělení na sekce – 0,9

$\eta_r [-]$ – účinnost rozvodu vytápění – závisí na provedení, nejčastěji (0,95-0,98) [19]

$\Phi_i [W]$ – návrhová tepelná ztráta budovy [19]

Jednotlivé součinitele byly zvoleny následovně:

- $\varepsilon = 1$
- $\eta_r = 0,97$
- $\eta_o = 0,9$

Teoretická potřeba tepla na vytápění za otopnou sezonu benešovského domu:

$$Q_{VYT,r} = 24.3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\varepsilon}{\eta_r \cdot \eta_0} \cdot \frac{\Phi_{i,D}}{T_i - T_e}$$

$$Q_{VYT,r} = 24.3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{0,97 \cdot 0,9} \cdot \frac{12,7 \cdot 4984}{23 - (-15)} \cong 164,853 \text{ GJ/rok} \quad (4-6)$$

Vyjádření potřeby tepla v *MWh*: $Q_{VYT,r} = 45,79 \text{ MWh}$

4.4 Potřeba tepla na ohřev TUV za otopnou sezonu

Bude-li tepelný výkon zdroje tepla využíván také na ohřev *TUV*, bude celková potřeba tepla dána součtem potřeby tepla na ohřev *TUV* a na vytápění [19]:

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV} \quad (4-7)$$

kde:

Q_r [*Wh/rok*] – potřeba tepla pro otopné období

$Q_{VYT,r}$ [*Wh/rok*] – potřeba tepla na vytápění v otopném období

$Q_{TUV,d}$ [*Wh/rok*] – potřeba tepla na ohřev vody v otopném období

Denní potřeba tepla na ohřev TUV se vypočte dle vztahu [19]:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c_p \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1) \cdot n}{3600} \quad (4-8)$$

kde:

z [-] – vyjadřuje energetické ztráty systému pro přípravu vody – hodnota závisí na provedení rozvodu a cirkulace

– z pro nové rozvody se volí 0,5

ρ [*kg/m³*] – hustota vody (1000 *kg/m³*)

c_p [*J/(kg.K)*] – měrná tepelná kapacita vody (4186 *J/(kg.K)*)

V_{2p} [*m³/den*] – celková potřeba teplé vody pro 1 osobu za 1 den

– pro stavby s účelem bydlení se volí: 0,06–0,082 (pro rodinný dům je z důvodu uvažování těch nejnevhodnějších podmínek volena hodnota 0,082)

$n [-]$ – počet osob využívající teplou vodu

- v domě trvale žije 5 osob

$t_2 [^{\circ}\text{C}]$ – teplota ohřáté vody

- z praxe zvoleno 60°C

$t_1 [^{\circ}\text{C}]$ – teplota studené vody (10°C)

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c_p \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1) \cdot n}{3600} \quad (4-9)$$

$$Q_{TUV,d} = (1 + 0,5) \cdot \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,082 \cdot (60 - 10) \cdot 5}{3600} \cong 35755,41 \text{ Wh} \cong 35,8 \text{ kWh} \quad (4-10)$$

Potřeba tepla na ohřev TUV pro otopné období [19]

$$Q_{TUV} = Q_{TUV,d} \cdot d = 35,8 \cdot 280 \text{ kWh/rok} = 10,01 \text{ MWh/rok} = 36,04 \text{ GJ/rok} \quad (4-11)$$

Lze tedy spočítat, jaký je potřebný výkon kotle pro ohřev vody:

$$\Phi_{TUV} = \frac{Q_{TUV,d}}{24} = \frac{35,8}{24} \cong 1,49 \text{ kW} \quad (4-12)$$

Aby bylo možné kotlem vytápět obytné prostory a ohřívát TUV i za těch nejnejpříznivějších podmínek, kotel musí být schopen produkovat tepelný výkon, jenž se rovná součtu návrhovému tepelnému výkonu Φ_i a tepelnému výkonu pro ohřev vody Φ_{TUV} .

$$\Phi_{celk} = \Phi_i + \Phi_{TUV} = 12,7 + 1,49 = 14,19 \text{ kW} \quad (4-13)$$

Potřebný celkový topný výkon má hodnotu 14,19 kW.

Celková potřeba tepla Q_r zahrnující teplo na vytápění a ohřev vody TUV [19]:

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV} = 200,893 \text{ GJ/rok} \quad (4-14)$$

Celkové potřebné množství paliva:

$$m_{i,TUV} = \frac{Q_{VYT,r}}{\eta_k \cdot H} = \frac{200893}{0,89 \cdot 18} \cong 12540 \text{ kg} \cong 12,5 \text{ t} \quad (4-15)$$

kde:

$Q_m [\text{MJ/kg}]$ – výhřevnost paliva

$\eta_k [-]$ – účinnost kotle

5 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU VYTÁPĚNÍ

Tepelná ztráta domu je za nejnepříznivějších podmínek 12,7 kW a probíhá-li za těchto podmínek i ohřev TUV, tak potřebný celkový topný výkon má hodnotu 14,19 kW, čili zvolený kotel o výkonu 16 kW dodá bezpečně dostatečné množství tepla (výkon), aby byla zajištěna tepelná pohoda domácnosti a ohřev vody.

Hodnotit současný stav vytápění lze také z ekonomického hlediska, které je spolu s ekologickým hlediskem nejčastějším důvodem optimalizace vytápění budov.

Z následující tabulky 5.1 lze vyčíst, pro jaké palivo jsou pořizovací náklady nejnižší.

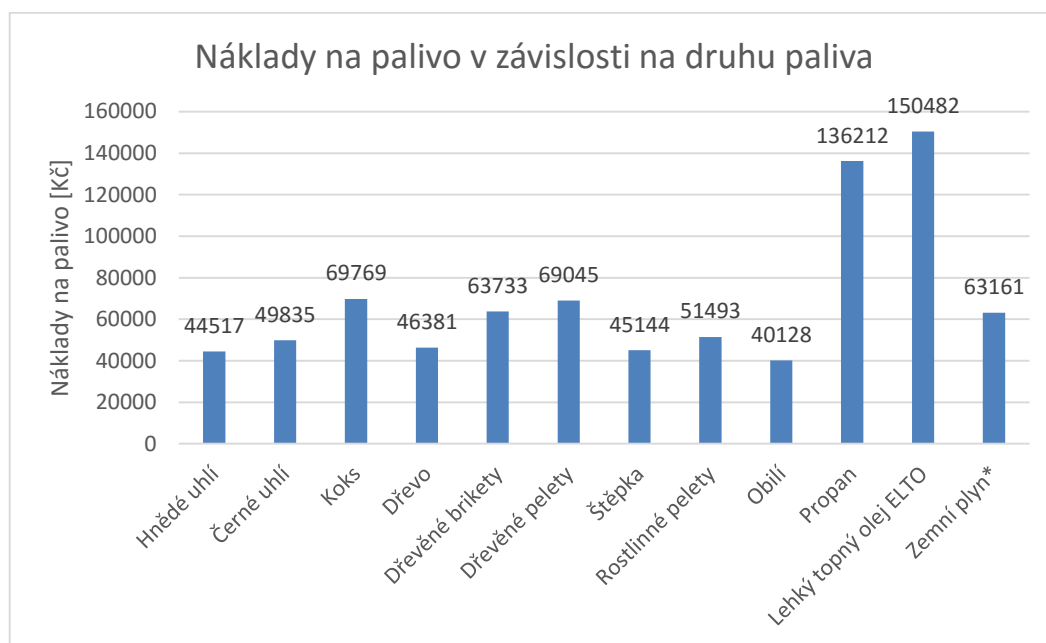
Hodnoty výhřevností a ceny paliv za kilogram jsou orientační a jsou převzaty z TZB-info.

[21]

Tab. 5.1: Náklady na palivo pro jednotlivé druhy paliv

Celková potřeba tepla					[MJ]	[MWh]
					200893	55,80
Palivo	Výhřevnost H [MJ/kg]	Cena [Kč/kg] * [Kč/kWh]	Účinnost spalování [-]	Spotřeba paliva [kg]	Náklady na palivo [Kč]	Cena tepla [Kč/kWh]
Hnědé uhlí	18,00	3,55	0,89	12540	44517	0,80
Černé uhlí	23,10	5,10	0,89	9772	49835	0,89
Koks	27,50	8,50	0,89	8208	69769	1,25
Dřevo	14,60	3,00	0,89	15460	46381	0,83
Dřevěné brikety	17,00	4,80	0,89	13278	63733	1,14
Dřevěné pelety	17,00	5,20	0,89	13278	69045	1,24
Štěpka	12,50	2,50	0,89	18058	45144	0,81
Rostlinné pelety	16,00	3,65	0,89	14108	51493	0,92
Obilí	18,00	3,20	0,89	12540	40128	0,72
Propan	46,40	28,00	0,89	4865	136212	2,44
Lehký topný olej ELTO	42,00	28,00	0,89	5374	150482	2,70
Zemní plyn *	-	1,13	-	-	63161	1,13

Pro lepší znázornění výhodnosti jednotlivých paliv vykreslen graf znázorněný na obr. 5.1.



Obr. 5.1: Pořizovací náklady paliv dle druhu paliva

Výpočet nákladů na zemní plyn byl počítán bez využití výhřevnosti a účinnosti kotle z důvodu, že dodavatelé zemního plynu často uvádějí ceny v Kč/kWh, a vzhledem k tomu, že je známa celková potřeba tepla pro otopnou sezonu, tak celkové náklady se vypočítají pouze vynásobením celkové potřeby tepla sazbou, jež uvádí dodavatel. Sazba v Kč/kWh se odvíjí od odběrového množství plynu. V případě tohoto domu je celková potřeba tepla 55800 kWh a pro toto množství dodavatel Pražská plynárenská, a. s. nabízí sazbu 1,13 kW/h. Tato jednotková cena je platná od 1. 5. 2016. [24]

Z výsledků je patrné, že nejhodnějšimi alternativami z pohledu nákladu na palivo je hnědé uhlí, dřevo, štěpka a obilí.

Dalo by se tedy říci, že volba automatického kotle na hnědé uhlí o výkonu 16 kW pro rodinný dům v Benešově byla správná volba, neboť dokáže zajistit tepelnou pohodu i za těch nejnepříznivějších podmínek a má i dostatek výkonu na to, aby byl schopný zajistit ohřev vody i za těchto podmínek. Avšak problematika volby kotle není jednoduchá a je třeba brát v potaz i státní dotace, které mohou velmi ovlivnit celkovou kalkulaci na nový otopný systém.

6 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo vytvořit literární rešerši metodiky výpočtu tepelných ztrát budov a na základě zjištěných poznatků spočítat tepelné ztráty vybraného objektu. Posléze tyto výsledky porovnat s on-line dostupnými kalkulačkami a zhodnotit současný stav vytápění.

Metodika výpočtů tepelných ztrát budov byla poukázána dle platné normy ČSN EN 12 831, jež se nazývá Tepelné soustavy v budovách – výpočet tepelného výkonu. Jedná se o jedinou platnou normu na území České republiky pro výpočet tepelného výkonu, resp. tepelných ztrát.

Výpočet tepelných ztrát budovy byl proveden pro rodinný dům v Benešově u Prahy, jež pochází z roku 1937. Součástí výpočtu byly provedeny výpočty součinitelů prostupů tepla jednotlivých stavebních konstrukcí dle normy ČSN EN ISO 6949. Celková návrhová tepelná ztráta budovy je dána součtem tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. Celková návrhová tepelná ztráta činí 12,7 kW a tepelná ztráta prostupem zaujímá 70,8 % z celkové tepelné ztráty. Při výpočtu byl potvrzen předpoklad, že pro budovy ze 70. let minulého století a starší je vliv tepelných ztrát lineárními tepelnými mosty podstatně menší než u novostaveb. V tomto případě dle On-line kalkulačky úspor a dotací Zelená úsporám tepelné ztráty lineárními tepelnými mosty činí 6,7 %. U nových budov se podílí lineární tepelné mosty přibližně 25 %.

Výsledek návrhové tepelné ztráty pro popisovaný rodinný dům, jež byl získán výpočtem dle normy ČSN EN 12 831, byl porovnán s dvěma volně dostupnými on-line kalkulačkami. Na internetu lze nalézt velké množství volně dostupných on-line kalkulaček, ale velmi se liší zpracováním a nároky na uživatele. Za ty méně náročné ze strany uživatele byla vybrána kalkulačka, která je dostupná na Vytápění.cz. Nejpodstatnější vstupní údaje jsou vytápěná plocha objektu, konstrukční výška a návrhová vnitřní a vnější výpočtová teplota. Výsledná tepelná ztráta objektu se odvíjí dle stáří budovy, kterou si uživatel zvolí. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám je asi nejpodrobnější volně dostupná on-line kalkulačka. Tato kalkulačka dávala přesnější shodu s výsledky dle normy ČSN EN 12 831 než prvně uvedená. Výsledkem této kalkulačky byla návrhová tepelná ztráta o hodnotě 13,3 kW, což je navýšení o 4,5 % oproti výsledkům spočítaných

dle platné normy. Na uživatele klade větší nároky ohledně znalosti jednotlivých stavebních konstrukcí.

Poté byl proveden výpočet celkové potřeby tepla Q_r pro otopnou sezonu. Celková potřeba tepla na otopnou sezonu byla uvažována jako teplo potřebné na vytápění místností a ohřev TUV . Potřeba tepla na vytápění byla vypočtena pomocí tzv. DENOSTUPŇOVÉ METODY. Z potřeby tepla na ohřev TUV byl vypočten tepelný výkon, který kotel musí dodat. Celkový potřebný výkon má hodnotu 14,19 kW. Vzhledem k tomu, že instalovaný kotel Viadrus Hercules Duo, má jmenovitý výkon 16 kW, je jeho výkon naddimenzován o 11 %.

Při hodnocení současného stavu vytápění má také ekonomické hledisko zásadní postavení. Bylo zanalyzováno, pro jaký druh paliva jsou nejnižší pořizovací náklady. V instalovaném kotli se spaluje výhradně hnědé uhlí a právě toto palivo vyšlo jako jedna z nejlepších voleb z hlediska nákladů na palivo. Výhodněji vycházelo pouze spalování obilí. Vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům na kotle, jež spalují biopaliva nelze jednoduše říci, jaké palivo by byla lepší volbou. Byla by nutná podrobná ekonomická kalkulace, která by uvažovala státní dotace a podpory a emisní třídu jednotlivých zařízení.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 12 831 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. ICS: 91.140.10. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, březen 2005.
- [2] RUBIN, Aleš, RUBINOVÁ Olga. Tepelná ztráta větráním a zpětné získávání tepla. In: *TZB-info* [online]. Topinfo s. r. o., 2006. [vid. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2988-tepelna-ztrata-vetranim-a-zpetne-ziskavani-tepla>
- [3] *TZB-info* [online]. Topinfo s. r. o. [vid. 2016-01-10]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [4] HEINRICH, Pavel. Tepelně technické parametry cihel – minulost, současnost, budoucnost. In: *TZB-info* [online]. Topinfo s. r. o., 2012. [vid. 2016-01-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/8439-tepelne-technicke-parametry-crihel-minulost-soucasnost-a-budoucnost>
- [5] ČSN 730540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. ICS: 91.120.10. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, listopad 2011.
- [6] ČSN EN ISO 6946 *Stavební prvky a stavební konstrukce – Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla – Výpočtová metoda*. ICS: 91.060.01. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, prosinec 2008.
- [7] ŠUBRT, Roman. Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích. In: *TZB-info* [online]. Topinfo s. r. o., 2012. [vid. 2016-01-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>
- [8] *TZB-info* [online]. Topinfo s. r. o. [vid. 2016-02-07]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/107-vypocet-tepelne-zraty-objektu-dle-csn-06-0210>
- [9] *TZB-info* [online]. Topinfo s. r. o. [vid. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-268-2009-sb-o-technickych-pozadavcich-na-stavby>
- [10] Český hydrometeorologický ústav [online]. Ministerstvo životního prostředí České republiky [vid. 2016-02-20]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/otopna-sezona#>
- [11] *Vekra* [online]. Window Holding a. s. [2016-02-25]. Dostupné z: https://www.vekra.cz/sortiment/okna-dvere/okna/plastova-okna/?gclid=CITsS9GcrMwCFQ0SGwod7VUJ_A
- [12] ČSN 730540-3 *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. ICS: 91.120.10. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, listopad 2005.

- [13] TZB-info [online]. Topinfo s. r. o. [vid. 2016-03-10]. Dostupné z:
<http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicevrstvou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>
- [14] REINBERK, Zdeněk, ŠUBRT, Roman a ZELENÁ, Lucie. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám. In: TZB-info [online]. Topinfo s. r. o. [2016-03-20]. Dostupné z:
<http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [15] ČSN EN ISO 13 370 *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. ICS: 91.120.10. 2. vyd. Praha: ÚNMZ, únor 2009
- [16] DARE [online]. DARE EUROOKNA. [vid. 2016-04-01]. Dostupné z:
<http://www.dare.cz/vchodove-dvere-panelove.html>
- [17] Vytápění.cz [online]. SOMATHERM, spol. s. r. o. [vid. 2016-04-10]. Dostupné z:
<http://www.vytapeni.cz/kalkulacky/tepelne-ztraty>
- [18] Viadrus [online]. Viadrus a. s. [vid. 2016-04-20]. Dostupné z:
<http://viadrus.cz/automaticke-kotle/automaticky-litinovy-kotel-hercules-duo-29-cz12.html>
- [19] TREUOVÁ, Lea. Bilance tepla. In: *Podklady pro studenty* [online]. Lea Treuová. [2016-04-25]. Dostupné z:
<http://www.fce.vutbr.cz/TZB/treuova.l/>
- [20] TZB-info [online]. Topinfo s. r. o. [2016-04-25]. Dostupné z:
<http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapeni-a-ohrev-teple-vody>
- [21] TZB-info [online]. Topinfo s. r. o. [2016-05-02]. Dostupné z:
http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/139-porovnani-nakladu-na-vytapeni-podle-druhu-paliva?energie_gj=164.9
- [22] KRAINER, Robert. Tepelná čerpadla. In: *Efektivní energetický region jižní Čechy – Dolní Bavorsko* [online]. Jihočeská hospodářská komora, 2011. [2016-05-17]. Dostupné z:
http://www.energetickyregion.cz/download_akce/1334126597cs_7_06_tepelna_cerpadla.pdf
- [23] JELÍNEK, Vladimír. Parametry otopné soustavy v průběhu topného období. In: TZB-info [online]. Topinfo s. r. o., 2012. [vid. 2016-05-17]. Dostupné z:
<http://vytapeni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/8177-parametry-otopne-soustavy-v-prubehu-topneho-obdobi>
- [24] TZB-info [online]. Topinfo s. r. o. [vid. 2016-04-25]. Dostupné z:
<http://vytapeni.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/95-prepocet-spotreby-zemniho-plynu-na-kwh>

8 SEZNAM PŘÍLOH

P1: Křivka trvání výkonu pro otopnou sezónu

P2: Výkresová dokumentace

P1: Křivka trvání výkonu pro otopnou sezónu

Pro sestavení křivky trvání výkonu je nutné sestavit univerzální diagram trvání teplot v otopném období a závislost celkového topného výkonu na venkovní teplotě.

Křivka trvání teplot v otopném období

Pro sestavení této křivky jsou nezbytné tyto hodnoty, jež byly zvoleny či navrženy dle normy ČSN EN 12 831:

- $T_e = -15^\circ\text{C}$, venkovní výpočtová teplota
- $T_i = 23^\circ\text{C}$, vnitřní výpočtová teplota
- $T_{me} = 5,2^\circ\text{C}$, venkovní průměrná teplota [1]
- $T_{mezní} = 13^\circ\text{C}$, mezní venkovní teplota [1] – Dodávka tepelné energie začíná (končí) klesne-li (stoupne-li) průměrná denní teplota ve dvou po sobě jdoucích pod (nad) tuto hodnotu a dle předpovědi počasí se neočekává zvýšení (snížení) teploty nad (pod) tuto hodnotu pro následující den. [10]
- $d = 280$ dní, počet dnů otopné sezony [1]

K sestavení univerzálního diagramu trvání teplot v otopném období je nutné stanovit hodnotu τ a Θ . τ vyjadřuje poměr počtu dnů n k počtu dnů otopné sezony d [22]:

$$\tau = \frac{n}{d} \quad (\text{P1-1})$$

Hodnota τ může nabývat hodnot z intervalu $\langle 0;1 \rangle$.

Počet dnů n vyjadřuje kolik dnů je v otopném období chladněji, než pro danou konkrétní teplotu. Pro názornost – z grafu křivky trvání teploty lze odečíst, že pokud je průměrná venkovní denní teplota rovna 0°C , je počet dnů n 84. To lze tedy interpretovat tak, že v 84 dnech je průměrná venkovní denní teplota nižší než 0°C .

$$\Theta = \frac{T_{mezní} - T_x}{T_{mezní} - T_e} \quad [22] \quad (\text{P1-2})$$

Kde T_x je střední denní venkovní teplota [$^\circ\text{C}$]

Pro výpočet hodnoty Θ lze použít empirický vzorec [22]:

$$\Theta = (1 - \tau)^{0,985\tau^{-0,626}} \quad (\text{P1-3})$$

Křivka byla sestrojena tak, že hodnota τ byla volena v kroku 0,05. Ze znalosti τ bylo možné určit Θ . A z uvedených vzorců (P1-1) a (P1-2) již není problém dopočítat hodnoty T_x , n .

Univerzální diagram trvání teplot je závislost střední denní venkovní teploty T_x na počtu dnů n .

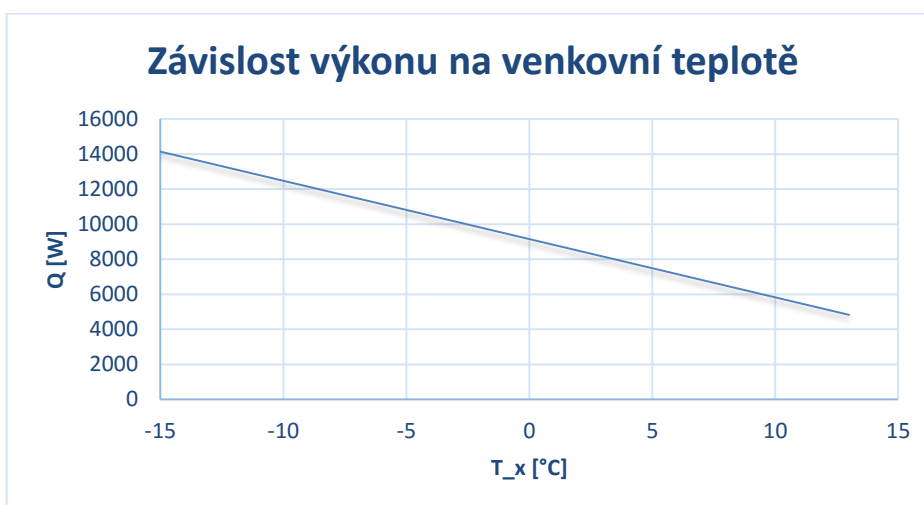


Obr. P1.1: Univerzální křivka trvání teplot

Závislost celkového topného výkonu na venkovní teplotě

Celkový topný výkon je roven součtu topného výkonu potřebného k vytápění a ohřevu TUV i za těch nejnepríznivějších podmínek.

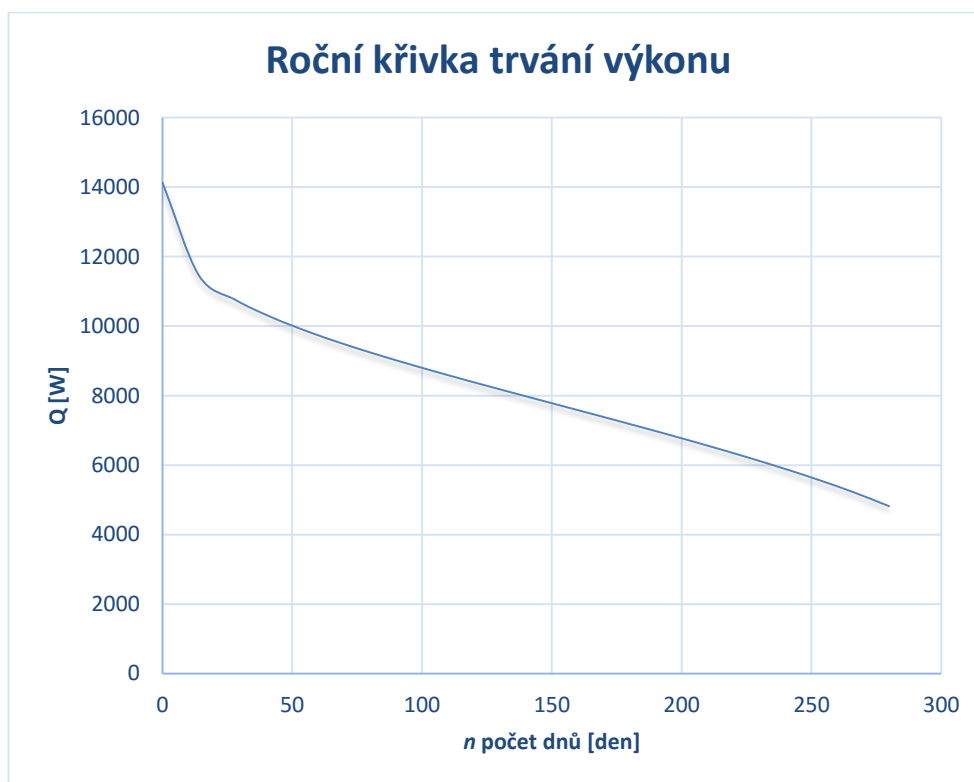
Křivka vyjadřuje, jaké množství tepla (výkonu) je třeba dodat při dané venkovní teplotě T_x .



Obr. P1.2: Závislost výkonu na venkovní teplotě

Roční křivka trvání výkonu

Pro znázornění potřeby dodaného tepelného výkonu je sestrojena křivka trvání výkonu, která je sestrojena z grafu závislosti výkonu na venkovní teplotě a univerzální křivky trvání teplot v otopném období. Z ní lze vyčíst, kolik dní v otopném období dosahuje teplota dané hodnoty nebo nižší. Z křivky trvání teplot vyplývá nutnost dobrých regulačních schopností topného zdroje, neboť z grafu na obr. P1.2 je patrné, že zvolený kotel při venkovní teplotě -15 °C pracuje na 88 % svého jmenovitého výkonu a naopak, je-li venkovní teplota rovna mezní teplotě $T_{mezní}$, tj. 13 °C, tak pouze na 30 %. Plynuhé regulace topného zdroje lze přitom většinou dosáhnout pouze v rozmezí 100 % – 50 % jmenovitého výkonu zdroje. [23] Proto je důležité správné stanovení jmenovitého výkonu kotle, aby nedošlo k jeho naddimenzování nebo poddimenzování. Ideální případ je takový, že topný zdroj lze plynule regulovat v průběhu celé otopné sezony.



Obr. P1.3: Roční křivka trvání výkonu

Postup pro sestavení roční křivky trvání výkonu: z grafu na obr. P1.1 se odečte průměrná denní venkovní teplota T_x pro určitý počet dnů n otopné sezony. A poté z grafu znázorněného na obr. P1.2 pro tuto teplotu T_x se odečte velikost celkového topného výkonu $Q_{celkový}$. Opakování tohoto postupu vede k sestavení roční křivky trvání výkonu.

P2: Výkresová dokumentace

Výkresová dokumentace popisovaného domu je přiložena na zadní straně desek.

Vzhledem k tomu, že se jedná o kopii původního výkresu z roku 1936, tak popis jednotlivých místností neodpovídá popisu jednotlivých místností uvedených v textu.

Následující tabulka P2.1 přehledně znázorňuje, jak se změnil popis jednotlivých místností.

Tab. P2.1: Změna popisu jednotlivých místností

Původní popis místností	Současný popis
Přízemí	
<i>pokoj (3,2 m X 4,4 m)</i>	<i>ložnice</i>
<i>pokoj (4 m X 5 m)</i>	<i>obývací pokoj</i>
<i>služka</i>	<i>jídelna</i>
<i>kuchyň</i>	<i>kuchyň</i>
<i>spíž</i>	<i>koupelna 1</i>
<i>WC</i>	
<i>předsíň</i>	<i>chodba 1</i>
1. patro	
<i>pokoj (3,2 m X 4,4 m)</i>	<i>dětský pokoj 1</i>
<i>pokoj (4 m X 5 m)</i>	<i>dětský pokoj 2</i>
<i>šatna</i>	<i>šatna</i>
<i>pokoj (3,9 m X 3 m)</i>	<i>dětský pokoj 3</i>
<i>koupelna</i>	<i>koupelna 2</i>
<i>halla</i>	<i>chodba 2</i>

Dispozice jednotlivých místností odpovídají výkresové dokumentaci. Jediná změna se týká spíže, WC a částečně předsíň v přízemí. Spíž a WC byly propojeny v jednu místnost – koupelnu 1 – a z důvodu jejího zvětšení byla částečně zmenšena chodba 1.

Půdorys současné podoby koupelny 1 je také umístěn na zadní straně desek.